UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

2.14

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PRODEP

MODELAÇÃO NUMÉRICA DE OBRAS GEOTÉCNICAS

ELABORADO POR:

ALBERTO MARTINS GONÇALVES

AGOSTO 1993

O ORIENTADOR

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca 4
Nº
CDU 624(017.3)/LEC/1952/GONA
Data 25/09/2009

INSTITUTO DA CONSTRUÇÃO

PARECER

O presente parecer diz respeito ao estágio PRODEP nº 2.14 - FEUP/4.3/7/5/92/93 realizado por ALBERTO MARTINS GONÇALVES no IC-Instituto da Construção.

O estagiário demonstrou dedicação ao trabalho e, ao longo do tempo, foi revelando a competência necessária ao seu desenvolvimento.

Como consequência do estágio realizado, o IC aumentou as suas capacidades no domínio da aplicação do Método dos Elementos Finitos à Análise de Problemas Planos de Tensão e de Deformação, nomeadamente de túneis.

Assim, conclui-se que o desempenho técnico do estagiário foi positivo e de interesse para o IC.

Porto e Faculdade de Engenharia. 29 de Novembro de 1993

O ORIENTADOR PELO IC

António Silva Cardoso
(Professor Auxiliar)

UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
GEOTECNIA

PARECER

O presente PARECER diz respeito ao ESTÁGIO PRODEP nº 2.14 - FEUP/4.3/7/5/92/93 realizado por ALBERTO MARTINS GONÇALVES no IC-Instituto da Construção.

O estágio efectuado inseriu-se na área da Modelação Numérica de Obras Geotécnicas, tendo como objectivo a aplicação do Método dos Elementos Finitos na análise de problemas planos de tensão-deformação.

Foram feitas aplicações da ferramenta numérica desenvolvida ao estudo das tensões e deformações num maciço devido à abertura de um túnel.

O estagiário cumpriu cabalmente os objectivos propostos, tendo o estágio sido bem conseguido do ponto de vista científico.

Porto e Faculdade de Engenharia, 26 de Novembro de 1993

O ORIENTADOR DO ESTÁGIO POR PARTE DA FEUP

José Couto Marques
(Professor Auxiliar)

4099 PORTO CODEX – PORTUGAL – TEL. 351-2-2080760 – TELEX 27323 FEUP P – FAX 351-2-319280

PRODEP

TRABALHO Nº 1

Elaborado por :

Alberto Martins Gonçalves

ÍNDICE

1. Considerações iniciais 1

2. Introdução 5

3. Dados 6

3.1 Geometria do túnel 6

3.2 Resultados das sondagens 6

4. Análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel, com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, não considerando laje de fundo

4.1 Introdução 8

4.2 Discretização do revestimento 9

4.3 Determinação do carregamento de cada elemento 10

4.4 Resultados 11

4.5 Análise de resultados 11

5. Análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel, com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, considerando laje de fundo

5.1 Introdução 12

5.2 Discretização do revestimento 12

5.3 Modelação da interacção estrutura-maciço 13

5.4 Resultados 13

5.5 Análise de resultados 13

6. Análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel por aplicação do Método dos Elementos Finitos

6.1 Introdução 15

6.2 Malha de elementos finitos 15

6.3 Aplicação do Método dos Elementos Finitos ao maciço sem cavidade

6.3.1 Introdução 16

6.3.2 Resultados 17

6.4 Aplicação do Método dos Elementos Finitos ao maciço, com a cavidade

6.4.1 Introdução 17

6.4.2 Resultados 17

6.5 Aplicação do Método dos Elementos Finitos, considerando o túnel com revestimento

6.5.1 Introdução 18

6.5.2 Resultados 18

6.6 Análise e discussão dos resultados 18

7. Comparação dos resultados obtidos pelo CPP e pelo MEF 20

8. Análise de sensibilidade de esforços

8.1 Introdução 21

8.2 Coeficiente de Winkler ou coeficiente de reacção do solo (Ke) 21

8.3 Parâmetro geológico Ko 21

8.4 Análise de sensibilidade 22

8.5 Análise dos resultados 22

8.6 Comentários 25

Anexo A 27

Anexo B 29

Anexo C 31

1. Considerações iniciais

As escavações subterrâneas, pode-se dizê-lo, levam-nos até um mundo pouco conhecido. Um mundo onde imperam tensões gravitacionais e geológicas, forças tectónicas e pressões da água; um mundo contínuo ou compartimentado com diaclases, falhas e outros acidentes.

Estas dificuldades, a impossibilidade de construção de um modelo teórico adequado, não podem significar, no entanto, a devoção ao empirismo em detrimento da teoria.

Os parâmetros que determinam a estabilidade de uma escavação subterrânea são, em geral, os seguintes:

- tamanho, forma e profundidade da abertura;
- proximidade de escavações adjacentes (fenómenos de redistribuição de tensões por efeito de arco levando à formação de *pilares*);
- natureza, extensão e orientação das descontinuidades relativamente à direcção do desenvolvimento da abertura;
- características mecânicas do maciço;
- tensões *in situ*;
- posição do nível freático;
- método e sequência da escavação;
- forças sísmicas.

Face a esta diversidade, as causas de ruptura em escavações subterrâneas podem resumir-se a dois factores:

- movimento de blocos ou cunhas para o interior da escavação, sob a acção das tensões "in situ" ou forças exteriores, como a gravidade ou pressão da água;
- indução de um estado de tensão incompatível com a resistência do maciço.

A primeira causa de ruptura é mais usual à superfície, em que as tensões são baixas e a compartimentação do maciço é maior; a segunda, pelo contrário, acontece com mais frequência a grandes profundidades, onde o maciço é, em geral, de boa qualidade e é relativamente frequente a ocorrência de tensões altíssimas, mais relacionadas com a história geológica do maciço do que com a profundidade.

Resulta deste contexto que há dois aspectos fundamentais a ter em conta no estudo do comportamento de um maciço sujeito a perturbações:

- as propriedades mecânicas do maciço;
- as tensões *in situ*.

O problema em estudo, aliás como quase todos os problemas que envolvem solos ou rochas, resume-se a estudar os efeitos da alteração do estado de tensão pré-existente. Neste caso, a perturbação é devida à escavação subterrânea para execução de um túnel rodoviário.

A dificuldade começa na determinação do estado de tensão *in situ*, principalmente a tensão horizontal. A tensão horizontal é induzida pelo peso próprio do maciço sobrejacente, mas pode ser substancialmente alterada por tensões tectónicas, erosão e outros factores geológicos. Há, portanto, grande incerteza quanto ao estado de tensão instalado nos maciços rochosos.

A outra grande incerteza é o erro associado às características de resistência e deformabilidade do maciço, determinadas a partir de ensaios realizados em laboratório e ensaios de campo. É nestas incertezas que nos fundamos para estimar os efeitos de perturbações introduzidas no maciço.

Uma análise de tensões no maciço envolvente da escavação poderá dar indicações preciosas. Este estudo pode ser feito recorrendo a métodos numéricos. Face à incerteza generalizada já referida e às características geométricas de uma grande parte dos problemas geotécnicos, estas análises são geralmente feitas a duas dimensões, considerando o maciço homogéneo e isotrópico, em regime elástico linear.

Ainda devido à incerteza referida, é conveniente neste tipo de análises fazer variações relativas, dentro de certos limites, dos parâmetros intervenientes. Esta análise de sensibilidade permite absorver parte da incerteza.

Relativamente à aplicação do Método dos Elementos Finitos, usado neste trabalho, deverão ser feitas algumas considerações.

O MEF é um método do *contínuo*. Um maciço rochoso, a não ser que muito compartimentado, não poderá ser assimilado a um meio contínuo. Nestas circunstâncias, uma vez que com o MEF há continuidade de deslocamentos, a deformabilidade de um maciço rochoso não é bem tratada. A deformação, neste caso, é mais devida a deslizamentos entre blocos do que à deformação interna de cada bloco.

Alguns autores sugerem que, por exemplo, para o caso de um túnel, se considere a zona envolvente mais próxima como meio descontínuo, podendo considerar-se o meio como contínuo em zonas mais afastadas.

O tipo de estabilização a usar, se necessária, é função da especificidade de cada caso. A *curva de resposta do maciço* é uma boa referência para avaliar a estabilidade e determinar o tipo de suporte mais adequado. Ela representa, em cada ponto, a força que seria necessária para evitar deslocamentos do maciço para o interior da escavação.

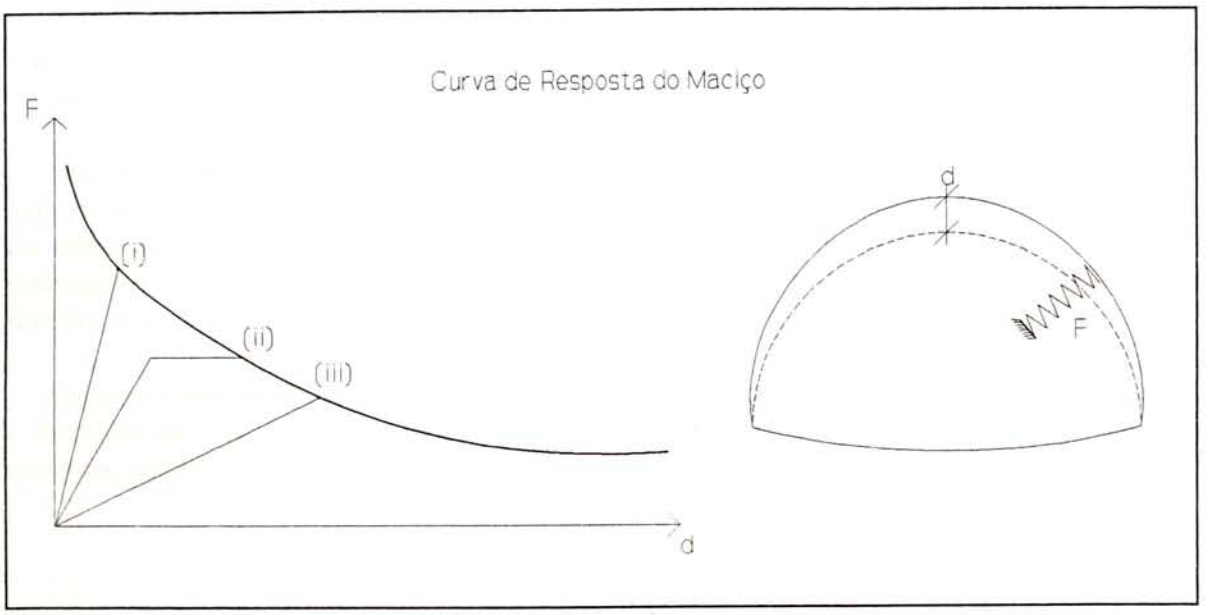


Figura 1

A curva de resposta do maciço é, antes de tudo, função intrínseca do tipo de maciço. Verifica-se que, à medida que o maciço relaxa (deslocamentos para o interior), a força para impedir deslocamentos adicionais decresce gradualmente.

Verifica-se que o processo de escavação (máquinas, explosivos, etc) pode ter grande influência na resposta do solo.

O primeiro aspecto importante de que se pode falar é o momento da colocação do revestimento, isto é, se for colocado antes de qualquer relaxação do maciço ele suportará grandes cargas - Fig.1 (i), enquanto que se for permitida alguma relaxação antes da colocação do revestimento, este pode ser mais ligeiro pois suportará menores cargas - Fig. 1 (ii) e (iii).

A dificuldade reside em saber que deslocamentos se podem admitir no maciço, de forma a evitar elevadas deformações plásticas que tornem ineficaz qualquer tipo de revestimento.

Surge, então, o segundo aspecto importante. Tal como o maciço, também o revestimento tem uma curva de resposta. Na realidade, o maciço e revestimento deformam-se conjuntamente, havendo um ajuste entre as duas curvas de resposta, isto é, interacção entre o revestimento e o maciço envolvente - Fig. 1 (ii).

É assim que se compreende a ideia de utilizar revestimentos flexíveis, colocados pouco tempo após a extracção do terreno. Um revestimento flexível acomoda-se à deformabilidade do maciço e vice-versa, o que provoca redistribuição de tensões por efeito de arco, reduzindo a carga sobre o revestimento. Revestimentos mais ligeiros poderão portanto ser eficazes.

Concluindo, impedir os deslocamentos não deverá ser o objectivo principal. Pode até ser um erro. Não só seria necessário um revestimento muito rígido como, sendo rígido, ficaria muito mais carregado.

Para o problema em estudo, no entanto, face à necessidade de evitar deslocamentos à superfície, de forma a proteger as pegadas dos dinossauros, afinal a única razão da existência do túnel rodoviário de Carenque, já não se pode pensar do mesmo modo. Neste caso, o revestimento a adoptar terá de garantir deslocamentos mínimos na fronteira da escavação, de forma a que junto à superfície, eles sejam nulos ou aproximadamente nulos como o exigido.

Exige-se um revestimento rígido, colocado o mais cedo possível. Os espaços vazios entre a fronteira da escavação e o revestimento devem ser preenchidos por injecções de calda de cimento, para evitar a deformação por fluência do maciço.

2. Introdução

Este trabalho consiste na análise da implantação do túnel rodoviário de Carenque para as condições de utilização exigidas no projecto.

A existência de supostas pegadas de dinossauros gravadas no maciço rochoso local, levou as autoridades a optarem pela execução de um túnel em alternativa à solução inicialmente prevista para o prolongamento da CREL.

Trata-se de uma obra de grande sensibilidade uma vez que, pela razão já referida, terão de ser garantidos assentamentos nulos ou aproximadamente nulos à superfície.

A análise efectuada neste trabalho refere-se a uma secção particular do túnel, representativa de um determinado comprimento do túnel.

Para o efeito, foram fornecidos os resultados de sondagens geotécnicas do local com as características de resistência e deformabilidade do maciço.

Não se pretende com este estudo obter uma solução técnica. Pretende-se antes, partindo de dados adquiridos relativamente à secção, forma e profundidade do túnel, fazer uma análise de sensibilidade de deslocamentos e tensões à variação dos parâmetros intervenientes.

Pretende-se igualmente a comparação de resultados obtidos por processos diferentes:

- Cálculo de Pórticos Planos aplicada ao revestimento discretizado em barras;
- Método dos Elementos Finitos.

Foram consideradas as seguintes fases do trabalho:

a) análise dos esforços ao longo do revestimento do túnel com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, não considerando laje de fundo;

b) análise dos esforços ao longo do revestimento do túnel com o mesmo programa considerando laje de fundo e apoios elásticos na sua interacção com o solo;

c) análise dos esforços ao longo do revestimento do túnel por aplicação do Método dos Elementos Finitos;

d) análise do comportamento do solo em termos de deslocamentos e tensões nas zonas críticas, a partir dos resultados obtidos em c);

e) comparação dos resultados obtidos pelos dois métodos e sua discussão.

3. Dados

Os dados fornecidos e que a seguir se apresentam, resumiram-se à geometria do túnel e resultados de sondagens geotécnicas.

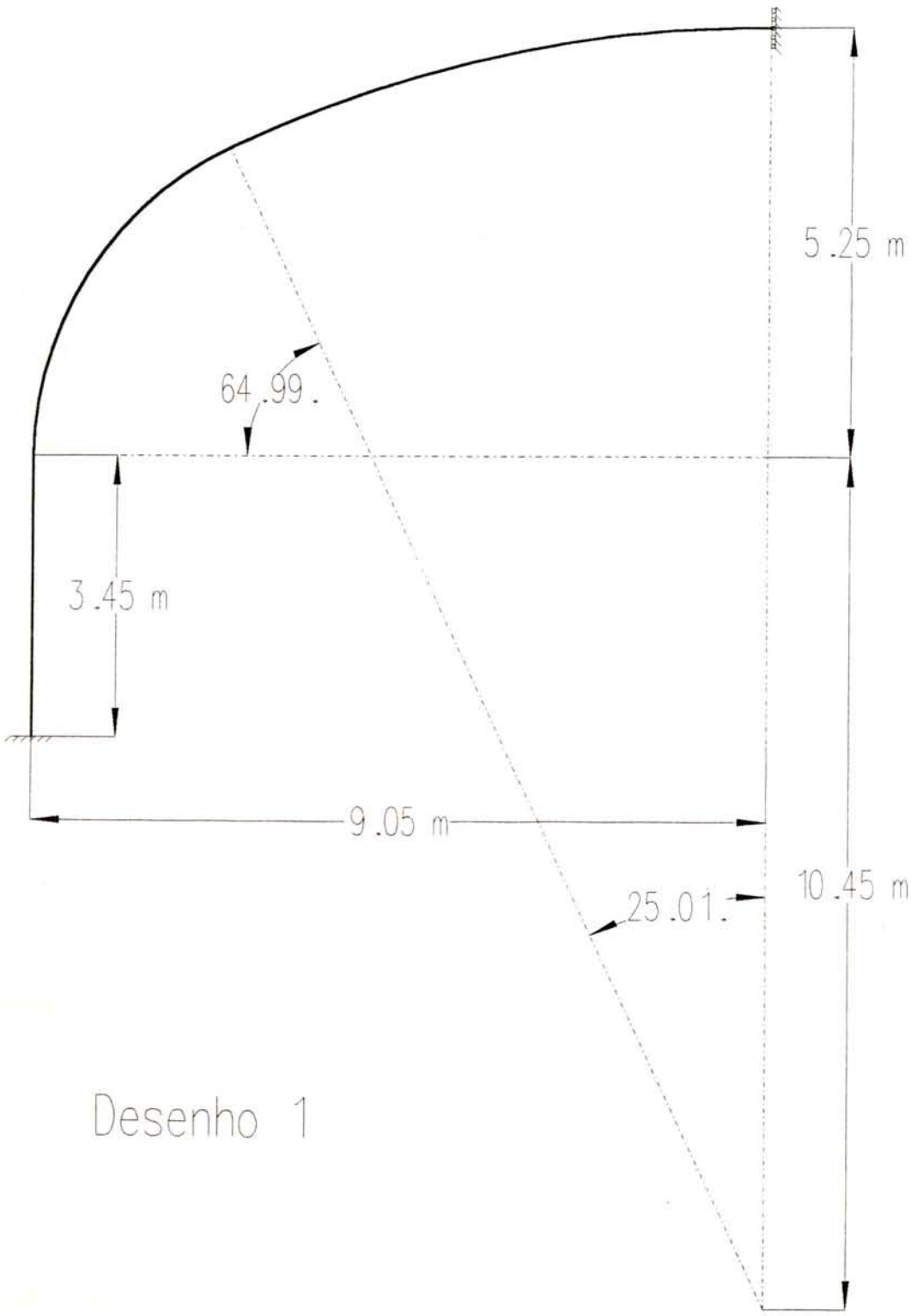
3.1 Geometria do Túnel

Ver Desenho 1.

3.2 Resultados das Sondagens

Apresentam-se a seguir algumas das características do maciço obtidas a partir das sondagens geotécnicas:

Formação	γ (kN/m^3)	E (MPa)	ν	K_o
Calcários Alterados	24	300	0.35	0.55
Calcário Compacto	25	3000	0.30	0.50



Desenho 1

4. Análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, não considerando laje de fundo

4.1 Introdução

A fim de possibilitar a aplicação do programa, o revestimento foi discretizado em pequenas barras.

A simetria do problema em termos geométricos e de carregamento, permite que se estude apenas metade da estrutura. Esta simplificação de simetria implica, por questões de continuidade de deslocamentos, a colocação de um apoio de roletes na secção da estrutura cortada pelo eixo de simetria. Na base é considerado um encastramento.

Algumas considerações se podem fazer em relação ao carregamento a considerar para o revestimento.

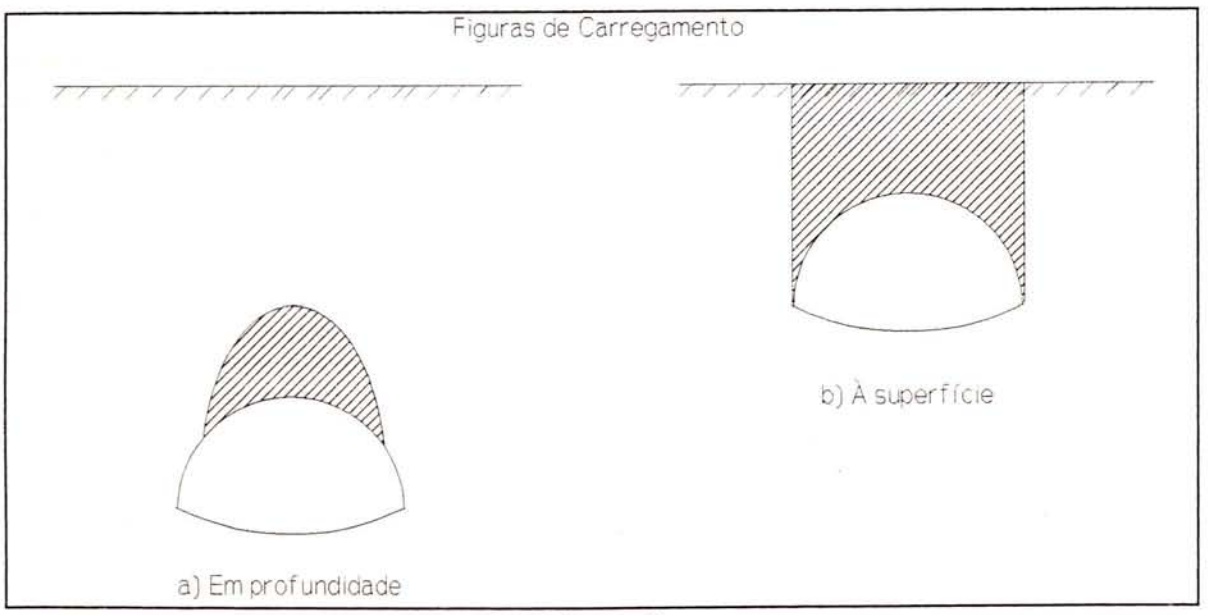


Figura 2

Há três formas de pressão do maciço sobre o revestimento:

a) cargas resultantes da instabilidade local de um volume limitado do maciço que se apoia sobre a estrutura.

Tem geralmente uma forma de cunha e forma-se devido à relaxação do maciço entre a fase de escavação e a fase de revestimento. Esta cunha depende das dimensões, forma e profundidade da cavidade e das características mecânicas do maciço. A baixa profundidade, considera-se todo o solo sobrejacente a carregar o revestimento (Fig. 2).

Em maciços compartimentados serão as descontinuidades a ditar a forma da cunha.

b) pressão própria do maciço.

Resulta do ajustamento do maciço ao revestimento e consequente redistribuição de tensões. Aumenta com a profundidade, o que implica importância acrescida das tensões iniciais.

Este efeito é mais gravoso em maciços viscosos.

c) pressões exteriores como, por exemplo, pressão da água e pressões devidas a rochas dilatantes.

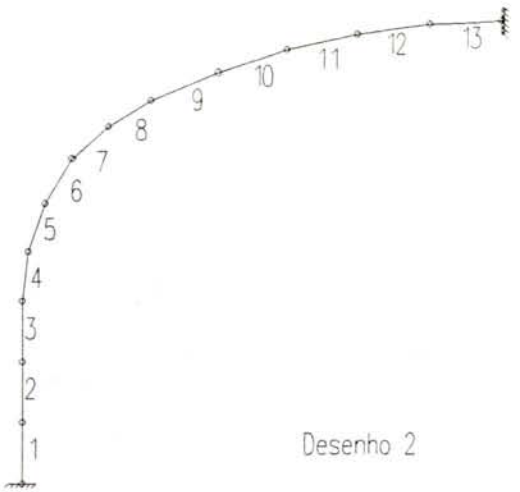
4.2 Discretização do revestimento

O revestimento do túnel foi dividido em barras de forma a aproximar-se da sua geometria real. Para isso, dividiu-se cada uma das zonas do revestimento, uma recta e duas curvas, em pequenas barras com comprimentos idênticos em cada uma delas.

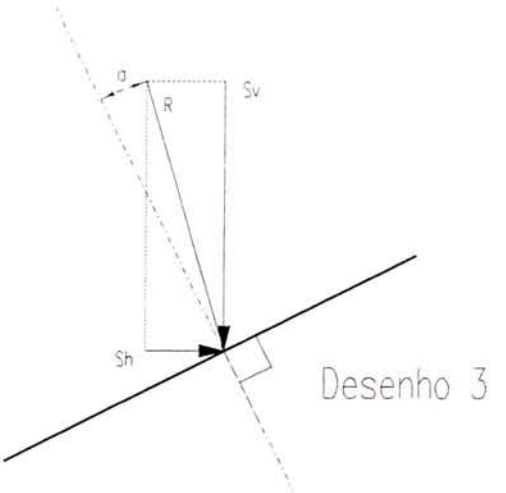
Obtiveram-se assim treze barras e catorze nós com as coordenadas que se indicam a seguir:

Nós	X	Y	Nós	X	Y
1	0.000	0.000	8	1.605	6.740
2	0.000	1.150	9	2.411	7.234
3	0.000	2.300	10	3.677	7.758
4	0.000	3.450	11	4.984	8.170
5	0.107	4.389	12	6.322	8.467
6	0.423	5.280	13	7.681	8.646
7	0.930	6.137	14	9.050	8.706

Com base nestes valores, obtidos a partir das dimensões e características da secção do túnel indicadas no Desenho 1, obteve-se a secção simplificada representada no Desenho 2.



Desenho 2



Desenho 3

4.3 Determinação do carregamento de cada elemento

A forma de definir o carregamento de uma barra varia de acordo com o programa utilizado. No caso presente, para além do valor da força, foi necessário determinar o ângulo que esta fazia com a normal à barra.

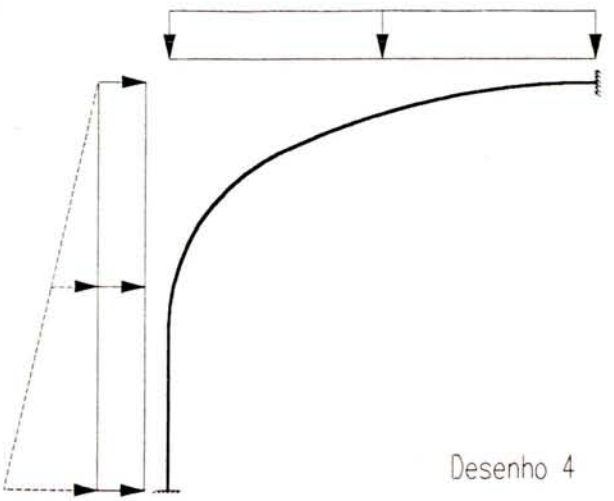
De acordo com o Desenho 3, os passos seguidos para a determinação do carregamento sobre cada barra foram os seguintes:

i. cálculo da tensão vertical no ponto médio de cada barra;

ii. cálculo da tensão horizontal utilizando o coeficiente K_o fornecido;

iii. determinação da resultante e respectivo ângulo com a horizontal;

iv. determinação do ângulo da resultante com a normal à barra, necessário para introduzir no programa.



Desenho 4

No que diz respeito ao carregamento, foram feitas algumas simplificações:

- a carga vertical foi considerada constante e correspondente a σ_v a uma profundidade de 20 metros de profundidade.

- a carga horizontal foi também considerada constante e igual a $K_o \times \sigma_v$ o que corresponde a suprimir o diagrama a tracejado no Desenho 4.

Ambas as simplificações estão do lado da segurança. A consideração das cargas reais teria um efeito estabilizador já que estas provocariam um maior confinamento lateral.

4.4 Resultados

Na resolução considerou-se $K_o = 0.55$ (fornecido pelas sondagens) e o revestimento, ou seja a espessura das barras foi tomada igual a um metro. O apoio ao nível da base foi assimilado a um encastramento.

Apresentam-se, no Anexo A, os resultados da determinação do carregamento de cada elemento assim como os resultados da aplicação do programa de cálculo de pórticos planos (CPP).

4.5 Análise dos Resultados

Constata-se que os elevados esforços axiais (3614 kN) e momentos flectores (3291 kN) conduzem a uma razoável excentricidade ($e = 0.91$ m). Tais esforços exigiriam uma boa fundação, de difícil concretização na execução de um túnel. O facto da excentricidade ser para o lado de fora da cavidade, torna ainda mais complicada a construção de uma eventual fundação.

Verifica-se ainda que os deslocamentos verticais são modestos. Isto fica a dever-se, por um lado, à restrição dos deslocamentos verticais na base e, por outro lado, à elevada rigidez à flexão do revestimento.

Estes resultados seriam óptimos se não se soubesse, à partida, que o esquema estrutural considerado dificilmente traduzirá a realidade.

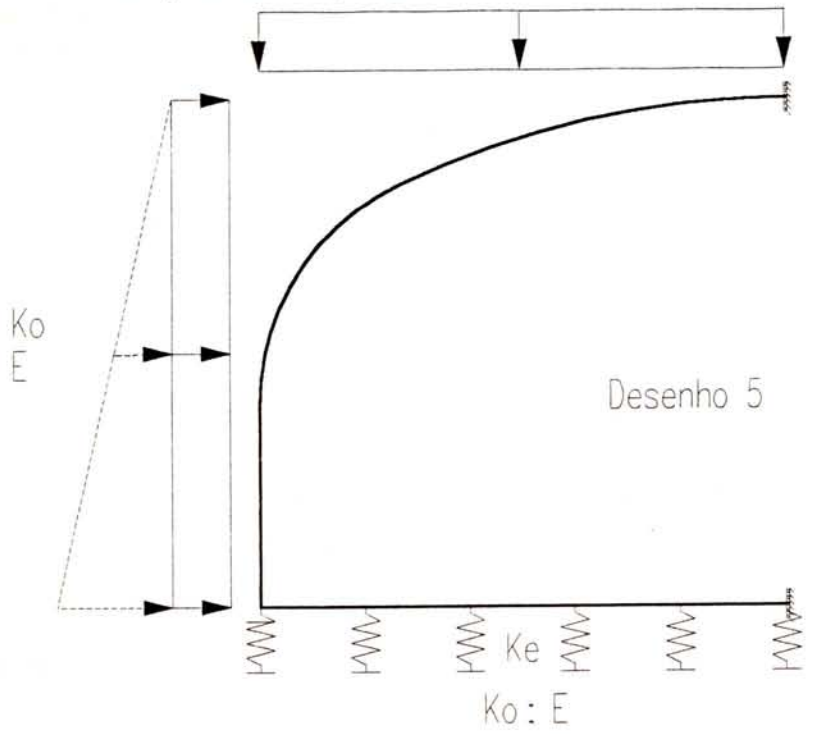
5. Análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, considerando laje de fundo

5.1 Introdução

Tendo em vista o melhoramento do comportamento estrutural do revestimento do túnel, considerou-se a execução de uma laje de fundo.

Esta solução, à partida, elimina a necessidade de uma fundação concentrada ao longo dos alinhamentos laterais do revestimento permitindo a distribuição da mesma carga por uma área consideravelmente superior.

A interacção estrutura-maciço é simulada pela colocação de molas nos nós dos elementos que formam a laje de fundo (Desenho 5).



Desenho 5

5.2 Discretização do revestimento

Em complemento à discretização referida em 4.2 são considerados 5 barras adicionais correspondentes à divisão da laje de fundo em elementos de igual dimensão.

5.3 Modelação da interacção estrutura-maciço

A necessidade de relacionar as características mecânicas do maciço com as das molas que o simulam conduz à introdução de um parâmetro designado por coeficiente de Winkler ou de mola.

Este parâmetro é função das características de deformabilidade do maciço (módulo de deformabilidade e coeficiente de Poisson) e da geometria do elemento estrutural que com ele interactua, podendo ser determinado por:

$$K = \frac{E_{solo}}{B\ (1-\nu^2)\ I_\rho} \quad ; \quad I_\rho = f\left(\frac{L}{B}\right)$$

No caso em estudo:

- E_{solo} = 3000 MPa (sondagens)
- ν = 0.3 (sondagens)
- B = 1.81 m (área de influência de cada mola)

Considerando um túnel com 500 metros de comprimento:

- $\frac{L}{B} = \frac{500}{1.81} = 276 \Rightarrow I_\rho \simeq 4$ (Sebenta de Mec. Solos)
- Ke = 45534.58 kN/m$_3$

Para cada mola o coeficiente deve ainda ser multiplicado pela sua área de influência obtendo-se:

- Nós extremos: A_i = 0.905 m^2
  Ke = 41209 kN/m
- Outros nós: A_i = 1.810 m^2
  Ke = 82418 kN/m

5.4 Resultados

Para o mesmo carregamento, calculado em 4.2, apresentam-se no Anexo B os resultados da aplicação do programa de cálculo de pórticos planos (CPP).

5.5 Análise dos Resultados

Verificam-se duas alterações importantes em relação aos resultados obtidos em 4.3.

Os deslocamentos verticais absolutos são maiores uma vez que se considera o maciço de fundação deformável em oposição à hipótese utilizada anteriormente em que se considerava um encastramento perfeito na base revestimento.

O valor do momento máximo aumenta e o seu ponto de aplicação desloca-se do elemento 1 para o 5. No entanto, verifica-se que na globalidade do revestimento os momentos são menores.

No nó 1, correspondente ao encastramento na hipótese anterior, dá-se uma inversão do sinal do momento deslocando-se a resultante dos esforços aplicados (Nsd, Msd) para o interior da cavidade.

Apesar do aumento do momento máximo, esta solução apresenta melhor funcionamento estrutural e maior facilidade de execução.

6. Análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel por aplicação do Método dos Elementos Finitos

6.1 Introdução

Para a realização deste estudo utilizou-se o programa MicroSAFE 2D.

Face à impossibilidade da consideração de elementos semi-infinitos no contorno, houve necessidade de truncar o domínio em pontos suficientemente afastados, para além dos quais o efeito no fenómeno em estudo se pode considerar desprezável. Considerou-se, nas direcções horizontal e vertical, uma distância igual à profundidade do topo do túnel.

A grande deficiência deste trabalho, inevitável devido à indisponibilidade das ferramentas de cálculo adequadas, é a não consideração de tensões iniciais, extremamente importantes para o problema em estudo.

Como forma de tentar diminuir os efeitos dos condicionalismos inerentes ao programa utilizado simularam-se através do MEF três situações:

- maciço sem cavidade;
- maciço com cavidade;
- maciço com cavidade e revestimento.

6.2 Malha de elementos finitos

A malha adoptada para o maciço envolvente da cavidade foi gerada através do programa GEN2D. A malha na zona correspondente à cavidade foi obtida e adicionada posteriormente dada a particularidade de alguns dos elementos que a compõem.

Contendo cerca de 400 elementos, a malha é mais densa na zona da construção do túnel, de forma a ilustrar com maior clareza o comportamento do revestimento e do maciço na sua proximidade (Fig. 3).

Dada a dimensão da malha de elementos finitos, os ficheiros de resultados obtidos resultaram muito extensos. Face a isto, optamos por registar e referir os resultados em pontos que consideramos importantes para a interpretação do comportamento da obra ou para a comparação com os resultados obtidos em 5..

Os pontos considerados foram os seguintes:

- Ponto A: À superfície, sobre o eixo de simetria;
- Ponto B: Na crista do túnel, interior do revestimento, sobre o eixo de simetria;
- Ponto C: Na base do túnel, interior do revestimento, sobre o eixo de simetria;

- Ponto D: Ponto de encontro, no interior, da laje de fundo com a zona lateral do revestimento.

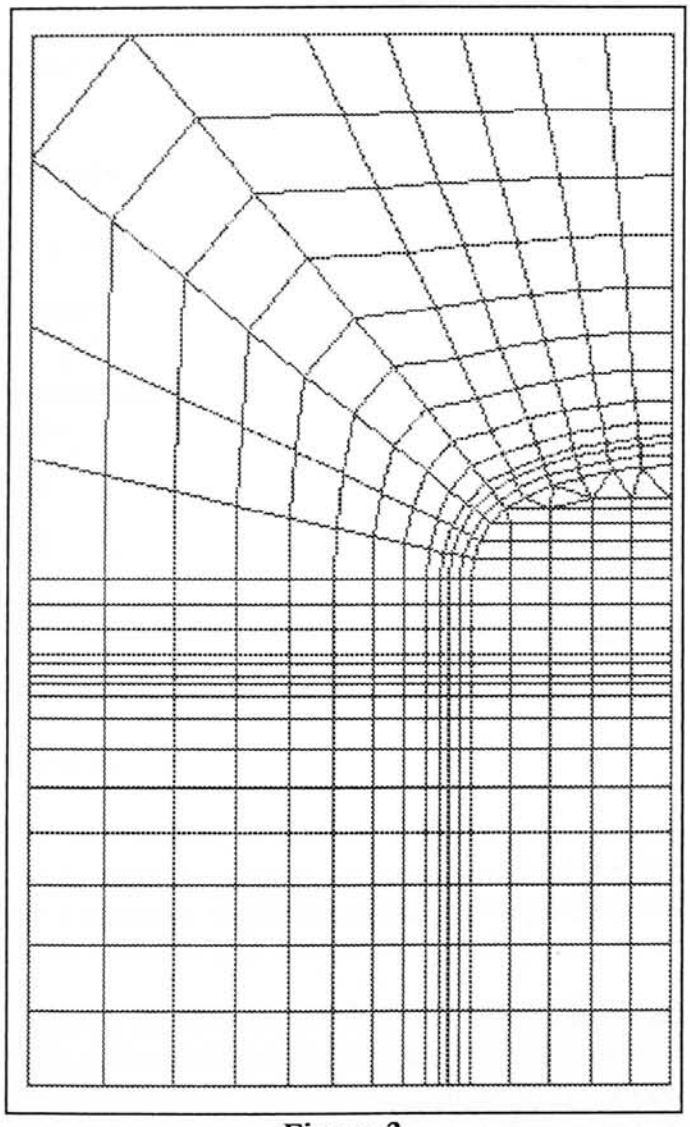


Figura 3

6.3 Aplicação do Método dos Elementos Finitos ao maciço sem cavidade

6.3.1 Introdução

A aplicação do método ao maciço sem qualquer alteração ou carga exterior corresponde a *ligar a gravidade*. Os elementos do maciço ficam repentinamente sujeitos ao seu peso próprio e ao peso de todos os elementos sobrejacentes.

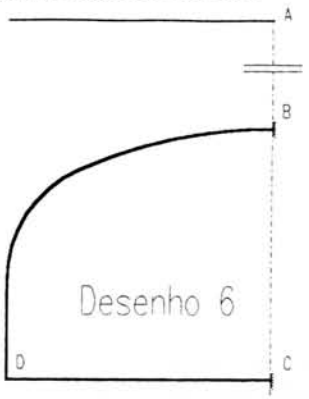
Instala-se, por isso, um estado de tensão que, aparte os efeitos de fenómenos geológicos, se pode aproximar do estado de tensão inicial ou um estado semelhante que irá ser perturbado pela escavação da cavidade.

As análises seguintes deveriam ter como ponto de partida um estado inicial de tensão.

6.3.2 Resultados

Obtiveram-se os seguintes valores, para os deslocamentos:

Pontos	Deslocamentos (cm)	
	δ_v	δ_h
A	4.00	0.00
B	2.40	0.00
C	0.80	0.00
D	0.80	0.00



6.4 Aplicação do Método dos Elementos Finitos ao maciço, com a cavidade

6.4.1 Introdução

O melhor processo de simular a abertura da cavidade seria considerar o estado de tensão inicial no maciço e atribuir um módulo de deformabilidade muito baixo aos elementos que definem a cavidade. O maciço, sujeito a um estado de tensão inicial, caminha para um estado de tensão induzido pela abertura da cavidade.

O processo de cálculo poderia ainda aproximar-se mais da realidade se a atribuição do módulo de deformabilidade baixo fosse efectuada de acordo com a sequência dos trabalhos de abertura da cavidade. Obviamente, este método implicaria uma resolução do tipo iterativo considerando como estado de tensão inicial para cada fase, o estado de tensão induzido pela fase anterior.

Mais uma vez, por limitação do programa, vimo-nos na contingência de não considerar qualquer estado de tensão inicial. A simulação da escavação do túnel foi feita através da retirada, da malha inicial, dos elementos situados dentro da secção a escavar.

6.4.2 Resultados

Obtiveram-se os seguintes valores para os deslocamentos:

Pontos	Deslocamentos (cm)	
	δ_v	δ_h
A	6.60	0.00
B	6.50	0.00
C	0.28	0.00
D	0.70	0.15

6.5 Aplicação do Método dos Elementos Finitos, considerando o túnel com revestimento

6.5.1 Introdução

O revestimento será executado em betão armado. Para análise que se segue, foi admitido um revestimento com um metro de espessura.

Pretende-se avaliar as tensões e deslocamentos ao longo do revestimento, para posterior comparação com os resultados obtidos com o programa de pórticos planos. Pretende-se ainda avaliar a eficiência do revestimento por comparação com a situação anterior.

6.5.2 Resultados

Obtiveram-se os seguintes valores para os deslocamentos:

Pontos	Deslocamentos (cm)	
	δ_v	δ_h
A	3.80	0.00
B	2.80	0.00
C	0.35	0.00
D	0.70	0.15

6.6 Análise e discussão de resultados

A análise efectuada em 6.4, por comparação com a efectuada em 6.3, permite avaliar a perturbação introduzida pela cavidade; por comparação com a análise efectuada em 6.5, permite avaliar a eficiência do revestimento.

Para obter uma melhor aproximação aos deslocamentos reais provocados pela abertura e colocação do revestimento, podemos admitir os resultados de 6.3 como correspondendo a um estado plano de deformação inicial. Nesta perspectiva, os deslocamentos reais de 6.4 e 6.5 serão aproximados subtraindo-lhes os deslocamentos correspondentes do estado de deformação inicial admitido.

Com base nas considerações anteriores, obtiveram-se, para os deslocamentos reais dos pontos em estudo, os seguintes valores:

Pontos	Deslocamentos (cm)	
	δ_v	δ_h
A	-0.20	0.00
B	0.40	0.00
C	-0.45	0.00
D	0.70	0.15

O aparecimento de alguns deslocamentos verticais negativos, isto é, para cima, surgem como consequência das simplificações admitidas. O seu baixo valor, praticamente nulo, revela, no entanto, que este tipo de análise poderá ser considerado válido.

Conclui-se ainda, a partir de 6.4.2 e 6.5.2, que o revestimento se revela essencial para reduzir os deslocamentos verticais acima da crista do túnel (Ponto A), um dos objectivos a alcançar com este estudo.

De facto, a introdução do revestimento reduziu substancialmente o deslocamento à superfície.

7. Comparação dos resultados obtidos pelo CPP e pelo MEF

A comparação que nos propomos efectuar será feita em termos de deslocamentos. Apresentam-se a seguir os valores dos deslocamentos obtidos para os pontos B,C e D através do programa de pórticos planos.

Pontos	Deslocamentos (cm)	
	δ_v	δ_h
B	8.30	0.00
C	-1.45	0.00
D	2.64	-0.01

A disparidade que se verifica entre os valores obtidos pelos dois métodos encontra explicação no efeito de arco.

O efeito de arco provoca uma diminuição do valor do carregamento sobre os elementos mais próximos da crista do túnel e será tanto mais importante quanto mais deformável for o maciço envolvente. O carregamento deixa, por isso, de representar o peso do maciço sobrejacente.

Por outro lado, o desvio das tensões aumenta o confinamento lateral do revestimento.

Na aplicação do Cálculo de Pórticos Planos não se tomou em conta o efeito de arco daqui resultando:

- sobreestimação das cargas verticais;
- subestimação do confinamento lateral.

Estes dois aspectos condicionam, à partida, a utilização duma análise de pórticos planos que não seja a de primeira aproximação uma vez que fornece resultados do lado da segurança.

8. Análise de Sensibilidade de Esforços

8.1 Introdução

De acordo com o que foi referido nas considerações iniciais, há uma grande dose de incerteza associada aos parâmetros de caracterização mecânica do maciço. Por outro lado, o parâmetro Ko, razão entre a tensão efectiva horizontal e a tensão efectiva vertical, assume nestes casos um cariz mais geológico do que físico. A sua determinação é de extrema dificuldade.

Em suma, há uma grande variância associada aos parâmetros intervenientes neste tipo de problemas.

Nestas circunstâncias, uma análise correcta do problema deverá passar, em primeiro lugar, por uma análise da sensibilidade do comportamento à variabilidade dos parâmetros que se afiguram mais significativos.

Uma análise de sensibilidade pode ser efectuada através da variação de cada um dos parâmetros intervenientes cuja determinação apresente alguma incerteza e combinando os diversos valores. Pode-se definir, para cada parâmetro, um valor central que se julgue mais provável e outros valores próximos dentro de um intervalo plausível.

8.2 Coeficiente de Winkler ou coeficiente de reacção do solo (Ke)

O significado e processo de obtenção foi já referido em 5.3.

Adoptou-se para valor central o obtido em 5.3 com base nas características de deformabilidade do solo e na geometria da interface solo-estrutura.

Consideraram-se ainda dois valores sendo um dez vezes superior e outro dez vezes inferior.

Ke_m	Ke_c(kN/m)	Ke_M
8242	82418	824176

8.3 Parâmetro geológico Ko

Este parâmetro tem grande influência no carregamento do revestimento, pois define a grandeza das tensões horizontais a partir das tensões verticais.

Geralmente, cresce em profundidade atingindo muitas vezes valores superiores à unidade. É o que poderá acontecer em maciços sobreconsolidados, ou em regiões do maciço

que tenham sofrido influência de forças tectónicas. Estes casos são particularmente gravosos para escavações subterrâneas, uma vez que tensões horizontais de grandeza inesperada tornarão instáveis as fronteiras laterais da cavidade.

Neste caso, dada a profundidade relativamente baixa do túnel não são de esperar elevados valores de Ko. As sondagens apontam valores da ordem de 0.5.

Nesta análise de sensibilidade são considerados quatro valores para Ko. Mais uma vez se considera para valor central o obtido a partir da sondagem.

Ko_1	Ko_2	Ko	Ko_3
0.25	0.40	0.55	0.70

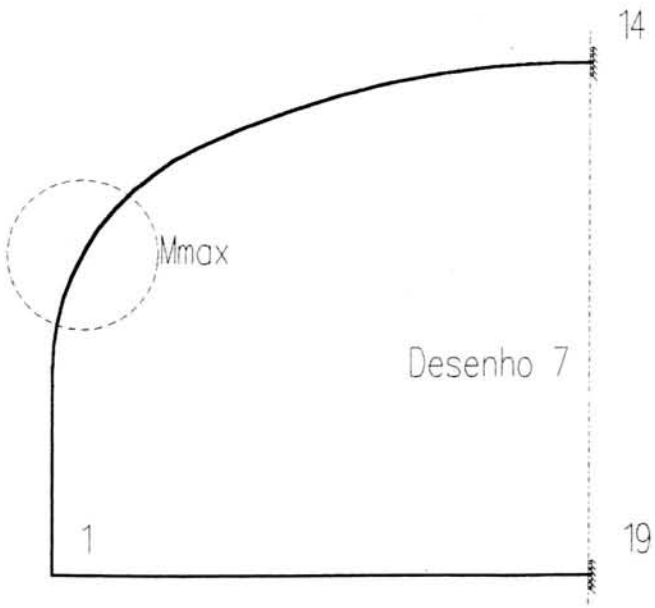
8.4 Análise de Sensibilidade

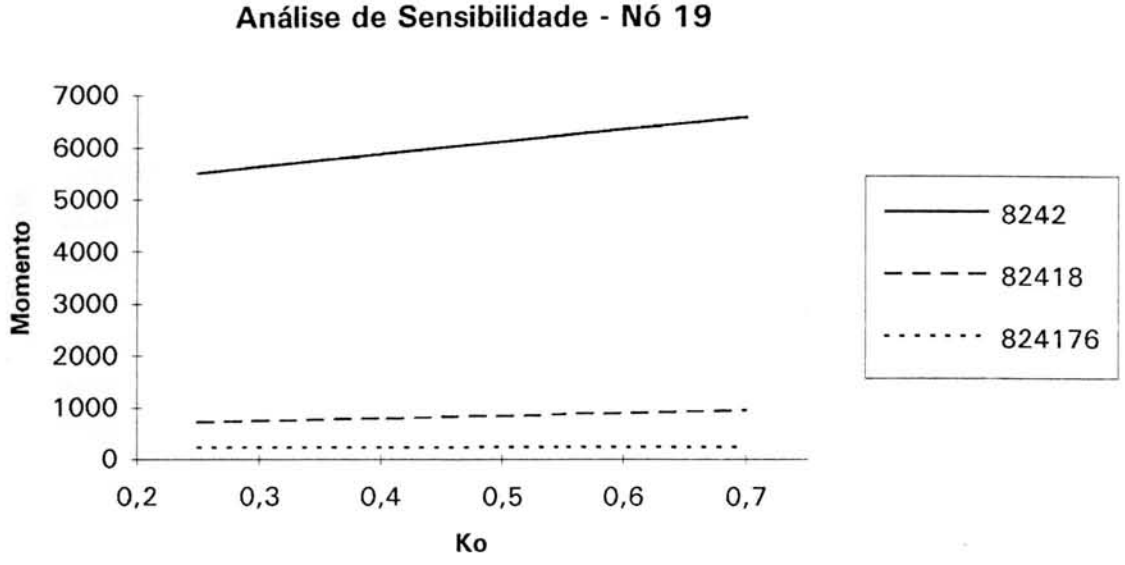
Definida a gama de variação de Ko e Ke, executou-se o programa de cálculo de pórticos planos para as diferentes combinações possíveis.

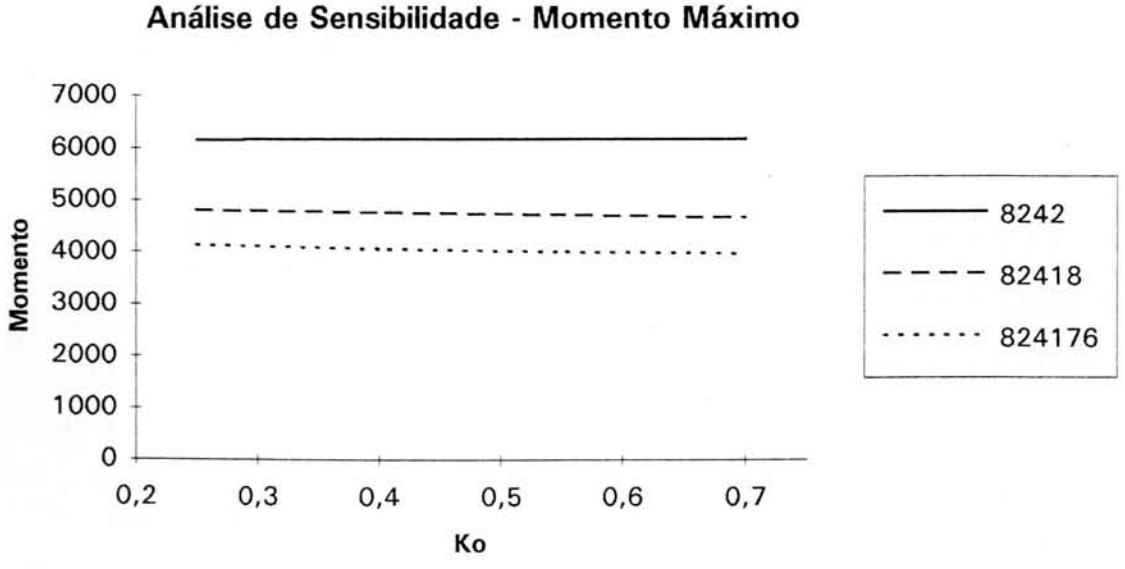
Apresentam-se no Anexo C os resultados do cálculo dos carregamentos para cada Ko e os resultados das diferentes execuções do programa de pórticos planos.

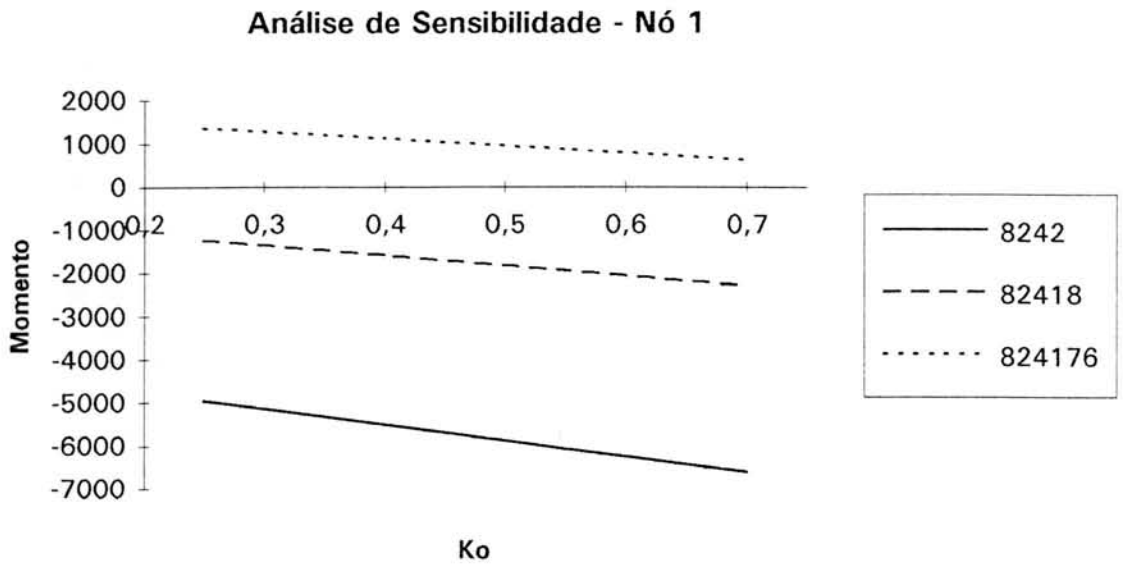
8.5 Análise dos Resultados

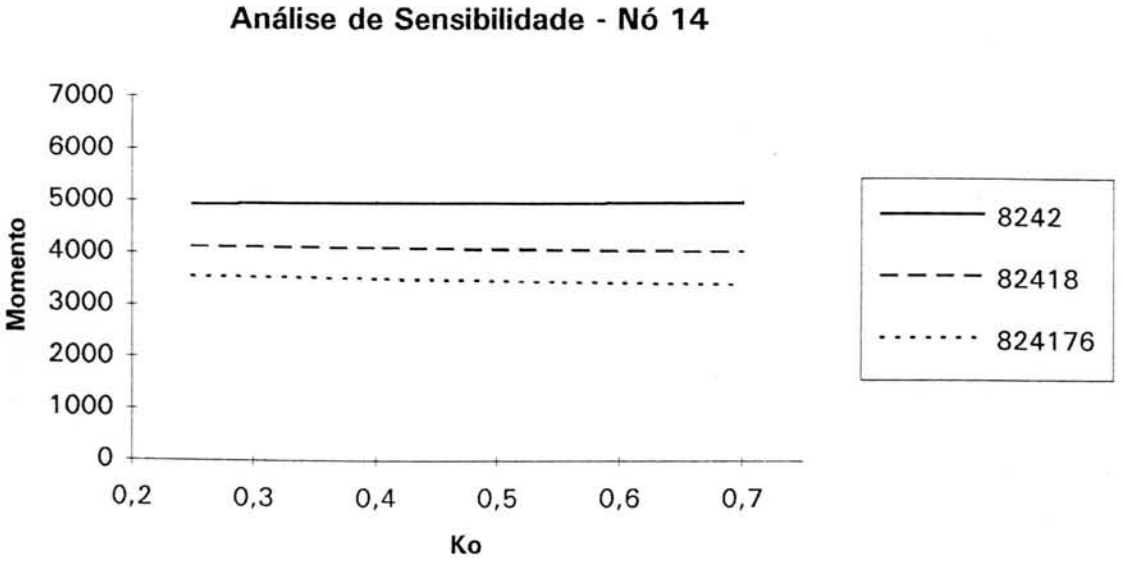
Foram registados os esforços, com especial atenção aos momentos, em três pontos correspondentes aos nós 1, 14 e 19. Analisa-se também a variação do valor máximo do momento.




Análise de Sensibilidade - Nó 19
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Momento
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
Ko
8242
82418
824176


Análise de Sensibilidade - Momento Máximo
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Momento
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
Ko
8242
82418
824176


Análise de Sensibilidade - Nó 1
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
-5000
-6000
-7000
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
Momento
Ko
8242
82418
824176


Análise de Sensibilidade - Nó 14
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
Momento
Ko
8242
82418
824176

8.6 Comentários

A partir dos resultados obtidos, constata-se que:

- K_o não tem grande influência nos valores dos momentos, podendo até considerar-se nula para o valor do momento máximo;

- K_e é mais influente do que K_o, particularmente nos nós 1 e 19 por estarem na zona de interacção solo-estrutura. Note-se ainda que os momentos são mais sensíveis à diminuição de K_e do que ao seu aumento.

ANEXOS

Anexo A: Dados e resultados da análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel, com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, não considerando laje de fundo

Anexo B: Dados e resultados da análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel, com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, considerando laje de fundo

Anexo C: Dados e resultados da análise de sensibilidade dos esforços ao longo do revestimento do túnel, com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, considerando laje de fundo

Anexo A: Dados e resultados da análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel, com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, não considerando laje de fundo

Determinação do Carregamento de Cada Elemento

γ	24
H	20
Ko	0.55

$$R = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

Elemento	α	σ	τ	R	γ	θ
1	0.00	264.00	0.00	264.00	90.00	0.00
2	0.00	264.00	0.00	264.00	90.00	0.00
3	0.00	264.00	0.00	264.00	90.00	0.00
4	6.50	266.77	24.29	267.87	84.80	5.20
5	19.50	288.07	67.97	295.98	76.72	13.28
6	32.50	326.36	97.88	340.72	73.30	16.70
7	45.50	373.88	107.98	389.17	73.89	16.11
8	58.50	421.03	96.23	431.89	77.13	12.87
9	67.50	448.37	76.37	454.82	80.33	9.67
10	72.50	460.47	61.95	464.62	82.34	7.66
11	77.50	469.88	45.64	472.09	84.45	5.55
12	82.50	476.32	27.95	477.14	86.64	3.36
13	87.50	479.59	9.41	479.68	88.88	1.12
14	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
15	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
16	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
17	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
18	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00

RESULTADOS
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	.000	.000000	.000	2	.208	-.001896	-1.328
3	.416	-.002881	-4.386	4	.623	-.002714	-7.986
5	.539	-.001658	-10.315	6	.413	.000010	-11.251
7	1.099	.002087	-10.511	8	3.332	.003889	-8.779
9	7.303	.005293	-6.581	10	15.039	.006162	-3.688
11	23.223	.005759	-1.407	12	30.299	.004386	-.128
13	35.058	.002357	.212	14	36.732	.000000	.000

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	-844.14	-1147.74	-3614.19	-3614.19	3290.91	2145.57
2	-1147.74	-1451.34	-3614.19	-3614.19	2145.57	651.10
3	-1451.35	-1754.95	-3614.20	-3614.20	651.10	-1192.52
4	-1334.46	-1586.58	-3789.64	-3812.59	-1192.51	-2572.81
5	-686.38	-958.71	-4072.10	-4136.37	-2572.81	-3350.43
6	-145.83	-470.79	-4243.52	-4341.01	-3350.43	-3657.43
7	865.03	526.62	-4279.90	-4377.65	-3657.43	-3027.62
8	1298.76	900.74	-4213.57	-4304.51	-3027.62	-1987.98
9	1564.43	950.11	-4110.08	-4214.76	-1987.98	-265.32
10	1313.00	681.97	-4116.18	-4201.05	-265.32	1101.63
11	1044.15	400.16	-4125.98	-4188.56	1101.64	2091.39
12	764.53	111.62	-4137.58	-4175.91	2091.39	2691.88
13	474.71	-182.48	-4150.35	-4163.20	2691.89	2892.11

Anexo B: Dados e resultados da análise dos esforços e deslocamentos ao longo do revestimento do túnel, com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, considerando laje de fundo

Determinação do Carregamento de Cada Elemento

γ	24
H	20
Ko	0.55

$$R = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

Elemento	α	σ	τ	R	γ	θ
1	0.00	264.00	0.00	264.00	90.00	0.00
2	0.00	264.00	0.00	264.00	90.00	0.00
3	0.00	264.00	0.00	264.00	90.00	0.00
4	6.50	266.77	24.29	267.87	84.80	5.20
5	19.50	288.07	67.97	295.98	76.72	13.28
6	32.50	326.36	97.88	340.72	73.30	16.70
7	45.50	373.88	107.98	389.17	73.89	16.11
8	58.50	421.03	96.23	431.89	77.13	12.87
9	67.50	448.37	76.37	454.82	80.33	9.67
10	72.50	460.47	61.95	464.62	82.34	7.66
11	77.50	469.88	45.64	472.09	84.45	5.55
12	82.50	476.32	27.95	477.14	86.64	3.36
13	87.50	479.59	9.41	479.68	88.88	1.12
14	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
15	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
16	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
17	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
18	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00

RESULTADOS
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	26.397	-.008202	-.050	2	26.605	-.006785	-8.731
3	26.812	-.005038	-15.664	4	27.020	-.002721	-20.334
5	27.017	-.000331	-21.915	6	27.490	.002290	-21.125
7	29.535	.004989	-18.053	8	33.863	.007065	-14.416
9	40.460	.008528	-10.574	10	52.217	.009175	-5.966
11	64.063	.008269	-2.481	12	74.058	.006178	-.504
13	80.693	.003290	.133	14	83.013	.000000	.000
15	10.484	-.008102	-.040	16	-2.108	-.005593	-.030
17	-9.754	-.003061	-.020	18	-13.436	-.001254	-.010
19	-14.481	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	-111.49	-415.09	-3614.09	-3614.09	-1931.91	-2234.68
2	-415.08	-718.68	-3614.15	-3614.15	-2234.68	-2886.59
3	-718.69	-1022.29	-3614.14	-3614.14	-2886.59	-3887.65
4	-606.53	-858.65	-3706.64	-3729.57	-3887.66	-4580.02
5	4.11	-268.22	-3827.15	-3891.40	-4580.01	-4704.86
6	484.76	159.81	-3870.43	-3967.93	-4704.85	-4383.93
7	1353.17	1014.76	-3733.62	-3831.37	-4383.93	-3312.31
8	1681.68	1283.67	-3588.92	-3679.86	-3312.32	-1910.67
9	1844.68	1230.36	-3433.11	-3537.76	-1910.69	195.93
10	1533.32	902.29	-3417.37	-3502.25	195.94	1864.81
11	1202.97	558.97	-3410.68	-3473.26	1864.79	3072.22
12	860.21	207.30	-3411.14	-3449.49	3072.20	3803.85
13	506.80	-150.39	-3418.35	-3431.20	3803.85	4048.06
14	-2526.29	-1657.50	111.49	111.49	1931.91	-1854.42
15	-793.42	75.38	111.49	111.49	-1854.43	-2504.25
16	-98.36	770.44	111.49	111.49	-2504.25	-1896.02
17	-33.44	835.36	111.49	111.49	-1896.02	-1170.29
18	-272.04	596.76	111.49	111.49	-1170.28	-876.42

Anexo C: Dados e resultados da análise de sensibilidade dos esforços ao longo do revestimento do túnel, com um programa de Cálculo de Pórticos Planos, considerando laje de fundo

Determinação do Carregamento de Cada Elemento

γ	24
H	20
Ko	0.25

$$R = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

Elemento	α	σ	τ	R	γ	θ
1	0.00	120.00	0.00	120.00	90.00	0.00
2	0.00	120.00	0.00	120.00	90.00	0.00
3	0.00	120.00	0.00	120.00	90.00	0.00
4	6.50	124.61	40.49	131.03	72.00	18.00
5	19.50	160.11	113.28	196.13	54.72	35.28
6	32.50	223.93	163.14	277.05	53.93	36.07
7	45.50	303.14	179.97	352.54	59.30	30.70
8	58.50	381.72	160.38	414.04	67.21	22.79
9	67.50	427.28	127.28	445.83	73.41	16.59
10	72.50	447.45	103.24	459.20	77.01	12.99
11	77.50	463.14	76.07	469.34	80.67	9.33
12	82.50	473.87	46.59	476.15	84.39	5.61
13	87.50	479.32	15.69	479.57	88.13	1.87
14	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
15	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
16	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
17	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
18	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00

RESULTADOS {Ke=Ke$_m$}
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	34.956	-.013869	-.038	2	35.136	-.010399	-14.028
3	35.316	-.006754	-23.961	4	35.496	-.002824	-29.571
5	35.522	.000600	-30.667	6	36.412	.003972	-28.615
7	39.454	.007160	-23.791	8	45.342	.009448	-18.714
9	53.904	.010959	-13.627	10	68.680	.011447	-7.716
11	83.291	.010169	-3.310	12	95.498	.007541	-.797
13	103.561	.004000	.070	14	106.373	.000000	.000
15	5.969	-.016602	-.030	16	-23.739	-.015226	-.023
17	-48.280	-.011306	-.015	18	-64.180	-.005965	-.008
19	-69.659	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	-83.01	-221.01	-3127.69	-3127.69	-4954.50	-5129.29
2	-220.99	-358.99	-3127.63	-3127.63	-5129.29	-5462.77
3	-358.99	-496.99	-3127.81	-3127.81	-5462.77	-5954.96
4	-139.69	-257.47	-3163.92	-3202.17	-5954.95	-6142.63
5	470.91	319.55	-3177.86	-3284.93	-6142.63	-5768.99
6	944.98	721.99	-3162.29	-3324.73	-5768.98	-4939.04
7	1694.30	1419.93	-2950.34	-3113.28	-4939.05	-3529.68
8	1952.25	1591.41	-2810.13	-2961.69	-3529.67	-1854.67
9	2036.05	1450.61	-2675.60	-2850.01	-1854.64	533.98
10	1692.96	1079.77	-2713.09	-2854.56	533.98	2433.87
11	1323.55	688.80	-2750.04	-2854.32	2433.83	3812.86
12	935.47	285.90	-2783.20	-2847.01	3812.84	4649.93
13	532.70	-124.12	-2811.32	-2832.76	4649.90	4929.85
14	-2983.60	-2114.80	83.01	83.01	4954.51	340.46
15	-2065.60	-1196.80	83.01	83.01	340.44	-2612.03
16	-1392.45	-523.66	83.01	83.01	-2612.03	-4346.11
17	-921.57	-52.77	83.01	83.01	-4346.12	-5227.90
18	-581.73	287.07	83.01	83.01	-5227.91	-5494.58

RESULTADOS {Ke=Ke_c}
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	22.903	-.007987	-.273	2	23.083	-.006878	-8.983
3	23.263	-.005180	-16.111	4	23.443	-.002784	-20.917
5	23.415	-.000311	-22.513	6	23.888	.002380	-21.661
7	25.978	.005122	-18.472	8	30.393	.007212	-14.735
9	37.105	.008679	-10.806	10	49.044	.009320	-6.105
11	61.068	.008396	-2.551	12	71.213	.006274	-.531
13	77.950	.003341	.126	14	80.306	.000000	.000
15	7.950	-.007465	-.219	16	-3.457	-.005002	-.164
17	-10.202	-.002670	-.109	18	-13.373	-.001070	-.055
19	-14.256	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	-604.30	-742.30	-3127.65	-3127.65	-1233.37	-2007.65
2	-742.30	-880.30	-3127.68	-3127.68	-2007.65	-2940.64
3	-880.31	-1018.31	-3127.73	-3127.73	-2940.64	-4032.34
4	-657.66	-775.43	-3222.84	-3261.15	-4032.33	-4709.52
5	-20.39	-171.75	-3351.88	-3458.94	-4709.52	-4800.34
6	496.32	273.34	-3427.64	-3590.02	-4800.33	-4417.14
7	1347.00	1072.63	-3339.01	-3501.95	-4417.14	-3322.11
8	1679.90	1319.05	-3254.51	-3406.14	-3322.11	-1904.58
9	1836.70	1251.27	-3157.13	-3331.57	-1904.59	210.92
10	1536.23	923.06	-3210.14	-3351.58	210.93	1896.03
11	1210.57	575.82	-3258.79	-3363.07	1896.03	3120.21
12	867.38	217.83	-3299.93	-3363.73	3120.20	3863.99
13	509.85	-146.96	-3332.02	-3353.46	3863.98	4112.61
14	-2183.80	-1315.00	604.31	604.31	1233.37	-1933.05
15	-659.75	209.05	604.30	604.30	-1933.05	-2340.94
16	-75.91	792.89	604.30	604.30	-2340.94	-1692.07
17	-47.96	820.84	604.30	604.30	-1692.07	-992.61
18	-281.32	587.48	604.30	604.30	-992.60	-715.52

RESULTADOS {Ke=Ke$_w$}
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	5.703	-.003892	-.438	2	5.883	-.004427	-5.469
3	6.063	-.004085	-10.644	4	6.243	-.002756	-14.891
5	6.177	-.000945	-16.835	6	6.360	.001271	-16.818
7	7.786	.003703	-14.769	8	11.176	.005656	-11.965
9	16.600	.007091	-8.842	10	26.564	.007839	-4.984
11	36.786	.007161	-2.022	12	45.496	.005392	-.346
13	51.309	.002882	.165	14	53.346	.000000	.000
15	.237	-.001938	-.350	16	-1.440	-.000356	-.263
17	-1.428	.000122	-.175	18	-1.165	.000110	-.088
19	-1.064	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	-967.28	-1105.28	-3127.72	-3127.72	1357.65	165.93
2	-1105.28	-1243.28	-3127.72	-3127.72	165.93	-1184.48
3	-1243.27	-1381.27	-3127.74	-3127.74	-1184.49	-2693.60
4	-1018.28	-1136.05	-3264.00	-3302.26	-2693.61	-3711.60
5	-362.47	-513.83	-3473.35	-3580.44	-3711.60	-4125.81
6	183.93	-39.06	-3612.48	-3774.92	-4125.81	-4053.68
7	1105.22	830.84	-3609.65	-3772.55	-4053.68	-3177.50
8	1490.20	1129.34	-3563.97	-3715.56	-3177.50	-1939.31
9	1697.88	1112.45	-3492.56	-3666.97	-1939.32	-14.02
10	1427.09	813.91	-3556.32	-3697.77	-14.02	1521.52
11	1131.90	497.14	-3613.16	-3717.44	1521.52	2637.86
12	819.98	170.43	-3659.79	-3723.59	2637.86	3316.68
13	493.93	-162.88	-3694.63	-3716.07	3316.69	3543.52
14	-777.52	91.28	967.28	967.28	-1357.65	-1978.69
15	286.58	1155.38	967.28	967.28	-1978.69	-673.70
16	-31.18	837.62	967.28	967.28	-673.70	56.13
17	-339.09	529.71	967.28	967.28	56.13	228.65
18	-430.52	438.28	967.28	967.28	228.65	235.67

Determinação do Carregamento de Cada Elemento

γ	24
H	20
Ko	0.40

$$R = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

Elemento	α	σ	τ	R	γ	θ
1	0.00	192.00	0.00	192.00	90.00	0.00
2	0.00	192.00	0.00	192.00	90.00	0.00
3	0.00	192.00	0.00	192.00	90.00	0.00
4	6.50	195.69	32.39	198.35	80.60	9.40
5	19.50	224.09	90.62	241.72	67.98	22.02
6	32.50	275.14	130.51	304.53	64.62	25.38
7	45.50	338.51	143.98	367.86	66.96	23.04
8	58.50	401.37	128.30	421.38	72.27	17.73
9	67.50	437.82	101.82	449.51	76.91	13.09
10	72.50	453.96	82.60	461.41	79.69	10.31
11	77.50	466.51	60.86	470.46	82.57	7.43
12	82.50	475.09	37.27	476.55	85.51	4.49
13	87.50	479.45	12.55	479.62	88.50	1.50
14	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
15	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
16	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
17	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
18	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00

RESULTADOS {Ke=Ke$_m$}
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	44.100	-.014284	.086	2	44.293	-.010537	-14.167
3	44.487	-.006765	-24.149	4	44.681	-.002795	-29.732
5	44.723	.000638	-30.795	6	45.634	.004010	-28.712
7	48.703	.007200	-23.860	8	54.626	.009491	-18.763
9	63.227	.011003	-13.658	10	78.060	.011486	-7.731
11	92.717	.010198	-3.315	12	104.957	.007560	-.797
13	113.039	.004009	.071	14	115.857	.000000	.000
15	13.895	-.017406	.069	16	-17.389	-.016079	.052
17	-43.364	-.011983	.035	18	-60.236	-.006334	.017
19	-66.058	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	190.65	-30.15	-3370.90	-3370.90	-5498.44	-5406.13
2	-30.12	-250.93	-3370.93	-3370.93	-5406.13	-5567.73
3	-250.93	-471.73	-3371.13	-3371.13	-5567.72	-5983.25
4	-87.04	-271.98	-3402.80	-3433.36	-5983.25	-6152.90
5	508.88	297.03	-3406.27	-3491.90	-6152.90	-5771.95
6	962.64	688.68	-3369.82	-3499.69	-5771.96	-4949.81
7	1715.56	1409.15	-3127.17	-3257.42	-4949.80	-3535.69
8	1967.46	1588.03	-2954.03	-3075.34	-3535.69	-1855.09
9	2050.51	1450.60	-2788.41	-2927.91	-1855.09	543.43
10	1699.67	1077.57	-2790.66	-2903.85	543.43	2446.40
11	1325.61	686.24	-2799.31	-2882.68	2446.39	3825.10
12	935.48	284.27	-2811.74	-2862.88	3825.08	4661.06
13	532.30	-124.70	-2827.24	-2844.45	4661.02	4940.31
14	-3189.15	-2320.34	-190.66	-190.66	5498.46	512.37
15	-2205.80	-1337.00	-190.66	-190.66	512.35	-2693.89
16	-1480.32	-611.52	-190.66	-190.66	-2693.88	-4587.00
17	-968.91	-100.11	-190.66	-190.66	-4587.01	-5554.48
18	-596.57	272.23	-190.66	-190.66	-5554.49	-5848.03

RESULTADOS {Ke=Ke_c}
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	24.650	-.008095	-.162	2	24.844	-.006832	-8.857
3	25.038	-.005109	-15.888	4	25.232	-.002752	-20.626
5	25.216	-.000321	-22.214	6	25.689	.002335	-21.393
7	27.756	.005056	-18.263	8	32.128	.007139	-14.576
9	38.783	.008603	-10.690	10	50.631	.009248	-6.036
11	62.566	.008333	-2.516	12	72.636	.006226	-.517
13	79.322	.003315	.130	14	81.660	.000000	.000
15	9.217	-.007784	-.130	16	-2.783	-.005297	-.097
17	-9.978	-.002865	-.065	18	-13.405	-.001162	-.032
19	-14.369	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	-357.91	-578.71	-3370.87	-3370.87	-1582.63	-2121.17
2	-578.71	-799.51	-3370.86	-3370.86	-2121.16	-2913.63
3	-799.52	-1020.31	-3370.93	-3370.93	-2913.64	-3960.03
4	-632.09	-817.03	-3464.67	-3495.30	-3960.04	-4644.80
5	-8.13	-219.98	-3589.53	-3675.22	-4644.81	-4752.64
6	490.55	216.59	-3649.18	-3779.12	-4752.63	-4400.57
7	1350.10	1043.70	-3536.37	-3666.68	-4400.57	-3317.24
8	1680.79	1301.37	-3421.65	-3542.97	-3317.24	-1907.65
9	1840.72	1240.83	-3295.18	-3434.68	-1907.65	203.44
10	1534.78	912.68	-3313.73	-3426.92	203.44	1880.44
11	1206.76	567.37	-3334.74	-3418.13	1880.43	3096.23
12	863.79	212.58	-3355.47	-3406.61	3096.23	3833.94
13	508.29	-148.71	-3375.19	-3392.39	3833.95	4080.33
14	-2355.05	-1486.25	357.91	357.91	1582.63	-1893.75
15	-726.58	142.22	357.91	357.91	-1893.75	-2422.61
16	-87.13	781.67	357.91	357.91	-2422.61	-1794.05
17	-40.69	828.10	357.91	357.91	-1794.05	-1081.45
18	-276.68	592.12	357.91	357.91	-1081.44	-795.97

RESULTADOS {Ke=Ke$_w$}
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	5.949	-.003837	-.333	2	6.142	-.004282	-5.204
3	6.336	-.003970	-10.204	4	6.530	-.002723	-14.360
5	6.475	-.000980	-16.311	6	6.647	.001182	-16.358
7	8.024	.003580	-14.412	8	11.330	.005520	-11.695
9	16.645	.006953	-8.648	10	26.439	.007708	-4.870
11	36.502	.007049	-1.966	12	45.079	.005309	-.325
13	50.805	.002838	.170	14	52.811	.000000	.000
15	.388	-.002010	-.266	16	-1.403	-.000399	-.200
17	-1.432	.000112	-.133	18	-1.173	.000110	-.067
19	-1.070	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	-735.31	-956.11	-3370.95	-3370.95	1111.34	138.78
2	-956.10	-1176.90	-3370.97	-3370.97	138.77	-1087.70
3	-1176.91	-1397.71	-3370.99	-3370.99	-1087.71	-2568.11
4	-1007.06	-1192.00	-3507.55	-3538.16	-2568.11	-3607.24
5	-363.81	-575.66	-3715.78	-3801.46	-3607.23	-4051.31
6	165.74	-108.23	-3841.26	-3971.22	-4051.30	-4022.67
7	1098.70	792.30	-3817.70	-3948.01	-4022.67	-3166.88
8	1483.56	1104.13	-3743.47	-3864.78	-3166.89	-1943.75
9	1696.36	1096.47	-3643.86	-3783.36	-1943.75	-30.44
10	1421.31	799.21	-3673.68	-3786.85	-30.45	1491.06
11	1124.95	485.57	-3703.15	-3786.52	1491.05	2594.71
12	814.53	163.31	-3729.64	-3780.78	2594.72	3264.89
13	491.79	-165.21	-3752.21	-3769.42	3264.89	3488.65
14	-919.64	-50.84	735.31	735.31	-1111.33	-1989.61
15	269.24	1138.04	735.31	735.31	-1989.61	-716.02
16	-18.08	850.72	735.31	735.31	-716.02	37.52
17	-329.75	539.05	735.31	735.31	37.52	226.93
18	-427.96	440.84	735.31	735.31	226.93	238.58

Determinação do Carregamento de Cada Elemento

γ	24
H	20
Ko	0.70

$$R = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

Elemento	α	σ	τ	R	γ	θ
1	0.00	336.00	0.00	336.00	90.00	0.00
2	0.00	336.00	0.00	336.00	90.00	0.00
3	0.00	336.00	0.00	336.00	90.00	0.00
4	6.50	337.85	16.20	338.23	87.26	2.74
5	19.50	352.05	45.31	354.95	82.67	7.33
6	32.50	377.57	65.25	383.17	80.19	9.81
7	45.50	409.26	71.99	415.54	80.02	9.98
8	58.50	440.69	64.15	445.33	81.72	8.28
9	67.50	458.91	50.91	461.73	83.67	6.33
10	72.50	466.98	41.30	468.80	84.95	5.05
11	77.50	473.25	30.43	474.23	86.32	3.68
12	82.50	477.55	18.63	477.91	87.77	2.23
13	87.50	479.73	6.28	479.77	89.25	0.75
14	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
15	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
16	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
17	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00
18	90.00	480.00	0.00	480.00	90.00	0.00

RESULTADOS {Ke=Ke_m}

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	62.390	-.015114	.334	2	62.612	-.010811	-14.443
3	62.833	-.006788	-24.525	4	63.055	-.002736	-30.055
5	63.127	.000712	-31.051	6	64.083	.004087	-28.904
7	67.206	.007280	-23.997	8	73.196	.009578	-18.860
9	81.876	.011092	-13.722	10	96.824	.011564	-7.761
11	111.575	.010257	-3.324	12	123.880	.007597	-.798
13	131.999	.004027	.072	14	134.829	.000000	.000
15	29.752	-.019014	.267	16	-4.686	-.017784	.200
17	-33.528	-.013338	.134	18	-52.348	-.007073	.067
19	-58.855	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	738.03	351.63	-3857.49	-3857.49	-6586.50	-5959.93
2	351.63	-34.76	-3857.32	-3857.32	-5959.93	-5777.72
3	-34.76	-421.16	-3857.53	-3857.53	-5777.71	-6039.88
4	18.28	-301.01	-3880.53	-3895.78	-6039.88	-6173.48
5	584.81	251.99	-3863.31	-3906.19	-6173.48	-5777.93
6	998.03	622.07	-3784.74	-3849.74	-5777.93	-4971.32
7	1758.07	1387.65	-3481.19	-3546.31	-4971.32	-3547.68
8	1997.74	1581.15	-3241.89	-3302.51	-3547.68	-1856.04
9	2079.32	1450.54	-3013.95	-3083.70	-1856.01	562.22
10	1713.16	1073.22	-2945.93	-3002.49	562.23	2471.49
11	1329.89	681.27	-2897.88	-2939.60	2471.49	3849.66
12	935.42	280.83	-2868.83	-2894.33	3849.68	4683.24
13	531.68	-125.69	-2858.92	-2867.53	4683.25	4961.41
14	-3600.31	-2731.50	-738.03	-738.03	6586.51	856.22
15	-2486.25	-1617.45	-738.02	-738.02	856.21	-2857.64
16	-1656.08	-787.28	-738.02	-738.02	-2857.64	-5068.88
17	-1063.62	-194.81	-738.02	-738.02	-5068.88	-6207.75
18	-626.26	242.54	-738.02	-738.02	-6207.76	-6555.02

RESULTADOS {Ke=Ke_c}
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	28.145	-.008309	.061	2	28.366	-.006738	-8.605
3	28.588	-.004967	-15.442	4	28.810	-.002689	-20.043
5	28.819	-.000342	-21.617	6	29.293	.002245	-20.858
7	31.315	.004922	-17.844	8	35.599	.006991	-14.256
9	42.139	.008453	-10.458	10	53.805	.009103	-5.897
11	65.563	.008206	-2.446	12	75.483	.006131	-.490
13	82.067	.003264	.137	14	84.369	.000000	.000
15	11.752	-.008420	.049	16	-1.433	-.005888	.037
17	-9.529	-.003257	.024	18	-13.468	-.001346	.012
19	-14.594	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	134.90	-251.50	-3857.46	-3857.46	-2281.22	-2348.26
2	-251.50	-637.90	-3857.45	-3857.45	-2348.26	-2859.65
3	-637.91	-1024.31	-3857.47	-3857.47	-2859.66	-3815.43
4	-581.00	-900.29	-3948.62	-3963.87	-3815.43	-4515.39
5	16.39	-316.43	-4064.75	-4107.57	-4515.39	-4657.22
6	479.00	103.04	-4091.89	-4156.89	-4657.21	-4367.43
7	1356.25	985.84	-3930.83	-3996.02	-4367.43	-3307.51
8	1682.60	1266.00	-3756.22	-3816.85	-3307.50	-1913.79
9	1848.71	1219.93	-3571.11	-3640.86	-1913.81	188.45
10	1531.85	891.90	-3520.94	-3577.50	188.45	1849.21
11	1199.19	550.57	-3486.59	-3528.31	1849.23	3048.29
12	856.65	202.05	-3466.71	-3492.19	3048.29	3773.89
13	505.29	-152.10	-3461.37	-3469.97	3773.90	4015.90
14	-2697.60	-1828.80	-134.90	-134.90	2281.22	-1815.17
15	-860.26	8.54	-134.89	-134.89	-1815.17	-2585.98
16	-109.58	759.22	-134.89	-134.89	-2585.98	-1998.06
17	-26.17	842.63	-134.89	-134.89	-1998.06	-1259.16
18	-267.41	601.39	-134.89	-134.89	-1259.16	-956.90

RESULTADOS {Ke=Ke_M}
==========

DESLOCAMENTOS

ACCAO 1 : peso das terras

No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)	No	Vert(mm)	Rot(rad)	Hor(mm)
1	6.439	-.003726	-.123	2	6.661	-.003994	-4.673
3	6.883	-.003740	-9.323	4	7.105	-.002658	-13.298
5	7.071	-.001052	-15.262	6	7.221	.001004	-15.438
7	8.500	.003334	-13.699	8	11.637	.005249	-11.155
9	16.735	.006676	-8.260	10	26.190	.007446	-4.642
11	35.932	.006824	-1.854	12	44.245	.005143	-.283
13	49.796	.002750	.180	14	51.741	.000000	.000
15	.691	-.002155	-.098	16	-1.329	-.000486	-.074
17	-1.441	.000091	-.049	18	-1.190	.000112	-.025
19	-1.082	.000000	.000				

ESFORCOS { kN , m }

ACCAO 1 : peso das terras

Barra	Vs(e)	Vs(d)	Ns(e)	Ns(d)	Ms(e)	Ms(d)
1	-271.36	-657.75	-3857.52	-3857.52	618.67	84.44
2	-657.75	-1044.15	-3857.54	-3857.54	84.44	-894.15
3	-1044.15	-1430.55	-3857.54	-3857.54	-894.15	-2317.10
4	-984.59	-1303.88	-3994.70	-4009.96	-2317.10	-3398.49
5	-366.48	-699.30	-4200.66	-4243.48	-3398.49	-3902.27
6	129.35	-246.61	-4298.79	-4363.79	-3902.26	-3960.64
7	1085.63	715.21	-4233.75	-4298.94	-3960.64	-3145.66
8	1470.28	1053.67	-4102.48	-4163.13	-3145.65	-1952.66
9	1693.31	1064.53	-3946.47	-4016.22	-1952.66	-63.32
10	1409.72	769.77	-3908.42	-3964.98	-63.32	1430.07
11	1111.14	462.52	-3883.17	-3924.89	1430.06	2508.46
12	803.60	149.01	-3869.47	-3894.96	2508.45	3161.33
13	487.53	-169.84	-3867.22	-3875.82	3161.33	3378.98
14	-1203.90	-335.10	271.35	271.35	-618.67	-2011.47
15	234.55	1103.35	271.35	271.35	-2011.47	-800.67
16	8.12	876.92	271.35	271.35	-800.67	.29
17	-311.09	557.71	271.35	271.35	.29	223.49
18	-422.84	445.96	271.35	271.35	223.49	244.41

PRODEP

TRABALHO Nº 2

Elaborado por :

Alberto Martins Gonçalves

ÍNDICE

1. Introdução 2

2. Estrutura do programa PORTIC 3

3. Breve descrição das alterações efectuadas 4

4. Nota final 7

5. Listagens do programa alterado 8

6. Exemplo de aplicação 34

1 - Introdução

Foi-nos fornecido um programa de cálculo automático de pórticos planos (PORTIC), no qual todos os coeficientes de rigidez da estrutura são armazenados numa matriz completa, com dimensão "N*N", em que "N" representa o número total de variáveis (deslocamentos) associadas à estrutura.

É sabido que, sendo a matriz de rigidez simétrica e de banda variável, não será necessário guardá-la integralmente, uma vez que existem elementos que se repetem e elementos nulos que não interessa armazenar.

Considerando estas caracteristicas da matriz de rigidez, outras soluções de armazenamento poderão ser adoptadas, com o objectivo de economizar memória, tornando o programa acessível a máquinas de menor capacidade.

Apresentam-se de seguida algumas das possíveis soluções:

- Armazenamento em vector dos elementos do triângulo superior da matriz.

- Armazenamento dos elementos numa matriz de dimensão "N*M", em que "N" é o número total de variáveis e "M" a largura da semibanda.

- Armazenamento dos elementos estritamente necessários, em vector, tendo em atenção o facto da banda ser variável e a actividade de cada equação na resolução do sistema de equações pelo método de Gauss (triângulo activo).

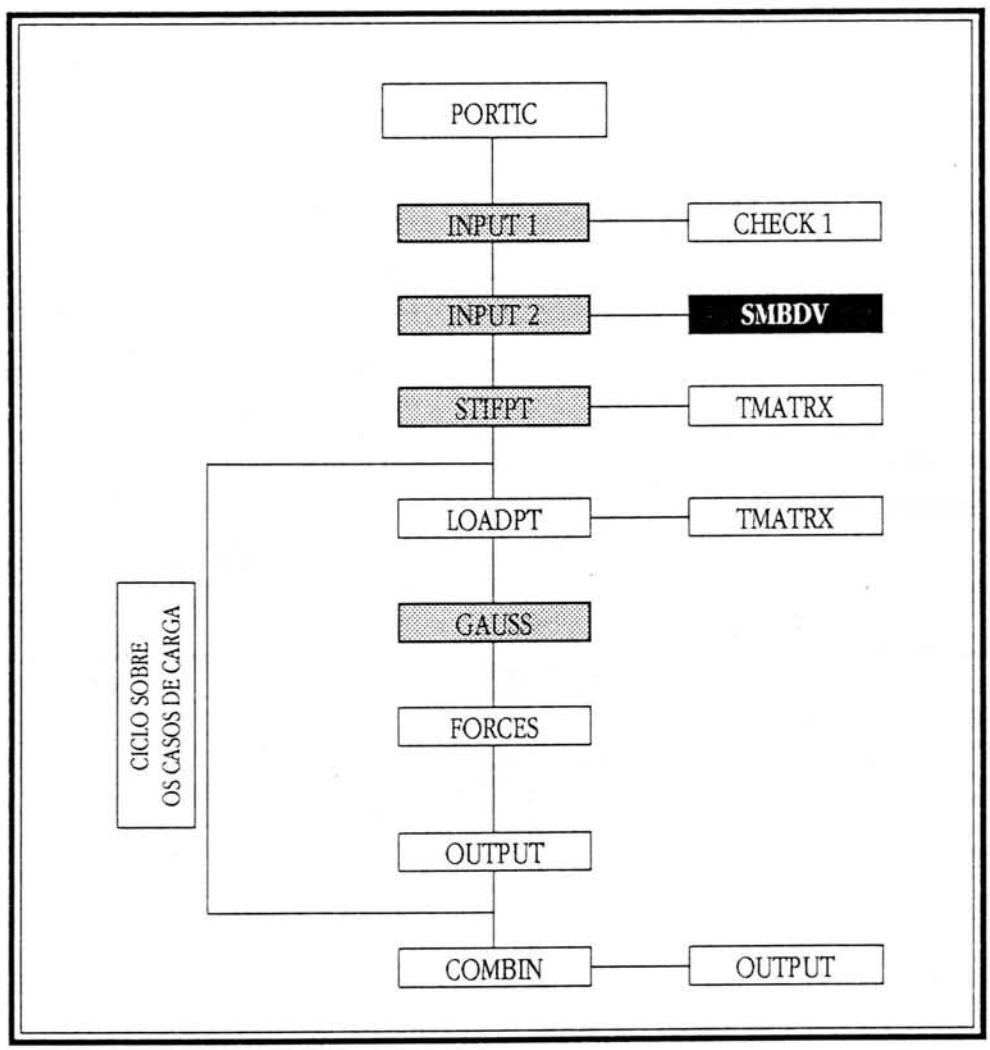
Esta última solução foi a adoptada, uma vez que é a que conduz ao armazenamento do menor número de elementos, como se confirma na subrotina SMBDV.

Note-se que, para este tipo de armazenamento, a primeira medida de economia de memória consiste numa correcta numeração dos nós da estrutura. Pretende-se minimizar a maior diferença entre as numerações das extremidades dos elementos, o que se traduz na redução da largura da banda.

2 - Estrutura do Programa PORTIC

O Programa PORTIC passa a ser constituído por doze módulos, dos quais só a subrotina auxiliar SMBDV não fazia parte da anterior versão. Actualmente, é constituído por um programa principal, oito subrotinas auxiliares e quatro subrotinas secundárias.

No fluxograma seguinte, destaca-se a nova subrotina SMBDV e assinalam-se também as subrotinas em que houve necessidade de proceder a alterações.



Subrotina existente não alterada

Subrotina alterada

Subrotina criada

3 - Breve descrição das alterações efectuadas

3.1 - Subrotina SMBDV

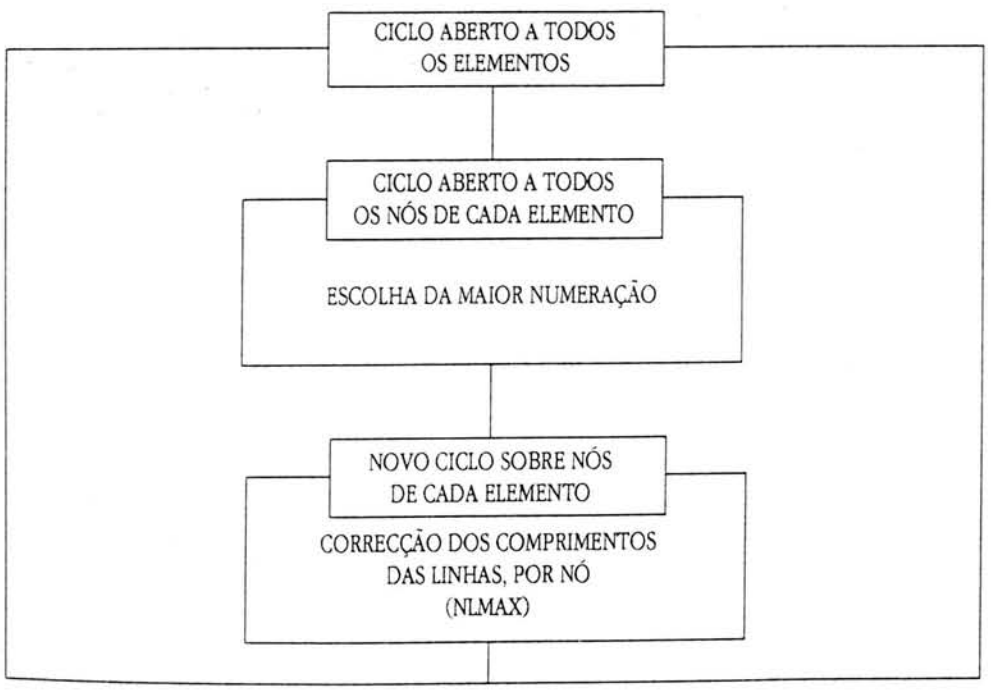
Esta subrotina é chamada na INPUT2, após leitura da numeração dos nós por elemento, cujo armazenamento é feito na matriz LNODS.

Objectivos:

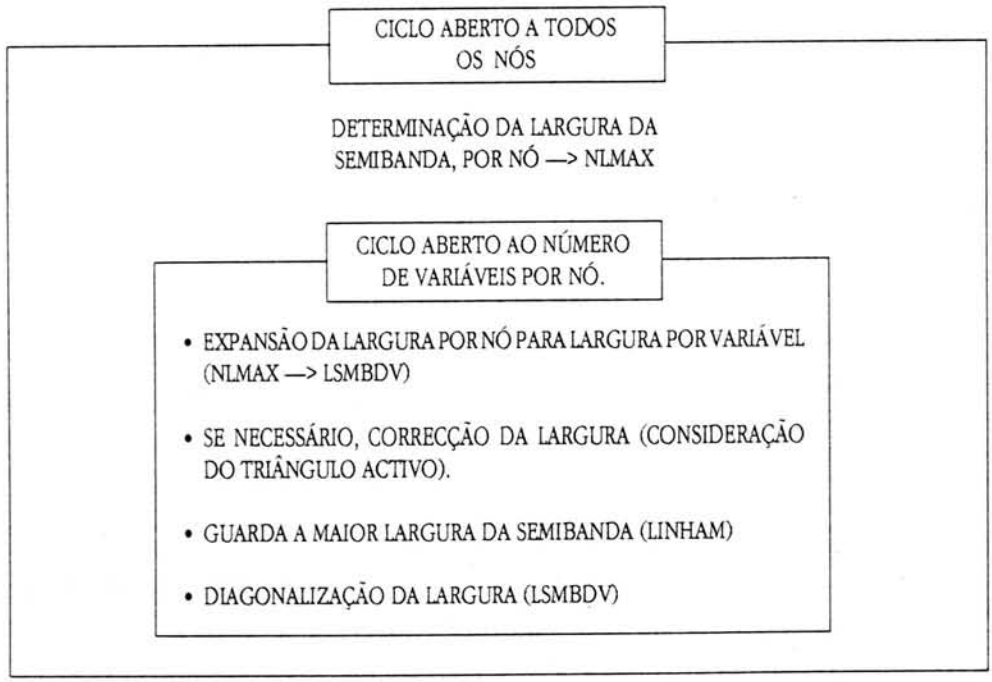
- Determinar a dimensão, NTCR, do vector de rigidez, GSTIF, e verificar se NTCR não ultrapassa a dimensão máxima que lhe foi atribuída no programa principal.
- Determinar o vector de controlo LSMBDV, associado a GSTIF.
- Cálculo da economia de memória conseguida, comparativamente com outras formas de armazenamento.

Explicamos de seguida o procedimento adoptado, passo por passo.

- **Determinação do vector NLMAX que contém, para cada nó, o maior número de entre as numerações atribuídas às outras extremidades dos elementos que nele confluem.**



- **Determinação da largura não corrigida da semibanda, por nó, armazenada no vector "NLMAX", expansão para o vector «LSMBDV» (=NLMAX*NDOFN). Correcção e transformação das larguras das linhas para valores diagonais.**



- **Cálculo do número total de coeficientes rígidos (NTCR)**
- **Cálculo percentual das economias de memória verificadas relativamente aos outros processos de armazenamento.**

3.2 - Subrotina STIFPT

Foi criada a função auxiliar KADRESS, por referência a LSMBDV, que estabelece a correspondência entre o posicionamento matricial e o posicionamento vectorial.

No processo de espalhamento no vector GSTIF, manteve-se no essencial a metodologia

que era usada no espalhamento na matriz global. Se os índices (I,J) localizarem o elemento no triângulo superior da pseudo-matriz de rigidez, ele é endereçado pela função KADRESS à respectiva posição no vector de rigidez GSTIF.

3.3 - Subrotina GAUSS

É usada a função KADRESS, cujo objectivo já atrás foi definido.

Na redução de Gauss, os ciclos sobre as linhas e colunas foram limitados à largura da semibanda interessada; atendeu-se também à simetria da matriz de rigidez. O mesmo se fez na retro-substituição.

Na definição da amplitude destes ciclos, recorre-se à largura da semibanda e esta, na linha I, é função de LSMBDV(I+1) e LSMBDV(I); isto implicaria problemas na última linha. Para os resolver houve necessidade de incrementar a dimensão de LSMBDV em uma unidade (NTOTV —> NTOTV1 definida na INPUT2) e impôr que LSMBDV(NTOTV1) = NTCR+1.

3.4 - Outras alterações

No programa principal e nas restantes subrotinas, apenas foram efectuadas alterações que dizem respeito ao dimensionamento e declaração de variáveis.

4 - Nota final

Na listagem do programa que se segue, estão evidenciadas todas as alterações efectuadas.

A fim de testar o programa fizemos um ficheiro de dados de um pórtico com 5 pisos.

O respectivo ficheiro de resultados, em que se evidencia também a economia de memoria conseguida, é comparado com o ficheiro de resultados decorrente do programa original.

```
C***   INTERFACES PARA ACEDER AOS COMANDOS "DATE" E "TIME" DO MS-DOS ***
C
                interface to subroutine time (n,str)
                character*10 str [near,reference]
                integer*2 n [value]
                end
C
                interface to subroutine date (n,str)
                character*10 str [near,reference]
                integer*2 n [value]
                end
C
      PROGRAM PORTIC
C*************************************************************************
C
C**** PROGRAMA PARA A ANALISE DE PORTICOS PLANOS
C
C**** 1990.10.14 * JCM ***************************************************
C**** 1992.NOVEMBRO * ALTERACOES FEITAS POR: **  JOSE RIBAS           ****
C                                            **  ALBERTO GONCALVES    ****
C                                            **  JOSE LUIS            ****
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER*12 FILEI, FILEO
      character*10 stime, sdate
C
C***   DEFINICAO DE VARIAVEIS ASSOCIADAS COM O DIMENSIONAMENTO DINAMICO
C
      PARAMETER (MPOIN =  30,          MELEM =  40,
     .           MMATS =  10,          MCASE =  10,
     .           NNODE =   2,          NDOFN =   3,
     .           NDIME =   2,          NPROP =   6,
     .           NEVAB = NNODE*NDOFN, MTOTV = MPOIN*NDOFN,
     .                                 MTCR  = 15*MTOTV*MTOTV/100)
C
      DIMENSION MATNO(MELEM), TLENG(MELEM), LNODS(NNODE,MELEM),
     .          ANGLE(MELEM),               ELOAD(NEVAB,MELEM),
     .                                      GLOAD(NEVAB,MELEM)
C
      DIMENSION GCORD(NDIME,MPOIN)
C
      DIMENSION IFFIX(MTOTV), GLOAD(MTOTV), GSTIF(MTCR),
     .          DDISP(MTOTV), REACT(MTOTV), FIXED(MTOTV),
     .          VDISP(MTOTV), CREAC(MTOTV)
C
      DIMENSION PROPS(MPROP,MMATS)
C
      DIMENSION GFACT(MCASE)
C
      !DIMENSION NLMAX(MPOIN), LEMBDV(MTOT*X)
C
C***   ABERTURA DE CANAIS DE LEITURA E ESCRITA
C
1000  WRITE (*,'(A\)') ' NOME DO FICHEIRO DE DADOS ? '
      READ  (*,'(A)') FILEI
      WRITE (*,'(A\)') ' NOME DO FICHEIRO DE RESULTADOS ? '
      READ  (*,'(A)') FILEO
C
      OPEN  (5, FILE= FILEI,                    STATUS='OLD', ERR=1000)
      OPEN  (6, FILE= FILEO,                    STATUS='NEW')
C
C***   ESCRITA DO CABECALHO DO FICHEIRO DE RESULTADOS
```

```
C
      call date ( 10, sdate)
      call time ( 10, stime)
C
      WRITE (6,9000) FILE1,sdate,FILE0,stime
9000  FORMAT(1X,78('*')./1X,15('*'),'  Resultados obtidos com o',
     .       ' PROGRAMA "FORTIC" [versao 5.11] ',4('*'),
     .       /1X,15('*'),'  Ficheiro de dados :       ',A12,
     .        T58,4('*'),3X,A10,1X,4('*'),
     .       /1X,15('*'),'  Ficheiro de resultados : ',A12,
     .        T58,4('*'),3X,A10,1X,4('*'))
C
C***  INTRODUCAO DA GEOMETRIA DA ESTRUTURA E CARACTERISTICAS DAS BARRAS
C
      WRITE (*,*) ' *** Leitura dos parametros de controlo'
      CALL INPUT1 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NCASE, NCOMB,
     .             NPROP, NNODE, NDOFN, NDIME, NEVAB, NTOTV,
     .             MELEM, MPOIN, MMATS, MCASE, NTOTV1)
C
      WRITE (*,*) ' *** Leitura da topologia da malha'
      CALL INPUT2 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, COORD, TLENG,
     .             NNODE, NDOFN, LNODS, NTOTV, ANGLE, PROPS,
     .             NPROP, NDIME, IFFIX, MATNO, LSMBDV, NTCR,
     .             MTCR, NLMAX)
C
C***  CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA
C
      WRITE (*,*) ' *** Formacao da matriz de rigidez global'
      CALL STIFFT (MATNO, PROPS, TLENG, ANGLE, LNODS, GSTIF,
     .             NMATS, NPROP, NTOTV, NELEM, NNODE, NDOFN,
     .             NTCR, LSMBDV)
C
C***  INTRODUCAO DAS CARGAS
C
      DO 100 ICASE = 1,NCASE
      WRITE (*,*) ' *** Caso de carga nº ',ICASE
         WRITE (*,*) '    * Formacao do vector de solicitacao global'
         CALL LOADFT (NTOTV, GLOAD, FIXED, NELEM, NEVAB, ICASE,
     .                NDOFN, LNODS, TLENG, MATNO, NPROP, PROPS,
     .                NMATS, IFFIX, ANGLE, ELOAD, NNODE, REACT)
C
C***  RESOLUCAO DO SISTEMA DE EQUACOES
C
         WRITE (*,*) '    * Resolucao do sistema de equacoes'
C
         CALL  GAUSS (GSTIF, GLOAD, NTOTV, DDISP, REACT, IFFIX,
     .                FIXED, ICASE, NTCR, LSMBDV, NTOTV1)
C
C***  CALCULO DOS ESFORCOS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS
C
         WRITE (*,*) '    * Calculo dos esforcos nos extremos das barras'
         CALL FORCES (NELEM, NNODE, NEVAB, NDOFN, DDISP, LNODS,
     .                ELOAD, NTOTV, ICASE, NCOMB, REACT)
C
C***  ESCRITA DOS RESULTADOS FINAIS
C
         WRITE (*,*) '    * Escrita de resultados do caso de carga'
         CALL OUTPUT (NELEM, NPOIN, NDOFN, DDISP, NTOTV, NNODE,
     .                IFFIX, REACT, LNODS, NEVAB, ELOAD)
C
100   CONTINUE
      CLOSE (1)
C
```

```
C***  COMBINACAO DE ACCOES
C
      IF (NCOMB.NE.0) THEN
         WRITE (*,*)  *** Calculo das combinacoes'
         CALL COMBIN (NCOMB, NCASE, CFACT, NTOTV, CDISP, CREAC,
     .                CLOAD, NELEM, NEVAB, DDISP, REACT, ELOAD,
     .                NPOIN, NDOFN, IFFIX, LNODS, NNODE)
      ENDIF
C
C***  FECHO DE CANAIS DE LEITURA E ESCRITA
C
      CLOSE (5)
      CLOSE (6)
C     ..
      STOP ' *** STOP - fim de execucao.'
      END
```

```
      SUBROUTINE INPUT1 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NCASE, NCOMB,
     .                   NPROP, NNODE, NDOFN, NDIME, NEVAB, NTOTV,
     .                   NELEM, NPOIN, NMATS, NCASE, NTOTV1)
C*********************************************************************
C
C***  LE OS PARAMETROS DE CONTROLE, VERIFICA AS DIMENSOES DO PROBLEMA
C
C**** 1989.10.14 * DEM ***********************************************
C**** 1992.NOVEMBRO * ALTERACOES FEITAS POR: **  JOSE RIBAS          ****
C                                            **  ALBERTO GONCALVES   ****
C                                            **  JOSE LUIS           ****
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER TITLE(3)*78
C
C***  TITULO DO PROBLEMA
C
      WRITE (6,'(1X,78(''*'')/)')
      READ  (5,'(A)') (TITLE(I),I=1,3)
      WRITE (6,'(1X,A)') (TITLE(I),I=1,3)
      WRITE (6,'(1X,78(''*''))')
C
C***  PARAMETROS DE CONTROLE
C
      READ  (5,*) NPOIN,NELEM,NVFIX,NMATS,NCASE,NCOMB
C
      NTOTV = NPOIN*NDOFN
C
C *** DIMENSAO DE LSMBDV NA SUBROTINA GAUSS
C
      NTOTV1 = NTOTV + 1
C
      WRITE (6,901) NPOIN,NELEM,NVFIX,NMATS,NPROP,NNODE,NDOFN,NDIME,
     .              NEVAB,NTOTV,NCASE,NCOMB
901   FORMAT(/,' *** PARAMETROS DE CONTROLE',
     .        /'      Nº. total de nós                  (NPOIN) =',I5,
     .        /'      Nº. total de barras               (NELEM) =',I5,
     .        /'      Nº. de nós ligados ao exterior    (NVFIX) =',I5,
     .        /'      Nº. de materiais                  (NMATS) =',I5,
     .        /'      Nº. de propriedades/material      (NPROP) =',I5,
     .        /'      Nº. de nós/barra                  (NNODE) =',I5,
     .        /'      Nº. de graus de liberdade/nó      (NDOFN) =',I5,
     .        /'      Nº. de coordenadas/nó             (NDIME) =',I5,
     .        /'      Nº. de variáveis/barra            (NEVAB) =',I5,
     .        /'      Nº. total de variáveis            (NTOTV) =',I5,
     .        /'      Nº. de casos de cargas            (NCASE) =',I5,
     .        /'      Nº. de combinações                (NCOMB) =',I5)
C
C***  VERIFICAÇÃO DOS DADOS
C
      CALL  PRCKI (NPOIN, NELEM, NNODE, NVFIX, NMATS, NELEM,
     .             NPOIN, NMATS, NCASE, NCASE)
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE CHECK1 (NPOIN, NELEM, NNODE, NVFIX, NMATS, MELEM,
     .                   MPOIN, MMATS, NCASE, MCASE)
C*****************************************************************************
C
C***  VERIFICA OS PARAMETROS DE CONTROLE
C
C**** 1990.10.14 * JCM ***************************************************
$debug
$large
      WRITE (6,800)
800   FORMAT(// *** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" : )
C
      NERRO = 0
      IF (NPOIN.LE.0)                          NERRO = 1
      IF (NELEM.LE.0)                          NERRO = 1
      IF (NELEM*NNODE.LT.NPOIN)                NERRO = 1
      IF (NVFIX.LT.1.OR.NVFIX.GT.NPOIN)        NERRO = 1
      IF (NMATS.LT.1.OR.NMATS.GT.NELEM)        NERRO = 1
      IF (NCASE.LE.0)                          NERRO = 1
      IF (NCOMB.LT.0)                          NERRO = 1
C
      IF (NERRO.EQ.1) WRITE (6,810)
810   FORMAT(' *** Ni erros nos parametros de controle ')
C
      JERRO = 0
      IF (NELEM.GT.MELEM) THEN
          WRITE (6,910) NELEM,MELEM
          JERRO = JERRO+1
      ENDIF
910   FORMAT(' *** NELEM (= ',I3,')  >  MELEM (= ',I3,')')
C
      IF (NPOIN.GT.MPOIN) THEN
          WRITE (6,920) NPOIN,MPOIN
          JERRO = JERRO+1
      ENDIF
920   FORMAT(' *** NPOIN (= ',I3,')  >  MPOIN (= ',I3,')')
C
      IF (NMATS.GT.MMATS) THEN
          WRITE (6,930) NMATS,MMATS
          JERRO = JERRO+1
      ENDIF
930   FORMAT(' *** NMATS (= ',I3,')  >  MMATS (= ',I3,')')
C
      IF (NCASE.GT.MCASE) THEN
          WRITE (6,940) NCASE,MCASE
          JERRO = JERRO+1
      ENDIF
940   FORMAT(' *** NCASE (= ',I3,')  >  MCASE (= ',I3,')')
C
      IF (JERRO.NE.0) WRITE (6,950) JERRO
950   FORMAT(' *** Foram excedidas ',I3,' dimensões maximas ')
C
      IF (NERRO.EQ.0.AND.JERRO.EQ.0) THEN
          WRITE (6,960)
      ELSE
          STOP ' *** STOP na subrotina CHECK1'
      ENDIF
960   FORMAT(' *** Não foram detectados erros nos parâmetros de',
     .                 controle')
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE INPUTC (NPOIN, NELEM, NMATS, NMFIX, COORD, TLENG,
     .                   NNODE, NDOFN, LNODS, NTOTV, ANGLE, PROPS,
     .                   NPROP, NDIME, IFFIX, MATNO, LSMBDV, NTCR,
     .                   MTCR, NLMAX)
C*****************************************************************
C
C***  LE A TOPOLOGIA DA MALHA E AS CARACTERISTICAS DAS SECCOES-TIPO
C
C**** 1989.10.14 * JCM ***************************************** ******
C**** 1992.NOVEMBRO * ALTERACOES FEITAS POR: **  JOSE RIBAS          ****
C                                            **  ALBERTO GONCALVES   ****
C                                            **  JOSE LUIS           ****
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION MATNO(NELEM), LNODS(NNODE,NELEM),
     .          IFFIX(NTOTV), COORD(NDIME,NPOIN),
     .          TLENG(NELEM), PROPS(NPROP,NMATS),
     .          ANGLE(NELEM), ICODE(3),
     .          LSMBDV(NTOTV), NLMAX(NPOIN)
C
C***  LEITURA DAS LIGACOES NODAIS DAS BARRAS E DO NUMERO DO MATERIAL
C
      WRITE (6,902)
902   FORMAT(//' ***** CARACTERISTICAS DAS BARRAS',
     .       //' Barra   Material   Ext.1 Ext.2',
     .         ' Barra   Material   Ext.1 Ext.2',/1X,30('-'),8X,30('-'))
C
      DO 100 IELEM = 1,NELEM
         READ  (5,*) J,MATNO(J),(LNODS(I,J),I=1,NNODE)
100   CONTINUE
      NROWS = (NELEM+1)/2
      DO 110 IROWS = 1,NROWS
         I1 = IROWS
         I2 = MIN(I1+NROWS,NELEM)
         WRITE (6,903)(J,MATNO(J),(LNODS(I,J),I=1,NNODE),J=I1,I2,NROWS)
110   CONTINUE
903   FORMAT(2(I5,I9,5X,2I5,7X))
C
C *** DETERMINACAO DA DIMENSAO DO VECTOR DE ARMAZENAMENTO DOS COEFICIENTES
C     DE RIGIDEZ E DO VECTOR DE CONTROLE ASSOCIADO
C
      WRITE(*,*) ' *** Dimensao do vector de rigidez -- Vector de cont',
     .           'role associado'
      CALL SMBDV (NPOIN, NELEM, NNODE, NDOFN, LNODS, NTOTV,
     .            MTCR, LSMBDV, NTCR, NLMAX)
C
C***  LEITURA DAS COORDENADAS DOS NOS
C
      WRITE (6,904)
904   FORMAT(//'  **  COORDENADAS NODAIS',
     .       //3X,'No',2X,'X(m)',8X,'Y(m)',17X,'No',9X,'X(m)',8X,'Y(m)',
     .         /1X,29('-'),13X,29('-'))
C
      DO 200 IPOIN = 1,NPOIN
         READ  (5,*) J,(COORD(I,J),I=1,NDIME)
200   CONTINUE
C
      NROWS = (NPOIN+1)/2
      DO 210 IROWS = 1,NROWS
         ICOL1 = IROWS
         ICOL2 = MIN0(ICOL1+NROWS,NPOIN)
         WRITE (6,906)(J,(COORD(I,J),I=1,NDIME),J=ICOL1,ICOL2,NROWS)
```

```
210   CONTINUE
906   FORMAT(I5,2X,F10.2,2X,F10.2,15X,I5,2X,F10.2,2X,F10.2)
C
C***  LEITURA DAS LIGACOES AO EXTERIOR
C
      WRITE (6,907)
907   FORMAT(//'  *** LIGAÇOES AO EXTERIOR',
     .       //'   Nó       Cód.',/1X,14('_'))
C
      DO 300 ITOTV = 1,NTOTV
         IFFIX(ITOTV) = 0
300   CONTINUE
C
      DO 320 IVFIX = 1,NVFIX
         READ  (5, * ) IPOIN,JCODE
         ICODE(1) = JCODE/100
         JCODE    = JCODE-ICODE(1)*100
         ICODE(2) = JCODE/10
         ICODE(3) = JCODE-ICODE(2)*10
         WRITE (6,909) IPOIN,(ICODE(I),I=1,3)
909   FORMAT(I5,6X,3I1)
C
         ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
         DO 315 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            IFFIX(ITOTV) = ICODE(IDOFN)
315      CONTINUE
320   CONTINUE
C
C***  LEITURA DAS PROPRIEDADES DAS SECCOES-TIPO
C
      WRITE (6,910)
910   FORMAT(//' **** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS',
     .       //' Mat     E      B      H            Ix          A          α   ',
     .        /'        GPa     cm     cm           cm4        cm2        /°C   ',
     .        /1x,51('_'))
      DO 450 IMATS = 1,NMATS
         READ  (5,*) NUMAT
         READ  (5,*)(PROPS(I,NUMAT),I=1,NPROP)
C
         YOUNG = PROPS( 1,NUMAT)
         BLENG = PROPS( 2,NUMAT)
         HLENG = PROPS( 3,NUMAT)
         XINER = PROPS( 4,NUMAT)
         SAREA = PROPS( 5,NUMAT)
         ALFAT = PROPS( 6,NUMAT)
C
         IF  XINER.EQ.0.0) THEN
             XINER = BLENG*HLENG*HLENG*HLENG/12.
             PROPS(4,NUMAT) = XINER
         ENDIF
C
         IF (SAREA.EQ.0.0) THEN
             SAREA = BLENG*HLENG
             PROPS(5,NUMAT)= SAREA
         ENDIF
C
         WRITE (6,940) NUMAT,YOUNG*1.E-6,BLENG*1.E2,HLENG*1.E2,
     .                 XINER*1.E8,SAREA*1.E4,ALFAT
940   FORMAT(I3,3F6.1,F13.1,F9.1,1PE9.2E1)
450   CONTINUE
C
```

```
C***  CALCULO DO COMPRIMENTO E INCLINACAO DAS BARRAS
C
      DO 220 IELEM = 1,NELEM
         NODE1 = LNODS(1,IELEM)
         NODE2 = LNODS(2,IELEM)
         XLENG = COORD(1,NODE2)-COORD(1,NODE1)
         YLENG = COORD(2,NODE2)-COORD(2,NODE1)
         ELENG = SQRT(XLENG*XLENG+YLENG*YLENG)
         ANGLE(IELEM) = ACOS(XLENG/ELENG)*DSIGN(1.D0,SIN(YLENG/ELENG))
         TLENG(IELEM) = ELENG
220   CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE SMBDV (NPOIN, NELEM, NNODE, NDOFN, LNODS, NTOTV,
     .                  MTCR, LSMBDV, NTCR, NLMAX)
C*****************************************************************************
C
C***  DETERMINACAO DAS LARGURAS CORRIGIDAS DA SEMIBANDA VARIAVEL
C
C*****************************************************************************
C**** 1992.NOVEMBRO ***************************  JOSE RIBAS          ****
C                                             **  ALBERTO GONCALVES   ****
C                                             **  JOSE LUIS           ****
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION LNODS(NNODE,NELEM), LSMBDV(NTOTV),
     .          NLMAX (NPOIN)
C
C     INICIALIZACAO DO VECTOR NLMAX
C
      DO 50 IPOIN = 1, NPOIN
         NLMAX(IPOIN) = 0
50    CONTINUE
C
C *** DETERMINACAO DO VECTOR NLMAX QUE CONTEM, PARA CADA NO, O MAIOR
C     NUMERO DE ENTRE AS NUMERACOES ATRIBUIDAS AS OUTRAS EXTREMIDADES
C     DOS ELEMENTOS QUE NELE CONFLUEM
C
      DO 200 IELEM = 1, NELEM
         LLL = 0
         DO 100 INODE = 1, NNODE
            IF (LNODS(INODE,IELEM).GT.LLL) THEN
               LLL = LNODS(INODE,IELEM)
            ENDIF
100      CONTINUE
         DO 150 INODE = 1, NNODE
            LLNG = LNODS(INODE,IELEM)
            IF (LLL.GT.NLMAX(LLNG)) THEN
               NLMAX(LLNG) = LLL
            ENDIF
150      CONTINUE
200   CONTINUE
C
C *** DETERMINACAO DA LARGURA NAO CORRIGIDA DA SEMIBANDA NO, ARMAZENADA
C     NO VECTOR NLMAX
C *** EXPANSAO PARA O VECTOR LSMBDV --* NLMAX * NDOFN *--, CORRECCAO
C     E TRANSFORMACAO PARA VALORES DIAGONAIS DAS RESPECTIVAS LARGURAS
C *** CALCULO DO NUMERO TOTAL DE COEFICIENTES RIGIDOS
C
      LNL = 0
      KCONT = 0
      LINHAM = 0
      KDIAG = 1
      DO 400 IPOIN = 1, NPOIN
         NLMAX(IPOIN) = NLMAX(IPOIN) - IPOIN + 1
      DO 400 IDOFN = 1, NDOFN
         KCONT = KCONT + 1
         LSMBDV(KCONT) = NLMAX(IPOIN) * NDOFN - IDOFN + 1
         IF (LSMBDV(KCONT).LT.LNL) THEN
            LSMBDV(KCONT) = LNL
         ENDIF
         LNL = LSMBDV(KCONT) - 1
         LINHA = LSMBDV(KCONT)
         IF (LINHA.GE.LINHAM) THEN
            LINHAM = LINHA
```

```
      ENDIF
      LSMBDV(KCONT) = KDIAG
      KDIAG = KDIAG + LINHA
400   CONTINUE
      NTCR = LSMBDV(NTOTV)
      IF (MTCR.LT.NTCR) THEN
         LTCR = NTCR - MTCR
         WRITE (6,500) LTCR
500      FORMAT('*** Foi excedido em ',I3,' a dimensao maxima do vector',
     .    ' de rigidez'//'Alterar capacidade em portic.for')
         STOP ' *** stop na subrotina smodv '
      ELSE
         KSEMAT = NTOTV * NTOTV
         KPOUP1 = 100 * (KSEMAT - NTCR) / KSEMAT
         KSETS = (KSEMAT - NTOTV) / 2 + NTOTV
         KPOUP2 = 100 * (KSETS - NTCR) / KSETS
         KSESC = LINHAM * NTOTV
         KPOUP3 = 100 * (KSESC - NTCR) / KSESC
         WRITE (6,600) KPOUP1,KPOUP2,KPOUP3
600      FORMAT(//' *** Economia de MEMORIA,armazenando apenas a Semi',
     .    'banda Variavel.',/'      relativamente a outras formas de ar',
     .    'mazenar :',//15X,'Matriz de rigidez completa',5X,I2,'%',/15X,
     .    'Triangulo superior',13X,I2,'%',/15X,'Semibanda constante',12X,
     .    I2,'%')
      ENDIF
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE STIFPT (MATNO, PROPS, TLENG, ANGLE, LNODS, GSTIF,
     .                   NMATS, NPROP, NTOTV, NELEM, NNODE, NDOFN,
     .                   NTCR, LSMBDV)
C*****************************************************************
C
C***  CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ "STIFK" DE CADA BARRA NO REFERENCIAL
C     GLOBAL E PROCEDE AO RESPECTIVO ESPALHAMENTO NO VECTOR DE RIGIDEZ
C     GLOBAL "GSTIF"
C
C**** 1992.11.04 * JCM ***************************************************
C**** 1992.NOVEMBRO * ALTERACOES FEITAS POR: **  JOSE RIBAS          ****
C                                           **  ALBERTO GONCALVES   ****
C                                           **  JOSE LUIS           ****
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
C
      DIMENSION MATNO(NELEM), TLENG(NELEM), PROPS(NPROP,NMATS),
     .          ANGLE(NELEM), STIFK( 6, 6), LNODS(NNODE,NELEM),
     .                                LSMBDV(NTOTV), GSTIF(NTCR)
C
      KADRESS(I,J) = LSMBDV(I) + J - I
C***  INICIALIZACAO
C
      DO 100 ITCR = 1,NTCR
         GSTIF(ITCR) = 0.0
100   CONTINUE
C
C***  ABERTURA DE UM FICHEIRO AUXILIAR
C
      OPEN  (1, FORM='UNFORMATTED', STATUS='NEW')
C
C***  CICLO SOBRE AS BARRAS
C
      DO 800 IELEM = 1,NELEM
C
C***  CARACTERISTICAS GEOMETRICAS E MATERIAIS DA BARRA
C
         LPROP = MATNO(IELEM)
         YOUNG = PROPS(1,LPROP)
         XINER = PROPS(4,LPROP)
         SAREA = PROPS(5,LPROP)
C
         ELENG = TLENG(IELEM)
         ALPHA = ANGLE(IELEM)
C
C***  VARIAVEIS AUXILIARES
C
         FACT1 = 4.0*YOUNG*XINER/ELENG
         FACT2 = 0.5*FACT1
         FACT3 = (FACT1+FACT2)/ELENG
         FACT4 = 2.0*FACT3/ELENG
         FACT5 = YOUNG*SAREA/ELENG
C
C***  COEFICIENTES DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA BARRA NO REFERENCIAL LOCAL
C
         STIFK(1,1) = +FACT1
         STIFK(1,2) = +FACT3
         STIFK(1,3) =   0.0
         STIFK(1,4) = +FACT2
         STIFK(1,5) = -FACT3
         STIFK(1,6) =   0.0
         STIFK(2,1) = +FACT3
```

```
      STIFK(2,2) = +FACT4
      STIFK(2,3) =   0.0
      STIFK(2,4) = +FACT3
      STIFK(2,5) = -FACT4
      STIFK(2,6) =   0.0
      STIFK(3,1) =   0.0
      STIFK(3,2) =   0.0
      STIFK(3,3) = +FACT5
      STIFK(3,4) =   0.0
      STIFK(3,5) =   0.0
      STIFK(3,6) = -FACT5
      STIFK(4,1) = +FACT2
      STIFK(4,2) = +FACT3
      STIFK(4,3) =   0.0
      STIFK(4,4) = +FACT1
      STIFK(4,5) = -FACT3
      STIFK(4,6) =   0.0
      STIFK(5,1) = -FACT3
      STIFK(5,2) = -FACT4
      STIFK(5,3) =   0.0
      STIFK(5,4) = -FACT3
      STIFK(5,5) = +FACT4
      STIFK(5,6) =   0.0
      STIFK(6,1) =   0.0
      STIFK(6,2) =   0.0
      STIFK(6,3) = -FACT5
      STIFK(6,4) =   0.0
      STIFK(6,5) =   0.0
      STIFK(6,6) = +FACT5
C                        +
C***  CALCULO DE [K][T]  E SUA ARMAZENAGEM (PARA USO POSTERIOR NO
C     CALCULO DOS ESFORCOS FINAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS)
C
      IF (ALPHA.NE.0.0) CALL TMATRX (ALPHA, STIFK,    6,     2)
      WRITE (1) STIFK
C                          +
C***  CALCULO DE [T][K][T]
C
      IF (ALPHA.NE.0.0) CALL TMATRX (ALPHA, STIFK,    6,     1)
C
C***  ESPALHAMENTO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA BARRA JA NO REFERENCIAL
C     GLOBAL
C
      IEVAB = 0
      DO 200 INODE = 1,NNODE
         IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
         ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
      DO 200 IDOFN = 1,NDOFN
         ITOTV = ITOTV+1
         IEVAB = IEVAB+1
         JEVAB = 0
      DO 200 JNODE = 1,NNODE
         JPOIN = LNODS(JNODE,IELEM)
         JTOTV = (JPOIN-1)*NDOFN
      DO 200 JDOFN = 1,NDOFN
         JTOTV = JTOTV+1
         JEVAB = JEVAB+1
         IF (JTOTV.GE.ITOTV) THEN
            IJTOTV = KADRESS(ITOTV,JTOTV)
            GSTIF(IJTOTV) = GSTIF(IJTOTV)+STIFK(IEVAB,JEVAB)
         ENDIF
200   CONTINUE
C
```

```
800   CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE TMATRX (ALPHA, ELMAT, NCOLS, NTASK)
C*************************************************************************
C
C***  REALIZA OS PRODUTOS MATRICIAIS : [M] = [T][M]     (se NTASK = 1)
C                                                  t
C                                     : [M] = [M][T]     (se NTASK = 2)
C     onde   [M] é  (6 x NCOLS)
C
C**** 1989.10.14 * JCM ***************************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION ELMAT(6,NCOLS)
C
      SINAL = SIN(ALPHA)
      COSAL = COS(ALPHA)
C
      IF (NTASK.EQ.1) THEN
          DO 100 ICOLS = 1,NCOLS
             ELEM2 = ELMAT(2,ICOLS)
             ELEM3 = ELMAT(3,ICOLS)
             ELMAT(2,ICOLS) = ELEM2*COSAL-ELEM3*SINAL
             ELMAT(3,ICOLS) = ELEM2*SINAL+ELEM3*COSAL
             ELEM5 = ELMAT(5,ICOLS)
             ELEM6 = ELMAT(6,ICOLS)
             ELMAT(5,ICOLS) = ELEM5*COSAL-ELEM6*SINAL
             ELMAT(6,ICOLS) = ELEM5*SINAL+ELEM6*COSAL
100       CONTINUE
      ELSE
          DO 200 IROWS = 1,6
             ELEM2 = ELMAT(IROWS,2)
             ELEM3 = ELMAT(IROWS,3)
             ELMAT(IROWS,2) = ELEM2*COSAL-ELEM3*SINAL
             ELMAT(IROWS,3) = ELEM2*SINAL+ELEM3*COSAL
             ELEM5 = ELMAT(IROWS,5)
             ELEM6 = ELMAT(IROWS,6)
             ELMAT(IROWS,5) = ELEM5*COSAL-ELEM6*SINAL
             ELMAT(IROWS,6) = ELEM5*SINAL+ELEM6*COSAL
200       CONTINUE
      ENDIF
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE LOADPT (NTOTV, GLOAD, FIXED, NELEM, NEVAB, ICASE,
     .                   NDOFN, LNODS, TLENG, MATNO, NPROP, PROPS,
     .                   NMATS, IFFIX, ANGLE, ELOAD, NNODE, REACT)
C*********************************************************************
C
C***  CALCULA O VECTOR DE SOLICITACAO
C
C**** 1990.10.14 * JCM ***********************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER TITLE*78
      DIMENSION ANGLE(NELEM), MATNO(NELEM), PROPS(NPROP,NMATS),
     .          FVECT(    3), GLOAD(NTOTV), ELOAD(NEVAB,NELEM),
     .          FVECT(    6), FIXED(NTOTV), LNODS(NNODE,NELEM),
     .          TLENG(NELEM), IFFIX(NTOTV),
     .          REACT(NTOTV)
C
C***  INICIALIZACAO
C
      DO 110 ITOTV = 1,NTOTV
         GLOAD(ITOTV) = 0.0
         REACT(ITOTV) = 0.0
         FIXED(ITOTV) = 0.0
110   CONTINUE
C
      DO 120 IELEM = 1,NELEM
      DO 120 IEVAB = 1,NEVAB
         ELOAD(IEVAB,IELEM) = 0.0
120   CONTINUE
C
C***  TITULO DO CASO DE CARGA
C
      READ  (5,'(A)') TITLE
      WRITE (6, 1010) ICASE,TITLE
1010  FORMAT(//1X,78('*'),/51X,2('*'),' Caso de carga nº.',I5,1X,2('*'),
     .       /51X,20('*'),/A76,//1X,78('*'))
C
C***  PARAMETROS DEFINIDORES DOS TIPOS DE CARGA
C
      READ  (5,  *  ) IPNOD,IPBAR,IDIST,ITERM,ISETL,IWRIT
      WRITE (6,1030) IPNOD,IPBAR,IDIS ,ITERM,ISETL,IWRIT
1030  FORMAT(//' *** PARAMETROS DE CONTROLE',
     .       //'     Carga concentrada nodal                 (IPNOD)=',I5,
     .       /'     Carga concentrada em barras             (IPBAR)=',I5,
     .       /'     Carga distribuida trapezoidal           (IDIST)=',I5,
     .       /'     Carga termica                           (ITERM)=',I5,
     .       /'     Assentamento de apoio                   (ISETL)=',I5,
     .       /'     Flag de escrita do vector de carga      (IWRIT)=',I5)
C
C***  CARGAS CONCENTRADAS APLICADAS NOS NOS
C
      IF (IPNOD.EQ.0) GO TO 200
      READ  (5,  *  ) NPNOD
      WRITE (6,1100) NPNOD
1100  FORMAT(//' *** CARGAS CONCENTRADAS NODAIS',
     .       /'     NE.de nós carregados = ',I4,
     .       //'     No',10X,'Mom(kN.m)',10X,'Fy(kN)',10X,'Fx(kN)',
     .       /2X,55('-'))
C
      DO 190 JPNOD = 1,NPNOD
         READ  (5,  *  ) IPOIN,(FVECT(IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
         WRITE (6,1130) IPOIN,(FVECT(IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
```

```
1130  FORMAT(2X,I5,3X,F15.2,1X,F15.2,1X,F15.2)
C
         ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
         DO 180 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV)+FVECT(IDOFN)
180      CONTINUE
190   CONTINUE
C
C***  CARGAS CONCENTRADAS APLICADAS NAS BARRAS
C
200   IF (IPBAR.EQ.0) GO TO 300
      READ  (5,  * ) NPBAR
      WRITE (6,1210) NPBAR
1210  FORMAT(//' *** CARGAS CONCENTRADAS NAS BARRAS',
     .        /'      Nº.de cargas concentradas =',I5,
     .       //'      Barra       s(m)',10X,'P1(kN.m)',10X,'P2(kN)',
     .                10X,'P3(kN)',/5X,65('_'))
C
      DO 230 JPBAR = 1,NPBAR
         READ  (5,  * ) JELEM,SCORD,(FVECT(I),I=1,NDOFN)
         WRITE (6,1230) JELEM,SCORD,(FVECT(I),I=1,NDOFN)
1230  FORMAT(5X,I5,F9.2,8X,F10.2,6X,F10.2,6X,F10.2)
C
         T   = TLENG(JELEM)
         A   = SCORD
         B   = T-A
         AL  = A/T
         BL  = B/T
         AL2 = AL*AL
         BL2 = BL*BL
         ABL = AL*BL
C
         FVECT(1) = FVECT(1)*(+2.*BL-3.*BL2) + FVECT(2)*(-A*BL2)
         FVECT(2) = FVECT(1)*(+6.*ABL/T)     + FVECT(2)*(-BL2-2.*AL*BL2)
         FVECT(3) = FVECT(3)*(-BL)
         FVECT(4) = FVECT(1)*(+2.*AL-3.*AL2) + FVECT(2)*(+B*AL2)
         FVECT(5) = FVECT(1)*(-6.*ABL/T)     + FVECT(2)*(-AL2-2.*BL*AL2)
         FVECT(6) = FVECT(3)*(-AL)
C
         DO 220 IEVAB = 1,NEVAB
            ELOAD(IEVAB,JELEM) = ELOAD(IEVAB,JELEM) + FVECT(IEVAB)
220      CONTINUE
230   CONTINUE
C
C***  CARGAS DISTRIBUIDAS TRAPEZOIDAIS
C
300   IF (IDIST.EQ.0) GO TO 400
      READ  (5,  * ) NDIST
      WRITE (6,1310) NDIST
1310  FORMAT(//' *** CARGA DISTRIBUIDA TRAPEZOIDAL',
     .        /'      Nº.de barras carregadas =',I4,
     .       //'      Barra       a(m)      c(m)',7X,'Pn1(kN)',4X,
     .                'Pn2(kN)',/5X,49('_'))
C
      DO 390 JDIST = 1,NDIST
         READ  (5,  * ) JELEM,A,C,PN1,PN2
         WRITE (6,1320) JELEM,A,C,PN1,PN2
1320  FORMAT(5X,I5,2F9.2,4X,F10.2,1X,F10.2)
C
         DO 310 IEVAB = 1,NEVAB
            PVECT(IEVAB) = 0.0
310      CONTINUE
```

```
C
          T  = TLENG(JELEM)
          B  = T-A-C
          IF (B.GT.0.0) THEN
C
               PN3 = (PN1+PN2)*0.5
               IF (PN3.NE.0.0) THEN
                    A3  = A*A*A
                    A4  = A*A3
                    AB  = A+B
                    AB3 = AB*AB*AB
                    AB4 = AB*AB3
                    BC  = B+C
                    BC3 = BC*BC*BC
                    BC4 = BC*BC3
                    C3  = C*C*C
                    C4  = C*C3
C
                    PVECT(1) = -PN3*(T*(BC3-C3)/3.-(BC4-C4)/4.)
                    PVECT(4) = +PN3*(T*(AB3-A3)/3.-(AB4-A4)/4.)
                    PVECT(2) = -PN3*B*(B*0.5+C)
                    PVECT(5) = -PN3*B
               ENDIF
C
               PN4 = PN1-PN3
               IF (PN4.NE.0.0) THEN
                    B2 = B*B
                    PB = PN4*B2/6.
C
                    PVECT(1) = PVECT(1)-PB*((C*(A-C)+A*(T-A))+B2*0.1)
                    PVECT(4) = PVECT(4)-PB*((A*(C-A)+C*(T-C))+B2*0.1)
                    PVECT(2) = PVECT(2)-PB
               ENDIF
C
               T2 = T*T
               PVECT(1) = PVECT(1)/T2
               PVECT(4) = PVECT(4)/T2
               PVECT(2) =(PVECT(2)+PVECT(1)+PVECT(4))/T
               PVECT(5) = PVECT(5)-PVECT(2)
C
          ENDIF
C
          DO 380 IEVAB = 1,NEVAB
             ELOAD(IEVAB,JELEM) = ELOAD(IEVAB,JELEM) + PVECT(IEVAB)
380       CONTINUE
390     CONTINUE
C
C***    VARIACOES DE TEMPERATURA
C
400     IF (ITERM.EQ.0) GO TO 500
        READ  (5,  * ) NTERM
        WRITE (6,1400) NTERM
1400    FORMAT(//' *** CARGA TERMICA',
       .       /'     Nº.de barras com acção térmica =',I4,
       .       //'     Barra      t sup (°C)      t inf (°C)',
       .        /5X,39('-'))
C
        DO 450 JTERM = 1,NTERM
           READ  (5,  * ) JELEM,DTSUP,DTINF
           WRITE (6,1410) JELEM,DTSUP,DTINF
1410    FORMAT(5X,I5,2X,F12.1,5X,F12.1)
C
          LPROP = MATNO(JELEM)
```

```
            YOUNG = PROPS(1,LPROP)
            HLENG = PROPS(3,LPROP)
            XINER = PROPS(4,LPROP)
            SAREA = PROPS(5,LPROP)
            ALFAT = PROPS(6,LPROP)
C
            DTSTI = DTSUP-DTINF
            DELTM =(DTSUP+DTINF)*0.5
C
            IF (DTSTI.NE.0.0) THEN
                FORCE = YOUNG*XINER*ALFAT*DTSTI/HLENG
                ELOAD(1,JELEM) = ELOAD(1,JELEM) + FORCE
                ELOAD(4,JELEM) = ELOAD(4,JELEM) - FORCE
            ENDIF
C
            IF (DELTM.NE.0.0) THEN
                FORCE = YOUNG*SAREA*ALFAT*DELTM
                ELOAD(3,JELEM) = ELOAD(3,JELEM) + FORCE
                ELOAD(6,JELEM) = ELOAD(6,JELEM) - FORCE
            ENDIF
450     CONTINUE
C
C***    ASSENTAMENTOS DE APOIOS
C
500     IF (ISETL.EQ.0) GO TO 700
        READ  (5,  * ) NSETL
        WRITE (6,1510) NSETL
1510    FORMAT(//' *** ASSENTAMENTOS DE APOIO',
     .          /'      NO.de nos com deslocamentos prescritos =',I4,
     .         //'      No',8X,'d1( º)',7X,'d2(cm)',7X,'d3(cm)',
     .          /5X,42('-'))
C
        GFACT = 57.295779513083
        DO 520 JSETL = 1,NSETL
           READ  (5,  * ) JPOIN,(FVECT(I),I=1,NDOFN)
           WRITE (6,1520) JPOIN,FVECT(1)*GFACT,FVECT(2)*100.,FVECT(3)*100.
1520    FORMAT(2X,I5,3F13.2)
C
           JTOTV = (JPOIN-1)*NDOFN
           DO 510 IDOFN = 1,NDOFN
              JTOTV = JTOTV+1
              SETTL = FVECT(IDOFN)
              IF (SETTL.NE.0.0) THEN
                 IF (IFFIX(JTOTV).NE.1) THEN
                    WRITE (6,1530)
1530    FORMAT(//' *** STOP na subrotina "LOADPT" - assentamento ',
     .           'prescrito em grau livre ')
                    STOP ' *** STOP na subrotina LOADPT'
                 ELSE
                    FIXED(JTOTV) = SETTL
                 END IF
              ENDIF
510        CONTINUE
520     CONTINUE
C
C***    ESPALHAMENTO DA CONTRIBUICAO "ELOAD" DE CADA BARRA NO VECTOR
C       DE SOLICITACAO GLOBAL "GLOAD"
C
700     DO 770 IELEM = 1,NELEM
           ALPHA = ANGLE(IELEM)
           DO 710 IEVAB = 1,NEVAB
              PVECT(IEVAB) = ELOAD(IEVAB,IELEM)
710        CONTINUE
```

```
C
      IF (ALPHA.NE.0.0)
     .  CALL TMATRX (ALPHA, PVECT,     1,     1)
C
      IEVAB = 0
      DO 730 INODE = 1,NNODE
         IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
         ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
         DO 720 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            IEVAB = IEVAB+1
            GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV) - PVECT(IEVAB)
720      CONTINUE
730   CONTINUE
770   CONTINUE
C
C***  ESCRITA DO VECTOR DE SOLICITACAO GLOBAL
C
      IF (IWRIT.EQ.1) THEN
       WRITE (6,1800)
1800  FORMAT(//' *** VECTOR DE SOLICITAÇAO')
       WRITE (6,1802) ((ITOTV,GLOAD(ITOTV),ITOTV=1,NTOTV)
1802  FORMAT(5(I4,E11.3))
      ENDIF
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE GAUSS (A, B, N, X, R, IFFIX, FIXED, ICASE, NTCR,
     .                  LSMBDV, N1)
C*****************************************************************************
C
C***  EFECTUA A REDUCAO E RETROSUBSTITUICAO DE GAUSS
C     * MATRIZ DE COEFICIENTES SIMETRICA
C     * ARMAZENAMENTO EM VECTOR (Semibanda Variavel)
C     * SEM ESCOLHA DE PIVOT
C     * VECTOR DAS INCOGNITAS COM COMPONENTES NAO LIVRES
C
C**** 1990.11.09 * JCM ***************************************************
C**** 1992.NOVEMBRO * ALTERACOES FEITAS POR: **  JOSE RIBAS          ****
C                                            **  ALBERTO GONCALVES   ****
C                                            **  JOSE LUIS           ****
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION A(NTCR), B(N), X(N), R(N), IFFIX(N), FIXED(N),
     .          LSMBDV(N1)
C
      KADRESS(I,J) = LSMBDV(I) + J - 1
      LSMBDV(N1) = NTCR + 1
C.......................................................................... REDUCAO
C***  CICLO SOBRE AS EQUACOES
C
      DO 300 L = 1,N
         KNN = LSMBDV(L+1) - LSMBDV(L)
C
C***  VARIAVEL LIVRE
C
         IF (IFFIX(L).NE.1) THEN
C
C***  VERIFICACAO DO PIVOT
C
            PIVOT = A(LSMBDV(L))
            IF (PIVOT.LT.1.E-10) THEN
               WRITE (6,900) PIVOT,L
900   FORMAT(//5X,' *** STOP na subrotina GAUSS : PIVOT = ',E12.3,
     .                na equação nº.',I3)
               STOP ' *** STOP na subrotina GAUSS'
            ENDIF
C
            DO 190 I = L+1,L+KNN-1
               LI = KADRESS(L,I)
               FACTR = A(LI)/PIVOT
               IF (FACTR.NE.0.0) THEN
                  IF (ICASE.EQ.1) THEN
                     DO 180 J = I,L+KNN-1
                        IJ = KADRESS(I,J)
                        LJ = KADRESS(L,J)
                        A(IJ)=A(IJ)-FACTR*A(LJ)
180                  CONTINUE
                  ENDIF
                  B(I) = B(I)-FACTR*B(L)
               ENDIF
190         CONTINUE
C
C***  VARIAVEL NAO LIVRE
C
         ELSE
            DIFIX = FIXED(L)
            IF (DIFIX.NE.0.0) THEN
               DO 310 I = L, L+KNN-1
```

```
                    LI = KADRESS(L,I)
                    B(I) = B(I)-A(LI)*DIFIX
310               CONTINUE
              ENDIF
          ENDIF
500   CONTINUE
C..................................................... RETROSUBSTITUICAO
C***  CICLO EM ORDEM INVERSA SOBRE AS EQUACOES REDUZIDAS
C
      DO 700 I = N, 1, -1
         KNN = LSMBDV(I+1) - LSMBDV(I)
         AUX = B(I)
         DO 600 J = I+1, I+KNN-1
            IJ = KADRESS(I,J)
            AUX = AUX-A(IJ)*X(J)
600      CONTINUE
C
         IF (IFFIX(I).NE.1) THEN
             X(I) = AUX/A(LSMBDV(I))
             R(I) = 0.0
         ELSE
             X(I) = FIXED(I)
             R(I) = -AUX
         ENDIF
700   CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE FORCES (NELEM, NNODE, NEVAB, NDOFN, DDISP, LNODS,
     .                   ELOAD, NTOTV, ICASE, NCOMB, REACT)
C*********************************************************************
C
C***  CALCULA OS ESFORCOS FINAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS
C
C**** 1989.10.14 * JCM ***********************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION DDISP(NTOTV), DVECT(     6), LNODS(NNODE,NELEM),
     .          REACT(NTOTV), STIFT( 6, 6), ELOAD(NEVAB,NELEM)
C
      REWIND 1
C
      DO 390 IELEM = 1,NELEM
         IEVAB = 0
         DO 310 INODE = 1,NNODE
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
         DO 310 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            IEVAB = IEVAB+1
            DVECT(IEVAB) = DDISP(ITOTV)
310      CONTINUE
C
         READ  (1) STIFT
C
         DO 320 IEVAB = 1,NEVAB
            FORCE = 0.0
            DO 315 JEVAB = 1,NEVAB
               FORCE = FORCE+STIFT(IEVAB,JEVAB)*DVECT(JEVAB)
315         CONTINUE
            ELOAD(IEVAB,IELEM) = ELOAD(IEVAB,IELEM)+FORCE
320      CONTINUE
390   CONTINUE
C
C***  ARMAZENAGEM DOS RESULTADOS DO CASO DE CARGA PARA COMBINACAO
C
      IF (NCOMB.NE.0) THEN
     -   IF (ICASE.EQ.1) OPEN (2, FORM='UNFORMATTED', STATUS='NEW')
         WRITE (2) DDISP,REACT,ELOAD
      ENDIF
C
C***  ESCRITA DE CABECALHO
C
      WRITE (6,900) ICASE
  900 FORMAT(//'    ***** RESULTADOS FINAIS  ',24('*'),' CASO DE CARGA ',
     .          'NO',I3,1X,6('*'))
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE OUTPUT (NELEM, NPOIN, NDOFN, DDISP, NTOTV, NNODE,
     .                   IFFIX, REACT, LNODS, NEVAB, ELOAD)
C*****************************************************************
C
C***  ESCREVE DESLOCAMENTOS, REACCOES E ESFORCOS NAS EXTREMIDADES DAS
C     BARRAS
C
C**** 1989.10.14 * JCM ***************************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION DDISP(NTOTV), IFFIX(NTOTV), LNODS(NNODE,NELEM),
     .          VECTR(    6), REACT(NTOTV), ELOAD(NEVAB,NELEM)
C
C***  DESLOCAMENTOS
C
      WRITE (6,900)
900   FORMAT(/3X,30('*'),' Deslocamentos ',30('*'),
     .       /'    Nó      rot(º)     dy(mm)     dx(mm)      ',
     .        '    No      rot(º)     dy(mm)     dx(mm)',
     .       /3X,33('-'),9X,33('-'))
C
      GFACT = 57.295779513082
      NROWS = (NPOIN+1)/2
      DO 110 IROWS = 1,NROWS
         I1 = IROWS
         I2 = MIN(I1+NROWS,NPOIN)
         WRITE (6,910)(J,DDISP(J*NDOFN-2)*GFACT,DDISP(J*NDOFN-1)*1000,
     .                 DDISP(J*NDOFN)*1000,J=I1,I2,NROWS)
110   CONTINUE
910   FORMAT(I5,3F10.2,7X,I5,3F10.2)
C
C***  REACCOES
C
      WRITE (6,920)
920   FORMAT(//'    ********** Reacções **********',
     .       /'    Nó     M(kN.m)     Ry(kN)     Rx(kN)',/3X,33('-'))
C
      DO 220 IPOIN = 1,NPOIN
         ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
         DO 200 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            IF (IFFIX(ITOTV).NE.0) GO TO 210
200      CONTINUE
         GO TO 220
210      K1 = ITOTV-IDOFN+1
         K2 = K1+NDOFN-1
         WRITE (6,925) IPOIN,(REACT(I),I=K1,K2)
220   CONTINUE
925   FORMAT(I5,3F10.2)
C
C***  ESFORCOS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS
C
      WRITE (6,930)
930   FORMAT('1',25('*'),' Esforços (convenção de R.M.) ',24('*'),
     .       /'Barra    Nó    Me(kN.m)     Ve(kN)     Ne(kN)',2X,
     .                 'Nó    Md(kN.m)     Vd(kN)     Nd(kN)',
     .       /9('-'),3X,3(3('-'),5X),3(3('-')))
C
      DO 300 IELEM = 1,NELEM
         VECTR(1) = -ELOAD(1,IELEM)
         VECTR(2) = -ELOAD(2,IELEM)
         VECTR(3) = -ELOAD(3,IELEM)
```

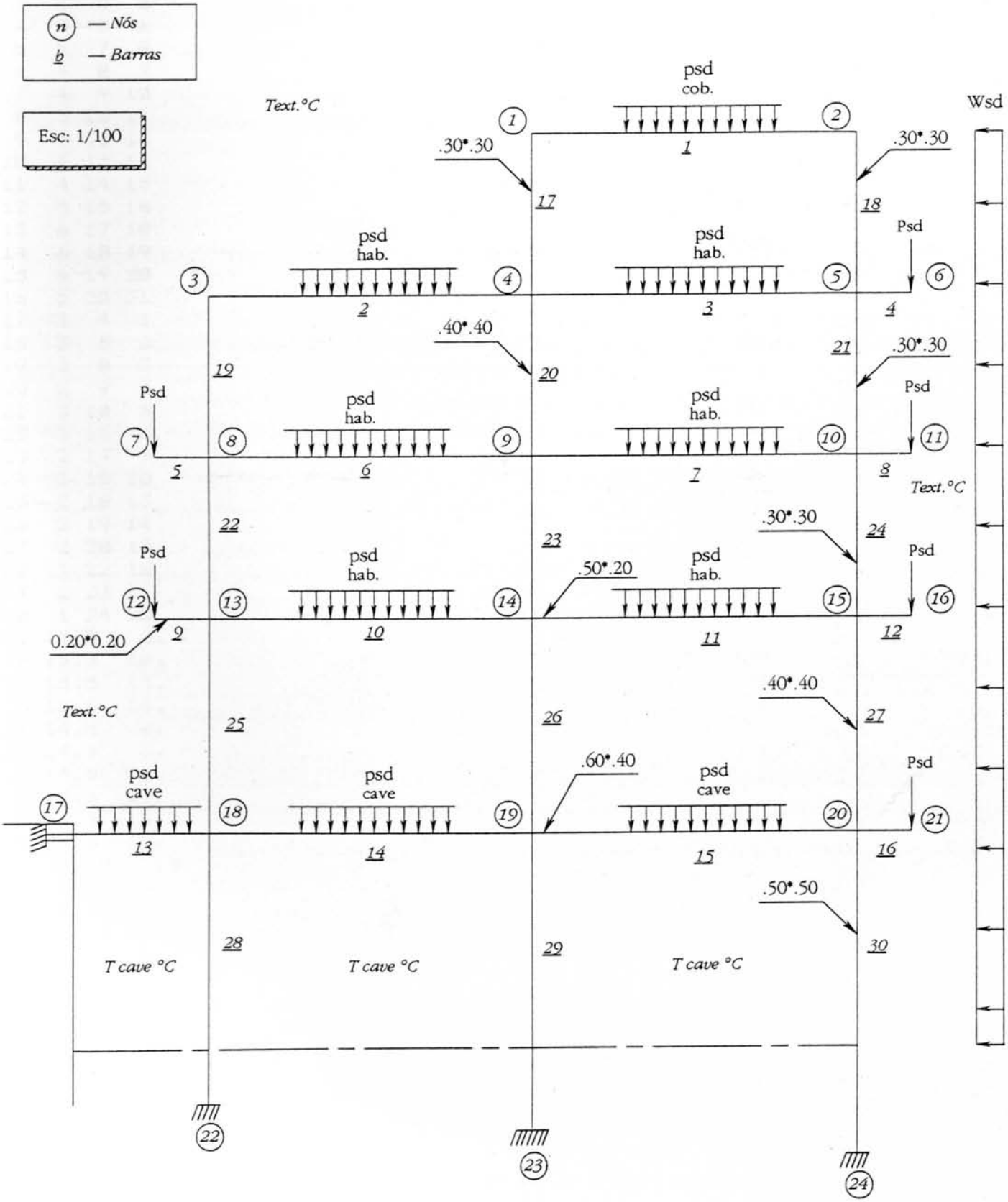
```
            VECTR(4) = -ELOAD(4,IELEM)
            VECTR(5) = +ELOAD(5,IELEM)
            VECTR(6) = +ELOAD(6,IELEM)
            WRITE (6,950) IELEM,LNODS(1,IELEM),(VECTR(I),I=1,3),
                                  LNODS(2,IELEM),(VECTR(I),I=4,6)
300     CONTINUE
950     FORMAT(2I5,3F10.2,3X,I5,3F10.2)
C
        RETURN
        END
```

```
      SUBROUTINE COMBIN (NCOMB, NCASE, CFACT, NTOTV, CDISP, CREAC,
     .                   CLOAD, NELEM, NEVAB, DDISP, REACT, ELOAD,
     .                   NPOIN, NDOFN, IFFIX, LNODS, NNODE)
     .
C*****************************************************************
C
C***  COMBINA  OS CASOS DE CARGA
C
C**** 1989.10.14 * JCM ***************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER TITLE*70
      DIMENSION CFACT(NCASE), VECTR(     5), ELOAD(NEVAB,NELEM),
     .          CDISP(NTOTV), CREAC(NTOTV), CLOAD(NEVAB,NELEM),
     .          DDISP(NTOTV), REACT(NTOTV), LNODS(NNODE,NELEM),
     .          IFFIX(NTOTV)
C
C***  CICLO SOBRE AS COMBINACOES
C
      DO 500 ICOMB = 1,NCOMB
         READ  (5,'(A)') TITLE
         WRITE (6, 1010) ICOMB,TITLE
 1010  FORMAT(//1X,70('*'),/44X,2('*'),' Combinacão de acções nº.',I5,
     .          1X, 2('*'),/44X,35('*'),/1X,A70,//1X,70('*'))
C
C***  LEITURA DOS PARAMETROS DE COMBINACAO
C
         READ  (5,  * )  (CFACT(I),I=1,NCASE)
         WRITE (6,1030)(I,CFACT(I),I=1,NCASE)
 1030  FORMAT(//'    *** Factores de carga',/7X,(5('  ',I2,')= ',F6.3,:4X)))
C
C***  INICIALIZACAO
C
         DO 100 ITOTV = 1,NTOTV
            CDISP(ITOTV) = 0.0
            CREAC(ITOTV) = 0.0
  100    CONTINUE
C
         DO 110 IELEM = 1,NELEM
         DO 110 IEVAB = 1,NEVAB
            CLOAD(IEVAB,IELEM) = 0.0
  110    CONTINUE
C
C***  CICLO SOBRE OS CASOS DE CARGA
C
         REWIND 2
C
         DO 225 ICASE = 1,NCASE
            READ  (2) CDISP,REACT,ELOAD
            FACTR = CFACT(ICASE)
            IF (FACTR.EQ.0.0) GO TO 225
C
            DO 210 ITOTV = 1,NTOTV
               CDISP(ITOTV) = CDISP(ITOTV)+FACTR*DDISP(ITOTV)
               CREAC(ITOTV) = CREAC(ITOTV)+FACTR*REACT(ITOTV)
  210       CONTINUE
C
            DO 220 IELEM = 1,NELEM
            DO 220 IEVAB = 1,NEVAB
               CLOAD(IEVAB,IELEM) =
               CLOAD(IEVAB,IELEM) + FACTR*ELOAD(IEVAB,IELEM)
  220       CONTINUE
  225    CONTINUE
```

```
C
C***  ESCRITA DE RESULTADOS
C
          CALL OUTPUT (NELEM, NPOIN, NDOFN, CDISP, NTOTV, NNODE,
                       IFFIX, CREAC, LNODS, NEVAB, CLOAD)
      .
500   CONTINUE
C
      CLOSE (2)
C
      RETURN
      END
```

Esquema de um Pórtico Plano de um edifício de habitação e comércio

Teste ao programa PORTIC



```
**********************************************************************
*      PORTICO DE UM EDIFICIO ( CAVE + R/C + 4 ANDARES )             *
**********************************************************************
 24   30   4   5   3   2
  1    4   1   2
  2    1   3   4
  3    4   4   5
  4    5   5   6
  5    5   7   8
  6    4   8   9
  7    4   9  10
  8    5  10  11
  9    5  12  13
 10    4  13  14
 11    4  14  15
 12    5  15  16
 13    6  17  18
 14    6  18  19
 15    6  19  20
 16    5  20  21
 17    3   4   1
 18    3   5   2
 19    3   8   5
 20    2   9   4
 21    3  10   5
 22    3  13   8
 23    2  14   9
 24    3  13  10
 25    2  18  13
 26    2  19  14
 27    2  20  15
 28    1  22  18
 29    2  23  19
 30    1  24  20
 21  15.5     5.
 26  15.5    10.
 11  15.5    15.
  5  15.5    20.
 24  14.5     0.
 29  14.5     5.
  3  14.5    10.
 28  14.5    15.
  9  14.5    20.
  2  14.5    25.
 23   8.75     .5
 17   8.75     5.
 14   8.75    10.
  7   8.75    15.
  1   8.75    20.
 22   3.       0.
 18   3.       5.
 13   3.      10.
  8   3.      15.
  3   3.      20.
 12   2.      10.
  7   2.      15.
 17   0.       5.
 17   111
 12   111
 23   111
 24   111
  1
```

```
2E7  .5  .5   0.  0.  1E-5
  2
2E7  .4  .4   0.  0.  1E-5
  3
2E7  .3  .3   0.  0.  1E-5
  4
2E7  .2  .5   0.  0.  1E-5
  5
2E7  .2  .2   0.  0.  1E-5
  6
2E7  .4  .6   0.  0.  1E-5
 ********************************     CARGAS COMUNS : INVERNO e VERAO     ***
  1   0   1   0   0   0
  6
  6   0.  10   0.
  7   0.  10   0.
 11   0.  10   0.
 12   0.  10   0.
 16   0.  10   0.
 21   0.  10   0.
 10
  1   0.  0.   5.   5.
  2   0.  0.  10.  10.
  3   0.  0.  10.  10.
  6   0.  0.  10.  10.
  7   0.  0.  10.  10.
 10   0.  0.  10.  10.
 11   0.  0.  10.  10.
 13   0.  0.  20.  20.
 14   0.  0.  25.  25.
 15   0.  0.  25.  25.
*************************************************     CARGAS DE VERAO     ******
  0   0   1   1   0   0
  5
 18   0.  0.  .2  .2
 21   0.  0.  .2  .2
 24   0.  0.  .2  .2
 27   0.  0.  .2  .2
 30   0.  0.  .2  .2
 30
  4  35  35
  5  35  35
  8  35  35
  9  35  35
 12  35  35
 14  35  35
 30  10  35
 27  20  35
 28  10  35
 31  10  35
 18  10  35
  1  35  10
 17  35  10
  2  35  10
 19  35  10
 22  35  10
 25  35  20
 13  35  10
 28  10  10
 29  10  10
 26  20  20
 23  10  10
 20  10  10
```

```
  3   18   18
  6   19   18
  7   18   18
 10   18   20
 11   19   20
 14   20   10
 15   20   10
**********************************************     CARGAS DE INVERNO     *******
  0   0   1   1   0   0
  5
 18 0.  0.  .5  .5
 21 0.  0.  .5  .5
 24 0.  0.  .5  .5
 27 0.  0.  .5  .5
 30 0.  0.  .5  .5
 30
  4   0   0
  5   0   0
  8   0   0
  9   0   0
 12   0   0
 16   0   0
 30  10   0
 27  15   0
 24  18   0
 21  18   0
 18  18   0
  1   0  18
 17   0  18
  2   0  18
 19   0  18
 22   0  18
 25   0  15
 13   0  10
 28  10  10
 29  10  10
 26  15  15
 23  18  18
 20  18  18
  3  18  18
  6  18  18
  7  18  18
 10  15  15
 11  18  15
 14  15  10
 15  15  10
**********************************************     COMBINACAO VERAO      ******
  1.  1.  0.
**********************************************     COMBINACAO INVERNO    ******
  1.  0.  1.
```

```
NOME DO FICHEIRO DE DADOS ?      NOME DO FICHEIRO DE RESULTADOS ?  *** Leitura d
os parametros de controle
 *** Leitura da topologia da malha
 *** Formacao da matriz de rigidez global
 *** Caso de carga nº              1
   * Formacao do vector de solicitacao global
   * Resolucao do sistema de equacoes
   * Calculo dos esforcos nos extremos das barras
   * Escrita de resultados do caso de carga
 **  Caso de carga nº              2
     Formacao do vector de solicitacao global
     Resolucao do sistema de equacoes
     Calculo dos esforcos nos extremos das barras
     Escrita de resultados do caso de carga
 **  Caso de carga nº              3
     Formacao do vector de solicitacao global
     Resolucao do sistema de equacoes
     Calculo dos esforcos nos extremos das barras
     Escrita de resultados do caso de carga
 **  Calculo das combinacoes
 **  STOP - fim de execucao.
```

```
NOM  DO FICHEIRO DE DADOS ?      NOME DO FICHEIRO DE RESULTADOS ?  *** Leitura d
os  arametros de controle
 **  Leitura da topologia da malha
 **  Dimensao do vector de rigidez -- Vector de controle associado
 *:  Formacao da matriz de rigidez global
 *?  Caso de carga nº              1
     Formacao do vector de solicitacao global
     Resolucao do sistema de equacoes
     Calculo dos esforcos nos extremos das barras
     Escrita de resultados do caso de carga
     Caso de carga nº              2
     Formacao do vector de solicitacao global
     Resolucao do sistema de equacoes
     Calculo dos esforcos nos extremos das barras
     Escrita de resultados do caso de carga
     Caso de carga nº              3
     Formacao do vector de solicitacao global
     Resolucao do sistema de equacoes
     Calculo dos esforcos nos extremos das barras
     Escrita de resultados do caso de carga
   * Calculo das combinacoes
   * STOP - fim de execucao.
```

```
**********************************************************************************
**************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "PORTIC" [versão 5.10] ****
**************  Ficheiro de dados :      portico.dat   ****   11-14-92   ****
**************  Ficheiro de resultados : portico.res   ****   02:14:50   ****
**********************************************************************************

*****************************************************************
*       PORTICO DE UM EDIFICIO ( CAVE + R\C + 4 ANDARES )       *
*****************************************************************
**********************************************************************************
```

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Nº. total de nós	(NPOIN)	=	24
Nº. total de barras	(NELEM)	=	30
Nº. de nós ligados ao exterior	(NVFIX)	=	4
Nº. de materiais	(NMATS)	=	6
Nº. de propriedades/material	(NPROP)	=	6
Nº. de nós/barra	(NNODE)	=	2
Nº. de graus de liberdade/nó	(NDOFN)	=	3
Nº. de coordenadas/nó	(NDIME)	=	2
Nº. de variáveis/barra	(NEVAB)	=	6
Nº. total de variáveis	(NTOTV)	=	72
Nº. de casos de carga	(NCASE)	=	3
Nº. de combinaçöes	(NCOMB)	=	2

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Näo foram detectados erros nos parâmetros de controle

***** CARACTERISTICAS DAS BARRAS

Barra	Material	Ext.1	Ext.2	Barra	Material	Ext.1	Ext.2
1	4	1	2	16	5	20	21
2	4	3	4	17	3	4	1
3	4	4	5	18	3	5	2
4	5	5	6	19	3	8	3
5	5	7	8	20	2	9	4
6	4	8	9	21	3	10	5
7	4	9	10	22	3	13	8
8	5	10	11	23	2	14	9
9	5	12	13	24	3	15	10
10	4	13	14	25	2	18	13
11	4	14	15	26	2	19	14
12	5	15	16	27	2	20	15
13	6	17	18	28	1	22	18
14	6	18	19	29	2	23	19
15	6	19	20	30	1	24	20

*** COORDENADAS NODAIS

Nó	X(m)	Y(m)	Nó	X(m)	Y(m)
1	8.75	19.00	13	3.00	10.00
2	14.50	19.00	14	8.75	10.00
3	3.00	16.00	15	14.50	10.00
4	8.75	16.00	16	15.50	10.00
5	14.50	16.00	17	.00	6.00
6	15.50	16.00	18	3.00	6.00
7	2.00	13.00	19	8.75	6.00

8	3.00	13.00	20	14.50	6.00
9	8.75	13.00	21	15.50	6.00
10	14.50	13.00	22	3.00	1.00
11	15.50	13.00	23	8.75	.50
12	2.00	10.00	24	14.50	.00

*** LIGAÇOES AO EXTERIOR

Nó	Cód.
17	111
22	111
23	111
24	111

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Mat	E GPa	B cm	H cm	Ix cm4	A cm2	α /°C
1	20.0	50.0	50.0	520833.3	2500.0	1.00E-5
2	20.0	40.0	40.0	213333.3	1600.0	1.00E-5
3	20.0	30.0	30.0	67500.0	900.0	1.00E-5
4	20.0	20.0	50.0	208333.3	1000.0	1.00E-5
5	20.0	20.0	20.0	13333.3	400.0	1.00E-5
6	20.0	40.0	60.0	720000.0	2400.0	1.00E-5

****

** Caso de carga nº. 1 **

****

CARGAS COMUNS : INVERNO e VERAO

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	1
Carga concentrada em barras	(IPBAR)=	0
Carga distribuida trapezoidal	(IDIST)=	1
Carga térmica	(ITERM)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGAS CONCENTRADAS NODAIS
Nº.de nós carregados = 6

Nó	Mom(kN.m)	Fy(kN)	Fx(kN)
6	.00	10.00	.00
7	.00	10.00	.00
11	.00	10.00	.00
12	.00	10.00	.00
16	.00	10.00	.00
21	.00	10.00	.00

*** CARGA DISTRIBUIDA TRAPEZOIDAL
Nº.de barras carregadas = 10

Barra	a(m)	c(m)	Pn1(kN)	Pn2(kN)
1	.00	.00	5.00	5.00
2	.00	.00	10.00	10.00
3	.00	.00	10.00	10.00
6	.00	.00	10.00	10.00
7	.00	.00	10.00	10.00
10	.00	.00	10.00	10.00
11	.00	.00	10.00	10.00
13	.00	.00	20.00	20.00
14	.00	.00	25.00	25.00
15	.00	.00	25.00	25.00

***** RESULTADOS FINAIS ********** CASO DE CARGA Nº 1 ******

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)	Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	.02	1.05	-.29	13	.01	.34	-.05
2	-.03	.67	-.31	14	.00	.83	-.06
3	.04	.48	.07	15	-.01	.41	-.07
4	.00	1.03	.05	16	.10	1.52	-.07
5	-.01	.64	.04	17	.00	.00	.00
6	.09	1.66	.04	18	.01	.21	.00
7	-.09	1.47	-.04	19	.00	.59	.00
8	.01	.44	-.04	20	-.02	.25	.00
9	.00	.96	-.03	21	.09	1.18	.00
10	-.01	.56	-.03	22	.00	.00	.00
11	.09	1.55	-.03	23	.00	.00	.00
12	-.10	1.42	-.05	24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nó	M(kN.m)	Ry(kN)	Rx(kN)
17	-16.94	-25.31	.62
22	7.80	-207.17	4.68
23	.38	-342.86	.21
24	-11.03	-205.92	-5.51

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN)
1	1	-8.29	14.50	-4.31	2	-7.57	-14.25	-4.31
2	3	-13.16	25.64	-7.41	4	-31.04	-31.86	-7.41
3	4	-30.24	30.08	-.57	5	-22.57	-27.42	-.57
4	5	-10.00	10.00	.00	6	.00	10.00	.00
5	7	.00	-10.00	.00	8	-10.00	-10.00	.00
6	8	-24.46	28.13	3.98	9	-28.02	-29.37	3.98
7	9	-27.13	29.35	1.10	10	-23.65	-28.15	1.10
8	10	-10.00	10.00	.00	11	.00	10.00	.00
9	12	.00	-10.00	.00	13	-10.00	-10.00	.00
10	13	-26.69	28.89	-2.59	14	-25.87	-28.61	-2.59
11	14	-26.66	28.76	-2.93	15	-26.62	-28.74	-2.93
12	15	-10.00	10.00	.00	16	.00	10.00	.00
13	17	-16.94	25.31	-.62	18	-31.01	-34.69	-.62
14	18	-58.88	69.81	.72	19	-70.76	-73.94	.72
15	19	-73.29	76.39	1.20	20	-47.36	-67.36	1.20
16	20	-10.00	10.00	.00	21	.00	10.00	.00
17	4	4.65	-4.31	-14.50	1	-8.29	-4.31	-14.50
18	5	-5.36	4.31	-14.25	2	7.57	4.31	-14.25

19	8	9.06	-7.41	-25.64	3	-13.16	-7.41	-25.64
20	9	-2.14	2.53	-76.44	4	5.44	2.53	-76.44
21	10	-7.43	4.88	-51.67	5	7.21	4.88	-51.67
22	13	4.89	-3.43	-63.77	8	-5.40	-3.43	-63.77
23	14	-.20	-.35	-135.17	9	-1.25	-.35	-135.17
24	15	-5.12	3.78	-89.81	10	6.22	3.78	-89.81
25	18	12.28	-6.02	-102.66	13	-11.80	-6.02	-102.66
26	19	1.76	-.69	-192.53	14	-.99	-.69	-192.53
27	20	-15.34	6.71	-128.55	15	11.50	6.71	-128.55
28	22	7.80	-4.68	-207.17	18	-15.59	-4.68	-207.17
29	23	.38	-.21	-342.86	19	-.77	-.21	-342.86
30	24	-11.03	5.51	-205.92	20	22.02	5.51	-205.92

****

** Caso de carga nº. 2 **

****

CARGAS DE VERAO

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga concentrada em barras	(IPBAR)=	0
Carga distribuida trapezoidal	(IDIST)=	1
Carga térmica	(ITERM)=	1
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA TRAPEZOIDAL

Nº.de barras carregadas = 5

Barra	a(m)	c(m)	Pn1(kN)	Pn2(kN)
18	.00	.00	.20	.20
21	.00	.00	.20	.20
24	.00	.00	.20	.20
27	.00	.00	.20	.20
30	.00	.00	.20	.20

*** CARGA TERMICA

Nº.de barras com acção térmica = 30

Barra	t sup (°C)	t inf (°C)
4	35.0	35.0
5	35.0	35.0
8	35.0	35.0
9	35.0	35.0
12	35.0	35.0
16	35.0	35.0
30	10.0	35.0
27	20.0	35.0
24	18.0	35.0
21	18.0	35.0
18	18.0	35.0
1	35.0	18.0
17	35.0	18.0
2	35.0	18.0
19	35.0	18.0

22	35.0	18.0
25	35.0	20.0
13	35.0	10.0
28	10.0	10.0
29	10.0	10.0
26	20.0	20.0
23	18.0	18.0
20	18.0	18.0
3	18.0	18.0
6	18.0	18.0
7	18.0	18.0
10	18.0	20.0
11	18.0	20.0
14	20.0	10.0
15	20.0	10.0

***** RESULTADOS FINAIS ********** CASO DE CARGA Nº 2 ******

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)	Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	-.03	-3.28	.72	13	.01	-1.56	.46
2	.00	-4.80	2.25	14	.00	-1.40	1.55
3	-.01	-3.14	-.07	15	-.01	-2.42	2.64
4	.00	-2.49	1.45	16	-.01	-2.59	2.99
5	-.01	-4.00	2.48	17	.00	.00	.00
6	-.01	-4.21	2.83	18	.00	-.47	.66
7	.00	-2.34	.08	19	.00	-.58	1.51
8	.00	-2.35	.43	20	.01	-1.33	2.36
9	.00	-1.94	1.47	21	.01	-1.24	2.71
10	-.01	-3.21	2.51	22	.00	.00	.00
11	-.01	-3.32	2.86	23	.00	.00	.00
12	.01	-1.67	.11	24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nó	M(kN.m)	Ry(kN)	Rx(kN)
17	101.58	26.59	21.42
22	-18.01	-31.48	-7.50
23	-13.42	19.24	-5.00
24	-90.61	-14.35	-12.72

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN)
1	1	10.65	-.29	.28	2	8.98	-.29	.28
2	3	5.68	2.53	-1.70	4	20.22	2.53	-1.70
3	4	9.24	-2.60	-2.04	5	-5.72	-2.60	-2.04
4	5	.00	.00	.00	6	.00	.00	.00
5	7	.00	.00	.00	8	.00	.00	.00
6	8	-4.05	1.49	.73	9	4.53	1.49	.73
7	9	6.75	-2.19	1.53	10	-5.84	-2.19	1.53
8	10	.00	.00	.00	11	.00	.00	.00
9	12	.00	.00	.00	13	.00	.00	.00
10	13	-.45	-.09	-1.73	14	-.96	-.09	-1.73
11	14	2.74	-1.19	-1.01	15	-4.08	-1.19	-1.01
12	15	.00	.00	.00	16	.00	.00	.00
13	17	101.58	-26.59	-21.42	18	21.81	-26.59	-21.42
14	18	21.39	.96	-11.23	19	26.91	.96	-11.23
15	19	43.96	-8.08	-7.68	20	-2.52	-8.08	-7.68

16	20	.00	.00	.00	21	.00	.00	.00
17	4	9.82	.28	.29	1	10.65	.28	.29
18	5	-9.05	.32	-.29	2	-8.98	-.28	-.29
19	8	10.76	-1.70	-2.53	3	5.68	-1.70	-2.53
20	9	-.96	-.07	5.42	4	-1.16	-.07	5.42
21	10	-11.32	2.97	-2.89	5	-3.33	2.37	-2.89
22	13	9.60	-.96	-4.02	8	6.71	-.96	-4.02
23	14	-.91	.73	9.10	9	1.27	.73	9.10
24	15	-10.68	2.03	-5.08	10	-5.48	1.43	-5.08
25	18	19.92	-2.69	-3.93	13	9.16	-2.69	-3.93
26	19	-2.99	1.44	10.20	14	2.79	1.44	10.20
27	20	-20.39	3.85	-6.27	15	-6.61	3.05	-6.27
28	22	-18.01	7.50	-31.48	18	19.49	7.50	-31.48
29	23	-13.42	5.00	19.24	19	14.06	5.00	19.24
30	24	-90.61	12.72	-14.35	20	-17.87	11.52	-14.35

****

** Caso de carga nº. 3 **

****

CARGAS DE INVERNO

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga concentrada em barras	(IPBAR)=	0
Carga distribuida trapezoidal	(IDIST)=	1
Carga térmica	(ITERM)=	1
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA TRAPEZOIDAL

Nº.de barras carregadas = 5

Barra	a(m)	c(m)	Pn1(kN)	Pn2(kN)
18	.00	.00	.50	.50
21	.00	.00	.50	.50
24	.00	.00	.50	.50
27	.00	.00	.50	.50
30	.00	.00	.50	.50

*** CARGA TERMICA

Nº.de barras com acção térmica = 30

Barra	t sup (°C)	t inf (°C)
4	.0	.0
5	.0	.0
8	.0	.0
9	.0	.0
12	.0	.0
16	.0	.0
30	10.0	.0
27	15.0	.0
24	18.0	.0
21	18.0	.0
18	18.0	.0

1	.0	18.0
17	.0	18.0
2	.0	18.0
19	.0	18.0
22	.0	18.0
25	.0	15.0
13	.0	10.0
28	10.0	10.0
29	10.0	10.0
26	15.0	15.0
23	18.0	18.0
20	18.0	18.0
3	18.0	18.0
6	18.0	18.0
7	18.0	18.0
10	18.0	15.0
11	18.0	15.0
14	15.0	10.0
15	15.0	10.0

***** RESULTADOS FINAIS ********** CASO DE CARGA Nº 3 ******

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)	Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	.03	-2.48	2.59	13	.00	-.80	.44
2	-.01	-1.41	3.11	14	.01	-1.14	1.40
3	.01	-1.35	1.37	15	.01	-.60	2.36
4	.00	-2.21	1.89	16	.01	-.34	2.36
5	.01	-1.14	2.94	17	.00	.00	.00
6	.01	-.96	2.94	18	-.01	-.49	.15
7	.00	-1.10	.73	19	.00	-.55	.86
8	.00	-1.07	.73	20	.01	-.29	1.57
9	.00	-1.67	1.77	21	.01	-.04	1.57
10	.01	-.87	2.80	22	.00	.00	.00
11	.01	-.78	2.80	23	.00	.00	.00
12	.00	-.75	.44	24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nó	M(kN.m)	Ry(kN)	Rx(kN)
17	8.67	17.07	4.04
22	-9.82	-12.55	-5.15
23	-6.52	-.31	-2.23
24	.91	-4.22	-6.15

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN)
1	1	-10.45	.05	.11	2	-10.16	.05	.11
2	3	-5.20	-2.92	2.26	4	-22.01	-2.92	2.26
3	4	-6.89	1.80	3.87	5	3.48	1.80	3.87
4	5	.00	.00	.00	6	.00	.00	.00
5	7	.00	.00	.00	8	.00	.00	.00
6	8	6.43	-2.35	-.35	9	-7.07	-2.35	-.35
7	9	-2.54	.83	.27	10	2.21	.83	.27
8	10	.00	.00	.00	11	.00	.00	.00
9	12	.00	.00	.00	13	.00	.00	.00
10	13	5.09	-1.25	3.51	14	-2.09	-1.25	3.51
11	14	4.78	-1.21	3.23	15	-2.18	-1.21	3.23

12	15	.00	.00	.00	16	.00	.00	.00
13	17	8.67	-17.07	-4.04	18	-42.54	-17.07	-4.04
14	18	1.34	2.00	-4.31	19	12.83	2.00	-4.31
15	19	23.14	-5.69	-4.13	20	-9.55	-5.69	-4.13
16	20	.00	.00	.00	21	.00	.00	.00
17	4	-10.77	.11	-.05	1	-10.45	.11	-.05
18	5	8.22	1.39	.05	2	10.16	-.11	.05
19	8	-11.99	2.26	2.92	3	-5.20	2.26	2.92
20	9	-.78	1.71	-4.78	4	4.35	1.71	-4.78
21	10	9.92	-.97	1.85	5	4.75	-2.47	1.85
22	13	-11.32	1.92	5.27	8	-5.56	1.92	5.27
23	14	-3.23	2.33	-7.95	9	3.75	2.33	-7.95
24	15	9.19	.26	2.68	10	7.71	-1.24	2.68
25	18	-27.93	5.43	6.52	13	-6.22	5.43	6.52
26	19	-4.55	2.05	-7.99	14	3.64	2.05	-7.99
27	20	19.28	-.98	1.47	15	11.38	-2.98	1.47
28	22	-9.82	5.15	-12.55	18	15.95	5.15	-12.55
29	23	-6.52	2.23	-.31	19	5.76	2.23	-.31
30	24	.91	6.15	-4.22	20	28.83	3.15	-4.22

****

** Combinação de acções nº. 1 **

****

COMBINACAO VERAO

****

*** Factores de carga
(1)= 1.000 (2)= 1.000 (3)= .000

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)	Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	-.01	-2.23	.43	13	.02	-1.23	.41
2	-.02	-4.13	1.94	14	.00	-.57	1.49
3	.03	-2.66	-.01	15	-.02	-2.02	2.57
4	.00	-1.46	1.49	16	.09	-1.07	2.92
5	-.03	-3.36	2.52	17	.00	.00	.00
6	.08	-2.55	2.87	18	.01	-.26	.66
7	-.10	-.87	.04	19	.00	.01	1.51
8	.01	-1.91	.39	20	-.01	-1.09	2.37
9	.00	-.99	1.44	21	.09	-.06	2.72
10	-.02	-2.65	2.48	22	.00	.00	.00
11	.09	-1.77	2.83	23	.00	.00	.00
12	-.09	-.24	.06	24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nó	M(kN.m)	Ry(kN)	Rx(kN)
17	84.64	1.28	22.04
22	-10.21	-238.65	-2.82
23	-13.04	-323.61	-4.79
24	-101.63	-220.27	-18.23

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN)
1	1	2.36	14.21	-4.03	2	1.41	-14.54	-4.03
2	3	-7.48	28.17	-9.10	4	-10.81	-29.33	-9.10
3	4	-21.00	27.48	-2.61	5	-28.29	-30.02	-2.61

4	5	-10.00	10.00	.00	6	.00	10.00	.00
5	7	.00	-10.00	.00	8	-10.00	-10.00	.00
6	8	-28.51	29.62	4.71	9	-23.49	-27.88	4.71
7	9	-20.37	27.16	2.63	10	-29.49	-30.34	2.63
8	10	-10.00	10.00	.00	11	.00	10.00	.00
9	12	.00	-10.00	.00	13	-10.00	-10.00	.00
10	13	-27.13	28.80	-4.32	14	-26.83	-28.70	-4.32
11	14	-23.92	27.57	-3.94	15	-30.70	-29.93	-3.94
12	15	-10.00	10.00	.00	16	.00	10.00	.00
13	17	84.64	-1.28	-22.04	18	-9.20	-61.28	-22.04
14	18	-37.50	70.77	-10.51	19	-43.86	-72.98	-10.51
15	19	-29.34	68.30	-6.47	20	-49.87	-75.45	-6.47
16	20	-10.00	10.00	.00	21	.00	10.00	.00
17	4	14.47	-4.03	-14.21	1	2.36	-4.03	-14.21
18	5	-14.41	4.63	-14.54	2	-1.41	4.03	-14.54
19	8	19.82	-9.10	-28.17	3	-7.48	-9.10	-28.17
20	9	-3.10	2.46	-71.02	4	4.28	2.46	-71.02
21	10	-18.75	7.85	-54.56	5	3.88	7.25	-54.56
22	13	14.49	-4.39	-67.79	8	1.31	-4.39	-67.79
23	14	-1.12	.38	-126.06	9	.02	.38	-126.06
24	15	-15.80	5.81	-94.89	10	.74	5.21	-94.89
25	18	32.20	-8.71	-106.60	13	-2.64	-8.71	-106.60
26	19	-1.23	.76	-182.33	14	1.79	.76	-182.33
27	20	-35.73	10.56	-134.82	15	4.89	9.76	-134.82
28	22	-10.21	2.82	-238.65	18	3.90	2.82	-238.65
29	23	-13.04	4.79	-323.61	19	13.29	4.79	-323.61
30	24	-101.63	18.23	-220.27	20	4.15	17.03	-220.27

****

** Combinação de acções nº. 2 **

****

COMBINACAO INVERNO

****

*** Factores de carga

(1)= 1.000 (2)= .000 (3)= 1.000

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)	Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	.05	-1.42	2.29	13	.01	-.46	.39
2	-.04	-.75	2.80	14	.00	-.31	1.34
3	.05	-.86	1.43	15	.01	-.19	2.29
4	-.01	-1.18	1.94	16	.11	1.18	2.29
5	.00	-.50	2.98	17	.00	.00	.00
6	.10	.70	2.98	18	.00	-.28	.15
7	-.09	.37	.69	19	.00	.04	.86
8	.01	-.63	.69	20	.00	-.05	1.58
9	.01	-.72	1.74	21	.10	1.14	1.58
10	-.01	-.31	2.77	22	.00	.00	.00
11	.10	.77	2.77	23	.00	.00	.00
12	-.10	.67	.39	24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nó	M(kN.m)	Ry(kN)	Rx(kN)
17	-8.27	-8.24	4.66
22	-2.02	-219.71	-.48
23	-6.14	-343.16	-2.02
24	-10.11	-210.13	-11.66

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN)
1	1	-18.74	14.55	-4.21	2	-17.73	-14.20	-4.21
2	3	-18.36	22.72	-5.14	4	-53.05	-34.78	-5.14
3	4	-37.14	31.89	3.30	5	-19.10	-25.61	3.30
4	5	-10.00	10.00	.00	6	.00	10.00	.00
5	7	.00	-10.00	.00	8	-10.00	-10.00	.00
6	8	-18.03	25.78	3.63	9	-35.09	-31.72	3.63
7	9	-29.67	30.18	1.37	10	-21.44	-27.32	1.37
8	10	-10.00	10.00	.00	11	.00	10.00	.00
9	12	.00	-10.00	.00	13	-10.00	-10.00	.00
10	13	-21.60	27.64	.92	14	-27.96	-29.86	.92
11	14	-21.88	27.55	.30	15	-28.80	-29.95	.30
12	15	-10.00	10.00	.00	16	.00	10.00	.00
13	17	-8.27	8.24	-4.66	18	-73.55	-51.76	-4.66
14	18	-57.54	71.81	-3.59	19	-57.93	-71.94	-3.59
15	19	-50.15	70.70	-2.93	20	-56.91	-73.05	-2.93
16	20	-10.00	10.00	.00	21	.00	10.00	.00
17	4	-6.12	-4.21	-14.55	1	-18.74	-4.21	-14.55
18	5	2.86	5.71	-14.20	2	17.73	4.21	-14.20
19	8	-2.93	-5.14	-22.72	3	-18.36	-5.14	-22.72
20	9	-2.92	4.24	-81.22	4	9.79	4.24	-81.22
21	10	2.49	3.91	-49.81	5	11.96	2.41	-49.81
22	13	-6.43	-1.51	-58.50	8	-10.96	-1.51	-58.50
23	14	-3.43	1.98	-143.12	9	2.50	1.98	-143.12
24	15	4.07	4.03	-87.13	10	13.93	2.53	-87.13
25	18	-15.65	-.59	-96.14	13	-18.02	-.59	-96.14
26	19	-2.79	1.36	-200.52	14	2.65	1.36	-200.52
27	20	3.94	5.73	-127.09	15	22.88	3.73	-127.09
28	22	-2.02	.48	-219.71	18	.36	.48	-219.71
29	23	-6.11	illegible	illegible	illegible	illegible	illegible	illegible
30	24	-10.11	11.66	-210.13	20	50.85	8.66	-210.13

```
Comparando arquivos PORTICO.RES e \PORTIC\PORTICO.RES
**** PORTICO.RES
*************** Resultados obtidos com o PROGRAMA "PORTIC" [versão 5.11] ****
*************** Ficheiro de dados :      portico.dat   ****   12-23-92   ****
*************** Ficheiro de resultados : portico.res   ****   02:45:05   ****
**********************************************************************
**** \PORTIC\PORTICO.RES
*************** Resultados obtidos com o PROGRAMA "PORTIC" [versão 5.10] ****
*************** Ficheiro de dados :      portico.dat   ****   11-14-92   ****
*************** Ficheiro de resultados : portico.res   ****   02:14:50   ****
**********************************************************************
****

**** PORTICO.RES

*** Economia de MEMORIA,armazenando apenas a Semibanda Variavel,
    relativamente a outras formas de armazenar :

            Matriz de rigidez completa     81%
            Triangulo superior             63%
            Semibanda constante            26%


 *** COORDENADAS NODAIS
**** \PORTIC\PORTICO.RES

 *** COORDENADAS NODAIS
****
```

```
*****************************************************************************
*************** Resultados obtidos com o PROGRAMA "PORTIC" [versão 5.11] ***
*************** Ficheiro de dados :        PORTICO.DAT    ****   12-08-92   ***
*************** Ficheiro de resultados : PORTICO.RES    ****   19:02:51   ***
*****************************************************************************

*****************************************************************
*       PORTICO DE UM EDIFICIO ( CAVE + R\C + 4 ANDARES )       *
*****************************************************************
*****************************************************************************
```

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Nº. total de nos	(NPOIN)	=	24
Nº. total de barras	(NELEM)	=	30
Nº. de nos ligados ao exterior	(NVFIX)	=	4
Nº. de materiais	(NMATS)	=	6
Nº. de propriedades/material	(NPROP)	=	6
Nº. de nós/barra	(NNODE)	=	2
Nº. de graus de liberdade/nó	(NDOFN)	=	3
Nº. de coordenadas/nó	(NDIME)	=	2
Nº. de variaveis/barra	(NEVAB)	=	6
Nº. total de variaveis	(NTOTV)	=	72
Nº. de casos de carga	(NCASE)	=	3
Nº. de combinações	(NCOMB)	=	2

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle

***** CARACTERISTICAS DAS BARRAS

Barra	Material	Ext.1	Ext.2	Barra	Material	Ext.1	Ext.2
1	4	1	2	16	5	20	21
2	4	2	4	17	3	4	1
3	4	4	5	18	3	5	2
4	5	5	6	19	3	6	3
5	5	[illegible]	8	20	2	9	4
6	4	6	9	21	3	10	5
7	4	9	10	22	3	11	6
8	5	10	11	23	2	14	9
9	5	12	13	24	3	15	10
10	4	13	14	25	2	18	13
11	4	14	15	26	1	19	14
12	5	15	16	27	3	20	15
13	5	17	18	28	1	22	16
14	5	18	19	29	1	23	17
15	5	19	20	30	1	24	23

*** Economia de MEMORIA, armazenando apenas a Semibanda Variavel, relativamente a outras formas de armazenar :

Matriz de rigidez completa	61%
Triangulo superior	63%
Semibanda constante	26%

*** COORDENADAS NODAIS

No	X(m)	Y(m)
1	8.75	19.00
2	14.50	19.00
3	3.00	16.00
4	8.75	16.00
5	14.50	16.00
6	15.50	16.00
7	2.00	13.00
8	3.00	13.00
9	8.75	13.00
10	14.50	13.00
11	15.50	13.00
12	2.00	10.00

No	X(m)	Y(m)
13	3.00	10.00
14	8.75	10.00
15	14.50	10.00
16	15.50	10.00
17	.00	6.00
18	3.00	6.00
19	8.75	6.00
20	14.50	6.00
21	15.50	6.00
22	3.00	1.00
23	8.75	.50
24	14.50	.00

*** LIGAÇÕES AO EXTERIOR

Nó	Cód.
17	111
22	111
23	111
24	111

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Mat	E GPa	G cm	H cm	Ix cm4	A cm2	α /°C
1	20.0	50.0	50.0	520833.3	2500.0	1.00E-5
2	20.0	40.0	40.0	213333.3	1600.0	1.00E-5
3	20.0	30.0	30.0	67500.0	900.0	1.00E-5
4	20.0	20.0	50.0	208333.3	1000.0	1.00E-5
5	20.0	20.0	20.0	13333.3	400.0	1.00E-5
6	20.0	40.0	60.0	720000.0	2400.0	1.00E-5

****

** Caso de carga nº. 1 **

****

********** CARGAS COMUNS : INVERNO e VERÃO **********

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	1
Carga concentrada em barras	(IPBAR)=	0
Carga distribuida trapezoidal	(IDIST)=	1
Carga termica	(ITERM)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGAS CONCENTRADAS NODAIS

Nº.de nós carregados = 6

No	Mom(kN.m)	Fv(kN)	Fx(kN)
5	.00	10.00	.00

7	.00	10.00	.00
11	.00	10.00	.00
12	.00	10.00	.00
16	.00	10.00	.00
21	.00	10.00	.00

*** CARGA DISTRIBUIDA TRAPEZOIDAL
Nº.de barras carregadas = 10

Barra	a(m)	c(m)	Fn1(kN)	Fn2(kN)
1	.00	.00	5.00	5.00
2	.00	.00	10.00	10.00
3	.00	.00	10.00	10.00
6	.00	.00	10.00	10.00
7	.00	.00	10.00	10.00
10	.00	.00	10.00	10.00
11	.00	.00	10.00	10.00
13	.00	.00	20.00	20.00
14	.00	.00	25.00	25.00
15	.00	.00	25.00	25.00

***** RESULTADOS FINAIS ********** CASO DE CARGA Nº 1 ******

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	.02	1.05	-.29
2	-.03	.67	-.31
3	.04	.48	.07
4	.00	1.03	.05
5	-.01	.64	.04
6	.09	1.66	.04
7	-.09	1.47	-.04
8	.21	.44	-.04
9	.00	.96	-.03
10	-.01	.56	-.00
11	.07	1.55	-.03
12	-.10	1.42	-.05
13	.01	.34	-.05
14	.00	.63	-.06
15	-.01	.41	-.07
16	.10	1.52	-.07
17	.00	.00	.00
18	.01	.21	.00
19	.00	.39	.00
20	-.02	.25	.00
21	.09	1.18	.00
22	.00	.00	.00
23	.00	.00	.00
24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nº	M(kN.m)	Rv(kN)	Rx(kN)
17	-16.74	-25.31	.62
22	7.02	-287.17	4.66
23	.38	-342.86	.21
24	-11.03	-205.72	-5.51

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)
1	1	-8.29	14.50	-4.31
2	3	-13.16	25.64	-7.41
3	4	-30.24	30.05	-.57
4	5	-10.00	10.00	.00
5	7	.00	-10.00	.00
6	8	-24.46	28.13	3.98
7	9	-27.13	27.35	1.10
8	10	-10.00	10.00	.00

Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN)
2	-7.57	-14.25	-4.31
4	-31.04	-31.86	-7.41
5	-22.57	-27.42	-.57
6	.00	10.00	.00
8	-10.00	-10.00	.00
9	-25.02	-25.37	3.98
10	-25.65	-26.15	1.10
11	.00	10.00	.00

9	12	.00	-10.00	.00	12	-10.00	-10.00	.00
10	13	-26.69	28.69	-2.59	14	-25.87	-28.61	-2.59
11	14	-26.66	28.76	-2.93	15	-26.62	-28.74	-2.93
12	15	-10.00	10.00	.00	16	.00	10.00	.00
13	17	-16.94	25.31	-.62	18	-31.01	-34.69	-.62
14	18	-58.88	69.81	.72	19	-70.76	-73.94	.72
15	19	-73.29	76.37	1.20	20	-47.36	-67.36	1.20
16	20	-10.00	10.00	.00	21	.00	10.00	.00
17	4	4.83	-4.31	-14.50	1	-8.29	-4.31	-14.50
18	5	-5.36	4.31	-14.25	2	7.57	4.31	-14.25
19	8	7.06	-7.41	-25.64	3	-13.16	-7.41	-25.64
20	9	-2.14	2.53	-76.44	4	8.44	2.53	-76.44
21	10	-7.43	4.88	-51.67	5	7.21	4.88	-51.67
22	13	4.89	-3.43	-63.77	8	-8.40	-3.43	-63.77
23	14	-.20	-.35	-135.17	9	-1.25	-.35	-135.17
24	15	-5.12	3.78	-89.81	10	6.22	3.78	-89.81
25	18	12.28	-6.02	-102.66	13	-11.80	-6.02	-102.66
26	19	1.76	-.69	-192.53	14	.-.99	-.69	-192.53
27	20	-15.34	6.71	-128.55	15	11.50	6.71	-128.55
28	22	7.80	-4.68	-207.17	18	-13.59	-4.68	-207.17
29	23	.38	-.21	-342.86	19	-.77	-.21	-342.86
30	24	-11.03	5.51	-205.92	20	22.02	5.51	-205.92

****

** Caso de carga nº. 2 *

****

********** CARGAS DE VERAO ********

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga concentrada em barras	(IPBAR)=	0
Carga distribuida trapezoidal	(IDIST)=	1
Carga termica	(ITERM)=	1
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA TRAPEZOIDAL
Nº.de barras carregadas = 5

Barra	a(m)	c(m)	Pn1(kN)	Pn2(kN)
15	.00	.00	.20	.20
21	.00	.00	.20	.20
24	.00	.00	.20	.20
27	.00	.00	.20	.20
30	.00	.00	.20	.20

*** CARGA TERMICA
Nº.de barras com acção termica = 30

Barra	t sup (°C)	t inf (°C)
4	35.0	35.0
5	35.0	35.0
8	35.0	35.0
9	35.0	35.0

12	35.0	35.0
15	35.0	35.0
30	10.0	35.0
27	20.0	35.0
24	18.0	35.0
21	18.0	35.0
18	18.0	35.0
1	35.0	18.0
17	35.0	18.0
2	35.0	18.0
19	35.0	18.0
22	35.0	18.0
25	35.0	20.0
13	35.0	10.0
28	10.0	10.0
29	10.0	10.0
26	20.0	20.0
23	18.0	18.0
20	18.0	18.0
3	18.0	18.0
6	18.0	18.0
7	18.0	18.0
10	18.0	20.0
11	18.0	20.0
14	20.0	10.0
15	20.0	10.0

***** RESULTADOS FINAIS ********** CASO DE CARGA Nº 2 ******

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)	Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	-.03	-3.28	.72	13	.01	-1.56	.46
2	.00	-4.80	2.25	14	.00	-1.40	1.55
3	-.01	-3.14	-.07	15	-.01	-2.42	2.64
4	.00	-2.49	1.45	16	-.01	-2.59	2.99
5	-.01	-4.00	2.48	17	.00	.00	.00
6	-.01	-4.21	2.83	18	.00	-.47	.66
7	.00	-2.34	.08	19	.00	-.58	1.51
8	.00	-2.38	.43	20	.01	-1.33	2.36
9	.00	-1.94	1.47	21	.01	-1.24	2.71
10	-.01	-3.21	2.51	22	.00	.00	.00
11	-.01	-3.50	2.86	23	.00	.00	.00
12	.01	-1.67	.11	24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nc	M(kN.m)	Rv(kN)	Rx(kN)
17	101.58	26.59	21.42
22	-18.01	-31.48	-7.50
23	-13.42	19.24	-5.00
24	-90.61	-14.35	-12.72

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	No	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN)
1	1	10.63	-.29	.28	2	8.98	-.29	.28
2	3	5.68	2.53	-1.70	4	20.22	2.53	-1.70
3	4	9.24	-2.60	-2.04	5	-5.71	-2.60	-2.04

4	5	.00	.00	.00	6	.00	.00	.00
5	7	.00	.00	.00	8	.00	.00	.00
6	8	-4.05	1.49	.73	9	4.53	1.49	.73
7	9	6.75	-2.19	1.53	10	-5.84	-2.19	1.53
8	10	.00	.00	.00	11	.00	.00	.00
9	12	.00	.00	.00	13	.00	.00	.00
10	13	-.45	-.09	-1.73	14	-.96	-.09	-1.73
11	14	2.74	-1.19	-1.01	15	-4.08	-1.19	-1.01
12	15	.00	.00	.00	16	.00	.00	.00
13	17	101.58	-26.59	-21.42	18	21.81	-26.59	-21.42
14	18	21.39	.96	-11.23	19	26.91	.96	-11.23
15	19	43.96	-8.08	-7.68	20	-2.52	-8.08	-7.68
16	20	.00	.00	.00	21	.00	.00	.00
17	4	9.82	.26	.29	1	10.65	.28	.29
18	6	-9.05	.32	-.29	2	-8.98	-.28	-.29
19	8	10.76	-1.70	-2.53	3	5.68	-1.70	-2.53
20	9	-.96	-.07	5.42	4	-1.16	-.07	5.42
21	10	-11.32	2.97	-2.89	5	-3.33	2.37	-2.89
22	13	9.60	-.96	-4.02	8	6.71	-.96	-4.02
23	14	-.91	.73	9.10	9	1.27	.73	9.10
24	15	-10.68	2.03	-5.08	10	-5.48	1.43	-5.08
25	18	19.92	-2.69	-3.93	13	9.16	-2.69	-3.93
26	19	-2.79	1.44	10.20	14	2.79	1.44	10.20
27	20	-20.39	3.85	-6.27	15	-6.61	3.05	-6.27
28	22	-18.01	7.50	-31.48	18	19.49	7.50	-31.48
29	23	-13.42	5.00	19.24	19	14.06	5.00	19.24
30	24	-90.61	12.72	-14.35	20	-17.87	11.32	-14.35

****

** Caso de carga nº. 3 *

****

********** CARGAS DE INVERNO *********

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga concentrada em barras	(IPBAR)=	0
Carga distribuida trapezoidal	(IDIST)=	1
Carga termica	(ITERM)=	1
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA TRAPEZOIDAL
Nº.de barras carregadas = 5

Barra	a(m)	c(m)	Pn1(kN)	Pn2(kN)
18	.00	.00	.50	.50
21	.00	.00	.50	.50
24	.00	.00	.50	.50
27	.00	.00	.50	.50
30	.00	.00	.50	.50

*** CARGA TERMICA
Nº.de barras com acção térmica = 30

Barra	t sup (°C)	t inf (°C)
4	.0	.0
5	.0	.0
8	.0	.0
9	.0	.0
12	.0	.0
16	.0	.0
30	10.0	.0
27	15.0	.0
24	18.0	.0
21	18.0	.0
18	18.0	.0
1	.0	18.0
17	.0	18.0
2	.0	18.0
19	.0	18.0
22	.0	18.0
25	.0	15.0
13	.0	10.0
28	10.0	10.0
29	10.0	10.0
26	15.0	15.0
23	18.0	18.0
20	18.0	18.0
3	18.0	18.0
6	18.0	18.0
7	18.0	18.0
10	18.0	15.0
11	15.0	15.0
14	15.0	10.0
15	15.0	10.0

***** RESULTADOS FINAIS ********** CASO DE CARGA Nº 3 ******

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	.03	-2.48	2.59
2	-.01	-1.41	3.11
3	.01	-1.35	1.37
4	.00	-2.21	1.89
5	.04	-1.14	2.94
6	.01	-.96	2.94
7	.00	-1.10	.72
8	.00	-1.07	.73
9	.00	-1.67	1.77
10	.01	-.87	2.50
11	.01	-.78	2.80
12	.00	-.75	.44
13	.00	-.80	.44
14	.01	-1.14	1.40
15	.01	-.60	2.36
16	.01	-.34	2.36
17	.00	.00	.00
18	-.01	-.49	.15
19	.00	-.55	.36
20	.01	-.29	1.57
21	.01	-.04	1.57
22	.00	.00	.00
23	.00	.00	.00
24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nó	M(kN.m)	Ry(kN)	Rx(kN)
17	8.67	17.07	4.04
22	-9.82	-12.55	-5.15
23	-6.62	-.31	-2.33
24	.71	-4.22	-6.15

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN
1	1	-10.45	.05	.11	2	-10.16	.05	.11
2	3	-5.20	-2.92	2.26	4	-22.01	-2.92	2.26
3	4	-6.89	-1.80	3.87	5	3.48	1.80	3.87
4	5	.00	.00	.00	6	.00	.00	.00
5	7	.00	.00	.00	8	.00	.00	.00
6	8	6.43	-2.35	-.35	9	-7.07	-2.35	-.35
7	9	-2.54	.83	.27	10	2.21	.83	.27
8	10	.00	.00	.00	11	.00	.00	.00
9	12	.00	.00	.00	13	.00	.00	.00
10	13	5.09	-1.25	3.51	14	-2.09	-1.25	3.51
11	14	4.78	-1.21	3.23	15	-2.18	-1.21	3.23
12	15	.00	.00	.00	16	.00	.00	.00
13	17	8.67	-17.07	-4.04	18	-42.54	-17.07	-4.04
14	18	1.34	2.00	-4.31	19	12.83	2.00	-4.31
15	19	23.14	-5.69	-4.13	20	-9.55	-5.69	-4.13
16	20	.00	.00	.00	21	.00	.00	.00
17	4	-10.77	.11	-.05	1	-10.45	.11	-.05
18	5	8.22	1.39	.05	2	10.16	-.11	.05
19	8	-11.99	2.26	2.92	3	-5.20	2.26	2.92
20	9	-.78	1.71	-4.78	4	4.35	1.71	-4.78
21	10	9.92	-.97	1.85	5	4.75	-2.47	1.85
22	13	-11.32	1.92	5.27	8	-5.56	1.92	5.27
23	14	-3.23	2.33	-7.95	9	3.75	2.33	-7.95
24	15	9.19	.26	2.68	10	7.71	-1.24	2.68
25	18	-27.93	5.43	6.52	13	-6.22	5.43	6.52
26	19	-4.55	2.05	-7.99	14	3.64	2.05	-7.99
27	20	19.28	-.98	1.47	15	11.38	-2.98	1.47
28	22	-9.82	5.15	-12.55	18	15.95	5.15	-12.55
29	23	-6.52	2.23	-.31	19	5.76	2.23	-.31
30	24	.91	6.15	-4.22	20	28.83	3.15	-4.22

****
** Combinação de acções nº. 1 *
****
********** COMBINACAO VERAO *******

****

*** Factores de carga
(1)= 1.000 (2)= 1.000 (3)= .000

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)	Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	-.01	-2.23	.43	13	.02	-1.23	.41
2	-.02	-4.13	1.94	14	.00	-.57	1.49
3	.03	-2.66	-.01	15	-.02	-2.02	2.57
4	.00	-1.46	1.49	16	.09	-1.07	2.92
5	-.03	-3.36	2.52	17	.00	.00	.00
6	.08	-2.55	2.87	18	.01	-.26	.66
7	-.10	-.87	.04	19	.00	.01	1.51
8	.01	-1.91	.39	20	-.01	-1.09	2.37
9	.00	-.99	1.44	21	.09	-.06	2.72
10	-.02	-2.65	2.48	22	.00	.00	.00
11	.09	-1.77	2.83	23	.00	.00	.00
12	-.09	-.24	.06	24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nó	M(kN.m)	Ry(kN)	Rx(kN)
17	84.64	1.28	22.04
22	-10.21	-238.65	-2.82
23	-13.04	-323.61	-4.79
24	-101.63	-220.27	-18.23

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN
1	1	2.36	14.21	-4.03	2	1.41	-14.54	-4.03
2	3	-7.48	28.17	-9.10	4	-10.81	-29.33	-9.10
3	4	-21.00	27.48	-2.61	5	-28.29	-30.02	-2.61
4	5	-10.00	10.00	.00	6	.00	10.00	.00
5	7	.00	-10.00	.00	8	-10.00	-10.00	.00
6	8	-28.51	29.62	4.71	9	-23.49	-27.88	4.71
7	9	-20.37	27.16	2.63	10	-29.49	-30.34	2.63
8	10	-10.00	10.00	.00	11	.00	10.00	.00
9	12	.00	-10.00	.00	13	-10.00	-10.00	.00
10	13	-27.13	28.80	-4.32	14	-26.83	-28.70	-4.32
11	14	-23.92	27.57	-3.94	15	-30.70	-29.93	-3.94
12	15	-10.00	10.00	.00	16	.00	10.00	.00
13	17	84.64	-1.28	-22.04	18	-9.20	-61.28	-22.04
14	18	-37.50	70.77	-10.51	19	-43.86	-72.98	-10.51
15	19	-29.34	68.30	-6.47	20	-49.87	-75.45	-6.47
16	20	-10.00	10.00	.00	21	.00	10.00	.00
17	4	14.47	-4.03	-14.21	1	2.36	-4.03	-14.21
18	5	-14.41	4.63	-14.54	2	-1.41	4.03	-14.54
19	8	19.82	-9.10	-28.17	3	-7.48	-9.10	-28.17
20	9	-3.10	2.46	-71.02	4	4.28	2.46	-71.02
21	10	-18.75	7.85	-54.56	5	3.88	7.25	-54.56
22	13	14.49	-4.39	-67.79	8	1.31	-4.39	-67.79
23	14	-1.12	.38	-126.06	9	.02	.38	-126.06
24	15	-15.80	5.81	-94.89	10	.74	5.21	-94.89
25	18	32.20	-8.71	-106.60	13	-2.64	-8.71	-106.60
26	19	-1.23	.76	-182.33	14	1.79	.76	-182.33
27	20	-35.73	10.56	-134.82	15	4.89	9.76	-134.82
28	22	-10.21	2.82	-238.65	18	3.90	2.82	-238.65
29	23	-13.04	4.79	-323.61	19	13.29	4.79	-323.61
30	24	-101.63	18.23	-220.27	20	4.15	17.03	-220.27

** Combinação de acções nº. 2 *

COMBINACAO INVERNO

*** Factores de carga
(1)= 1.000 (2)= .000 (3)= 1.000

********** Deslocamentos **********

Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)	Nó	rot(°)	dy(mm)	dx(mm)
1	.05	-1.42	2.29	13	.01	-.46	.39
2	-.04	-.75	2.80	14	.00	-.31	1.34
3	.05	-.86	1.43	15	.01	-.19	2.29
4	-.01	-1.18	1.94	16	.11	1.18	2.29
5	.00	-.50	2.98	17	.00	.00	.00

6	.10	.70	2.98	18	.00	-.28	.15
7	-.09	.37	.69	19	.00	.04	.86
8	.01	-.63	.69	20	.00	-.05	1.58
9	.01	-.72	1.74	21	.10	1.14	1.58
10	-.01	-.31	2.77	22	.00	.00	.00
11	.10	.77	2.77	23	.00	.00	.00
12	-.10	.67	.39	24	.00	.00	.00

********** Reacções **********

Nó	M(kN.m)	Ry(kN)	Rx(kN)
17	-8.27	-8.24	4.66
22	-2.02	-219.71	-.48
23	-6.14	-343.16	-2.02
24	-10.11	-210.13	-11.66

********** Esforços (convenção de R.M.) **********

Barra	Nó	Me(kN.m)	Ve(kN)	Ne(kN)	Nó	Md(kN.m)	Vd(kN)	Nd(kN
1	1	-18.74	14.55	-4.21	2	-17.73	-14.20	-4.21
2	3	-18.36	22.72	-5.14	4	-53.05	-34.78	-5.14
3	4	-37.14	31.89	3.30	5	-19.10	-25.61	3.30
4	5	-10.00	10.00	.00	6	.00	10.00	.00
5	7	.00	-10.00	.00	8	-10.00	-10.00	.00
6	8	-18.03	25.78	3.63	9	-35.09	-31.72	3.63
7	9	-29.67	30.18	1.37	10	-21.44	-27.32	1.37
8	10	-10.00	10.00	.00	11	.00	10.00	.00
9	12	.00	-10.00	.00	13	-10.00	-10.00	.00
10	13	-21.60	27.64	.92	14	-27.96	-29.86	.92
11	14	-21.88	27.56	.30	15	-28.80	-29.95	.30
12	15	-10.00	10.00	.00	16	.00	10.00	.00
13	17	-8.27	8.24	-4.66	18	-73.55	-51.76	-4.66
14	18	-57.54	71.81	-3.59	19	-57.93	-71.94	-3.59
15	19	-50.15	70.70	-2.93	20	-56.91	-73.05	-2.93
16	20	-10.00	10.00	.00	21	.00	10.00	.00
17	4	-6.12	-4.21	-14.55	1	-18.74	-4.21	-14.55
18	5	2.86	5.71	-14.20	2	17.73	4.21	-14.20
19	8	-2.93	-5.14	-22.72	3	-18.36	-5.14	-22.72
20	9	-2.92	4.24	-81.22	4	9.79	4.24	-81.22
21	10	2.49	3.91	-49.81	5	11.96	2.41	-49.81
22	13	-6.43	-1.51	-58.50	8	-10.96	-1.51	-58.50
23	14	-3.43	1.98	-143.12	9	2.50	1.98	-143.12
24	15	4.07	4.03	-87.13	10	13.93	2.53	-87.13
25	18	-15.65	-.59	-96.14	13	-18.02	-.59	-96.14
26	19	-2.79	1.36	-200.52	14	2.65	1.36	-200.52
27	20	3.94	5.73	-127.09	15	22.88	3.73	-127.09
28	22	-2.02	.48	-219.71	18	.36	.48	-219.71
29	23	-6.14	2.02	-343.16	19	4.99	2.02	-343.16
30	24	-10.11	11.66	-210.13	20	50.85	8.66	-210.13

PRODEP

TRABALHO Nº 3

Elaborado por :

Alberto Martins Gonçalves

ÍNDICE

1. Introdução 1

2. Programa PLANE 2

2.1. Estrutura do programa 2

2.1.1. Descrição do programa 2'

2.2. Ficheiros de dados 3

2.3. Principais variáveis utilizadas 5

3. Aplicações prévias com o programa PLANE 6

3.1. Estudo do comportamento de um cilindro de paredes espessas, admitindo estado plano de deformação 6

3.2. Estudo do comportamento de um cilindro de paredes espessas admitindo axissimetria 23

3.3 Comparação dos resultados obtidos para os dois casos anteriores 43

4. Programa QUASAR 44

4.1. Estrutura do programa 44

4.1.1. Descrição do programa 45

4.2. Ficheiro de dados 46

4.3. Principais variáveis utilizadas 47

5. Aplicações com o programa QUASAR 49

5.1. Estudo da percolação da zona envolvente de uma estaca-prancha 49

5.2. Estudo da percolação sobre a barragem de Crestuma 73

6. Alterações no programa PLANE 96

6.1. Introdução da subrotina SMBDV 96

6.2. Consideração de elementos semi-infinitos 96

6.3 Consideração de tensões iniciais 99

6.4. Listagens do programa alterado para elementos semi-infinitos 101

6.4.1 Ficheiro de Dados após alteração 139

6.5. Listagens do programa principal e da subrotina LOAD2D alteradas para tensões iniciais 142

7. Aplicações com o programa PLANE alterado 155

7.1. Cavidade cilíndrica sujeita a pressão interior em meio infinito 155

7.2. Elementos de solo sujeitos a tensões iniciais 178

1- Introdução

O presente trabalho insere-se no âmbito da programação e aplicação do Método dos Elementos Finitos.

Este método numérico, cada vez mais utilizado no domínio da Engenharia Estrutural e Geotécnica, tem vindo a adquirir importância crescente, ao ritmo da evolução dos computadores.

Em traços gerais, o método consiste, em primeiro lugar, na discretização do domínio em estudo em pequenos elementos, mantendo-se estes unidos entre si em determinado número de pontos (nós). Trata-se, portanto, de um "método do contínuo", já que não há descontinuidade de deslocamentos - os elementos permanecem ligados pelos nós, após a deformação. Há apenas descontinuidade de tensões.

No domínio da Geotecnia, não existem grandes objecções quanto à sua aplicabilidade a solos, uma vez que, numa visão macro, os solos constituem meios contínuos.

O mesmo não se pode dizer relativamente a maciços rochosos. A existência de compartimentação interna (diaclases, falhas e outros acidentes), tornam inviável ou altamente questionável a assimilação do maciço a um meio contínuo.

De resto, o MEF é em tudo semelhante ao Método dos Deslocamentos.

Refira-se ainda que a geometria dos elementos constituintes da malha, bem como a definição e variação da sua densidade, é de extrema importância e depende, em larga medida, da sensibilidade do utilizador.

Do mesmo modo, a quantificação dos parâmetros necessários à caracterização mecânica dos materiais e à análise dos resultados obtidos exigem um grande sentido crítico por parte do utilizador.

Passemos agora à apresentação do trabalho.

Foram-nos fornecidos dois programas de elementos finitos - o PLANE e o QUASAR, adiante caracterizados.

O nosso trabalho desenvolveu-se em três fases:

A) Aplicações prévias com os dois programas

1) Programa PLANE:
   - Estudo de um cilindro de parede espessa em Estado Plano de Deformação.
   - Estudo de um cilindro de parede espessa em Estado Axissimétrico de Tensão.
2) Programa QUASAR:
   - Estudo da percolação sob a barragem de Crestuma.
   - Estudo da percolação na zona envolvente de uma estaca-prancha.

B) Alterações no Programa PLANE

- Introdução da Subrotina SMBDV.
- Consideração de Elementos Semi-infinitos.
- Consideração de Tensões Iniciais.

C) Novas aplicações com o programa PLANE

- Cavidade cilíndrica com pressão interior num meio semi-infinito.
- Elementos sujeitos a tensões iniciais.

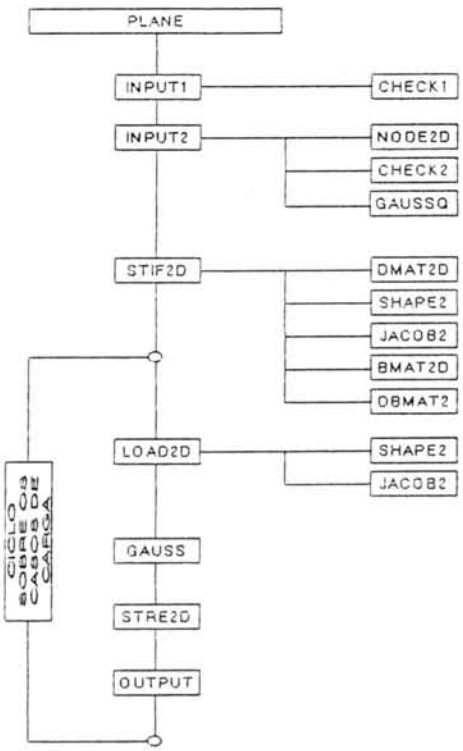
2 - PROGRAMA PLANE

O programa PLANE destina-se a solucionar problemas planos elásticos pelo Método dos Elementos Finitos.

2.1. Estrutura do Programa

É constituído por dezassete módulos: programa principal, sete subrotinas principais e nove subrotinas auxiliares.

FLUXOGRAMA



2.1.1. Descrição do programa

- Programa principal

PLANE - Chama as subrotinas principais e efectua o ciclo sobre os casos de carga

- Subrotinas principais

INPUT1 - Lê os parâmetros de controlo
INPUT2 - Lê os dados referentes à topologia da malha, ligações ao exterior, propriedades materiais dos elementos
STIF2D - Calcula a matriz de rigidez de cada elemento e efectua o seu espalhamento na matriz global
LOAD2D - Calcula o vector de solicitação global devido à acção de forças concentradas nodais, forças gravíticas, forças distribuídas ao longo de lados de elementos, variação de temperatura, assentamentos de apoios
GAUSS - Resolve o sistema de equações pelo método de Gauss
STRE2D - Calcula as tensões nos pontos de Gauss dos elementos
OUTPUT - Escreve os deslocamentos nodais, reacções de apoio e tensões nos pontos de Gauss

- Subrotinas auxiliares

CHECK1 - Verifica os parâmetros de controlo e as dimensões do problema
NODE2D - Gera as coordenadas de nós situados a meio dos lados rectilíneos em elementos de 8 ou 9 nós. Gera as coordenadas do nó central em elementos de 9 nós
CHECK2 - Verifica a topologia da malha
GAUSSQ - Define as coordenadas dos pontos de Gauss e os repectivos pesos para integração pelo método de Gauss-Legendre
DMAT2D - Calcula a matriz D das constantes elásticas
SHAPE2 - Calcula o valor das funções de forma e respectivas derivadas relativamente às coordenadas locais
JACOB2 - Calcula as coordenadas cartesianas dos pontos de Gauss, a matriz Jacobiana, J, e sua inversa e as derivadas cartesianas das funções de forma
BMAT2D - Calcula a matriz B
DBMAT2 - Efectua o produto DxB

2.2. Ficheiro de Dados

Ficheiros em formato livre, com a seguinte estrutura:

1 - Título do problema (3 linhas)

2 - Parâmetros de controlo (1 linha)

NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NNODE, NTYPE, NGAUS, NCASE

- NPOIN = n.º de nós
- NELEM = n.º de elementos
- NVFIX = n.º de nós ligados ao exterior
- NMATS = n.º de materiais
- NNODE = n.º de nós por elemento
- NTYPE = Tipo de problema: 1 = Estado Plano de Tensão
  2 = Estado Plano de Deformação
  3 = Problema Axissimétrico
- NGAUS = n.º de pontos de Gauss
- NCASE = n.º de casos de carga

3 - Características dos elementos (NELEM linhas)

N.º do elemento, N.º do material, N.os dos nós

Nota: Os nós devem ser listados em sentido directo, começando num nó de canto e acabando no nó central, se existir.

4 - Coordenadas dos nós (NPOIN linhas, no máximo)

N.º de nó, Coordenada X, Coordenada Y

- As coordenadas de nós situados no meio de lados rectilíneos em elementos de 8 ou 9 nós podem ser interpoladas a partir dos respectivos nós de canto.
- As coordenadas do nó central de elementos de 9 nós podem ser interpoladas a partir das coordenadas dos restantes nós.
- Tem sempre que se terminar a lista de coordenadas nodais com um nó NPOIN, quer este seja nó de canto ou não.

5 - Ligações ao exterior (NVFIX linhas)

N.º de nó, Código 1 (horizontal)-Código 2(vertical)

1 = deslocamento prescrito.
0 = deslocamento livre.

6 - Características geométricas e mecânicas dos materiais (2 x NMATS linhas)

N.º do material
E, ν, t, ρ, α

E = Módulo de Young
ν = Coeficiente de Poisson
t = Espessura
ρ = Massa específica
α = Coeficiente de dilatação térmica linear

7 - Definição das acções

7.1. Título do caso de carga (1linha)

7.2. Parâmetros de controlo

IPNOD, IGRAV, IEDGE, ITEMP, ISETL, IWRIT

Nota : 1 = Sim
0 = Não (e omite-se o bloco correspondente)

7.3. Forças concentradas aplicadas nos nós

N.º de cargas concentradas (NPNOD) (1 linha)
N.º de nó, Fx, Fy (NPNOD linhas)

7.4. Forças gravíticas

θ, g (1 linha)

θ = ângulo da gravidade com a vertical (sentido directo é o positivo)
g = aceleração da gravidade

7.5. Forças distribuídas aplicadas em lados de elementos

N.º de lados carregados (NEDGE) (1linha)
N.º do elemento, N.º do nó, Pn, Pt (repetir NEDGE vezes)

Pn = Componente normal
Pt = Componente tangencial
- A lista dos nós do lado carregado é dada em sentido directo
- A carga normal Pn é positiva se dirigida para o interior do elemento.

- A carga tangencial Pt é positiva quando dirigida em sentido directo.

7.6. Acção Térmica

N.º de nós com variação de temperatura (NTEMP) (1linha)
N.º de nó, Δt (°C) (NTEMP linhas)

7.7. Assentamentos de apoio

N.º de nós com assentamento (NSETL) (1linha)
N.º de nó, Δx, Δy (NSETL linhas)

Δx - positivo para a direita
Δy - positivo para cima

NOTA: O bloco 7 é repetido NCASE vezes.

2.3. Principais variáveis utilizadas

2.3.1. Variáveis inteiras não indexadas

NCASE = n.º de casos de carga
NDIME = n.º de dimensões do espaço
NDOFN = n.º de graus de liberdade por nó
NELEM = n.º de elementos da malha
NEVAB = n.º de variáveis por elemento
NGAUS = n.º de pontos de Gauss em cada direcção em cada elemento
NMATS = n.º de materiais da malha
NNODE = n.º de nós por elemento
NPOIN = n.º de nós da malha
NPROP = n.º de propriedades de cada material
NSTRE = n.º de componentes da tensão
NTYPE = tipo de problema (E.P.T., E.P.D. ou Axissimetria)
NTOTG = n.º total de pontos de Gauss da malha
NTOTV = n.º total de variáveis da malha
NVFIX = n.º de nós ligados ao exterior

2.3.2. Variáveis inteiras indexadas

IFFIX (ITOTV) = Estado de ligação ao exterior da variável global ITOTV
LNODS (INODE, IELEM) = ligações nodais de cada elemento
MATNO (IELEM) = n.º do material do elemento IELEM

2.3.2. Variáveis reais indexadas

DDISP (ITOTV) = deslocamento referente ao grau de liberdade global ITOTV
FIXED (ITOTV) = deslocamento imposto ao grau de liberdade ITOTV
GLOAD (ITOTV) = vector de solicitação global
POSGP (IGAUS) = posição do ponto de Gauss IGAUS
COORD (IDIM, IPOIN) = coordenada IDIM do nó IPOIN
ESTIF (IEVAB, JEVAB) = coeficiente da matriz de rigidez de um elemento
GSTIF (ITOTV, JTOTV) = coeficiente da matriz de rigidez global
PROPS (IPROP, IMATS) = propriedade IPROP do material IMATS
STRSG (ISTRE, ITOTG) = componente ISTRE da tensão no ponto de Gauss ITOTG da malha

3 - APLICAÇÕES PRÉVIAS COM O PROGRAMA PLANE

3.1. Estudo do comportamento de um cilindro de paredes espessas, admitindo estado plano de deformação

Neste estudo, considerámos dois planos de simetria ortogonais, estudando apenas um quarto da coroa circular.

O estado plano de deformação admitido é razoável porque se considerou uma zona intermédia de um cilindro de grande desenvolvimento longitudinal.

A maior densidade da malha junto à superficie interior visa melhorar a definição das tensões aí desenvolvidas.

As simplificações de simetria implicaram, por questões de continuidade de deslocamentos, a colocação de apoios simples nos nós adjacentes aos planos de simetria.

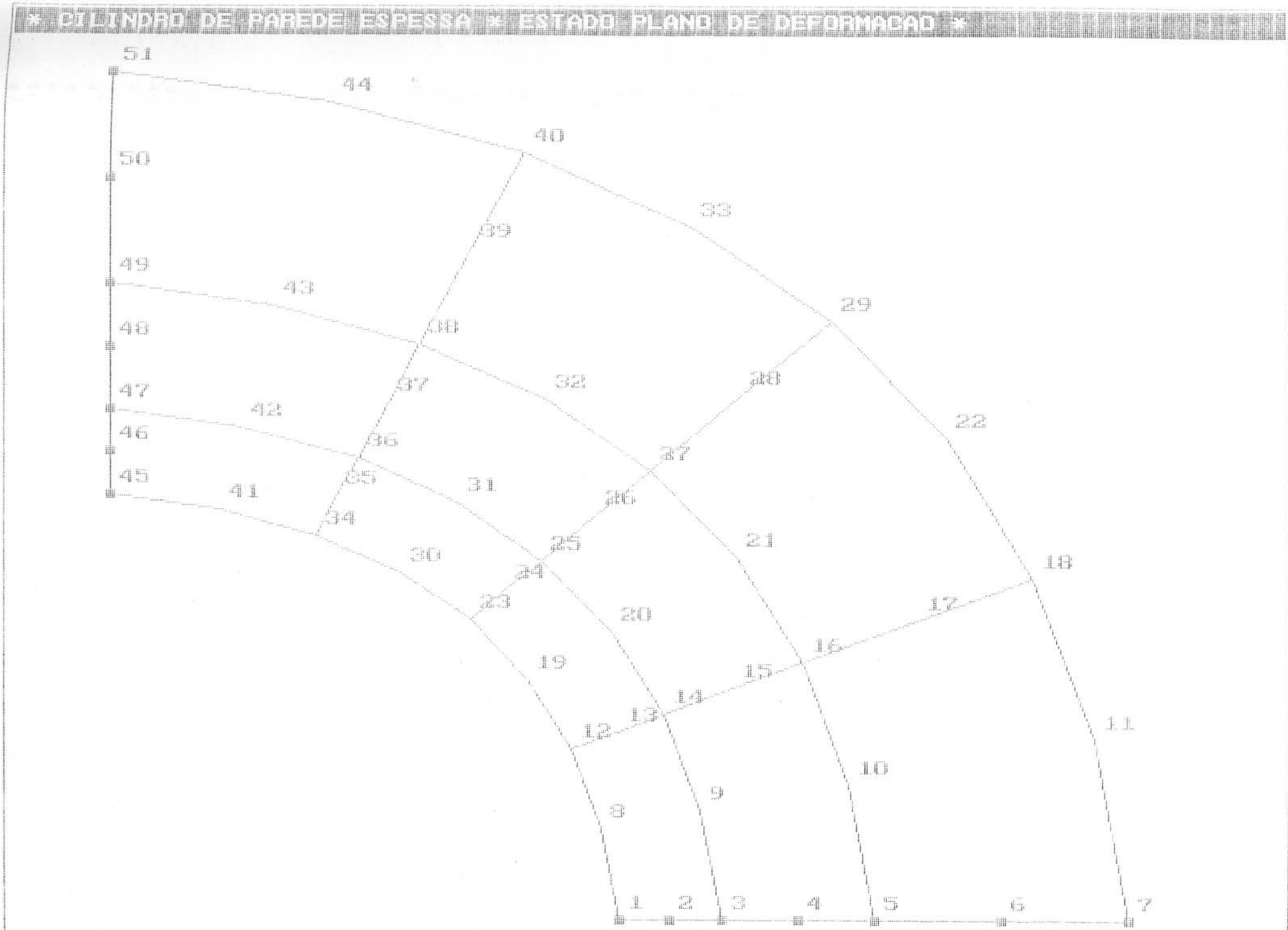
A malha foi gerada pelo programa GEN2D; o respectivo ficheiro é à frente apresentado. Este ficheiro é em parte aproveitado para correr no programa DATTOS3D, que o transforma de forma a poder ser utilizado no programa DRAWMESH, o qual possibilita a visualização da malha.

Considerámos três casos de carga: pressão interior; pressão exterior; pressão interior e exterior.

Na verificação de resultados tivemos em conta os seguintes aspectos:

- Os nós situados à mesma distância radial teriam necessariamente iguais deslocamentos.
- Iguais reacções nos extremos do quarto de coroa circular.

Apresentamos de seguida a malha adoptada e os ficheiros de dados e resultados.


* CILINDRO DE PAREDE ESPESSA * ESTADO PLANO DE DEFORMACAO *
51
44
40
50
33
39
49
43
29
48
38
32
28
47
37
42
22
46
36
27
45
35
31
26
41
34
21
25
30
18
24
23
20
12
19
16
15
14
13
12
11
10
9
8
1
2
3
4
5
6
7

a* CILINDRO DE PAREDE ESPESSA * ESTADO PLANO DE DEFORMACAO *

```
 51 12 14 1 8 2 2 3
  1         1          1     2     3     9    14    13    12     8
  2         1          3     4     5    10    16    15    14     9
  3         1          5     6     7    11    18    17    16    10
  4         1         12    13    14    20    25    24    23    19
  5         1         14    15    16    21    27    26    25    20
  6         1         16    17    18    22    29    28    27    21
  7         1         23    24    25    31    36    35    34    30
  8         1         25    26    27    32    38    37    36    31
  9         1         27    28    29    33    40    39    38    32
 10         1         34    35    36    42    47    46    45    41
 11         1         36    37    38    43    49    48    47    42
 12         1         38    39    40    44    51    50    49    43
  1       10.00000     .00000
  2       11.00000     .00000
  3       12.00000     .00000
  4       13.50000     .00000
  5       15.00000     .00000
  6       17.50000     .00000
  7       20.00000     .00000
  8        9.65609    2.15609
  9       11.58731    2.58731
 10       14.48414    3.23414
 11       19.31218    4.31218
 12        9.05330    4.05330
 13        9.95863    4.45863
 14       10.86396    4.86396
 15       12.22196    5.47196
 16       13.57995    6.07995
 17       15.84328    7.09328
 18       18.10660    8.10660
 19        8.19163    5.69163
 20        9.82995    6.82995
 21       12.28744    8.53744
 22       16.38325   11.38325
 23        7.07107    7.07107
 24        7.77817    7.77817
 25        8.48528    8.48528
 26        9.54594    9.54594
 27       10.60660   10.60660
 28       12.37437   12.37437
 29       14.14214   14.14214
 30        5.69163    8.19163
 31        6.82995    9.82995
 32        8.53744   12.28744
 33       11.38325   16.38325
 34        4.05330    9.05330
 35        4.45863    9.95863
 36        4.86396   10.86396
 37        5.47196   12.22196
 38        6.07995   13.57995
 39        7.09328   15.84328
 40        8.10660   18.10660
 41        2.15609    9.65609
 42        2.58731   11.58731
 43        3.23414   14.48414
 44        4.31218   19.31218
 45         .00000   10.00000
 46         .00000   11.00000
 47         .00000   12.00000
```

```
48        .00000  13.50000
49        .00000  15.00000
50        .00000  17.50000
51        .00000  20.00000
1 01
2 01
3 01
4 01
5 01
6 01
7 01
45 10
46 10
47 10
48 10
49 10
50 10
51 10
1
10000. 0.3 1 0 0
* PRESSAO EXTERIOR E INTERIOR *
0 0 1 0 0 0
8
1  12 10. 0.
    8 10. 0.
    1 10. 0.
4  23 10. 0.
   19 10. 0.
   12 10. 0.
7  34 10. 0.
   30 10. 0.
   23 10. 0.
10 45 10. 0.
   41 10. 0.
   34 10. 0.
3   7 5. 0.
   11 5. 0.
   18 5. 0.
6  18 5. 0.
   22 5. 0.
   29 5. 0.
9  29 5. 0.
   33 5. 0.
   40 5. 0.
12 40 5. 0.
   44 5. 0.
   51 5. 0.
* PRESSAO INTERIOR *
0 0 1 0 0 0
4
1  12 10. 0.
    8 10. 0.
    1 10. 0.
4  23 10. 0.
   19 10. 0.
   12 10. 0.
7  34 10. 0.
   30 10. 0.
   23 10. 0.
10 45 10. 0.
   41 10. 0.
   34 10. 0.
* PRESSAO EXTERIOR *
```

```
 0 0 1 0 0 0
 4
 3    7 5. 0.
     11 5. 0.
     18 5. 0.
 6   18 5. 0.
     22 5. 0.
     29 5. 0.
 9   29 5. 0.
     33 5. 0.
     40 5. 0.
12   40 5. 0.
     44 5. 0.
     51 5. 0.
```

* CILINDRO DE PAREDE ESPESSA * ESTADO PLANO DE DEFORMACAO *

12	51	14								
1	9	1	2	3	9	14	13	12	8	1
2	9	3	4	5	10	16	15	14	9	3
3	9	5	6	7	11	18	17	16	10	5
4	9	12	13	14	20	25	24	23	19	12
5	9	14	15	16	21	27	26	25	20	14
6	9	16	17	18	22	29	28	27	21	16
7	9	23	24	25	31	36	35	34	30	23
8	9	25	26	27	32	38	37	36	31	25
9	9	27	28	29	33	40	39	38	32	27
10	9	34	35	36	42	47	46	45	41	34
11	9	36	37	38	43	49	48	47	42	36
12	9	38	39	40	44	51	50	49	43	38

1	0.00000000	10.00000000	0.00000000
2	0.00000000	11.00000000	0.00000000
3	0.00000000	12.00000000	0.00000000
4	0.00000000	13.50000000	0.00000000
5	0.00000000	15.00000000	0.00000000
6	0.00000000	17.50000000	0.00000000
7	0.00000000	20.00000000	0.00000000
8	0.00000000	9.65608978	2.15609002
9	0.00000000	11.58730984	2.58731008
10	0.00000000	14.48414040	3.23413992
11	0.00000000	19.31217957	4.31218004
12	0.00000000	9.05329990	4.05329990
13	0.00000000	9.95862961	4.45863008
14	0.00000000	10.86396027	4.86395979
15	0.00000000	12.22196007	5.47196007
16	0.00000000	13.57995033	6.07994986
17	0.00000000	15.84327984	7.09327984
18	0.00000000	18.10659981	8.10659981
19	0.00000000	8.19163036	5.69162989
20	0.00000000	9.82995033	6.82994986
21	0.00000000	12.28744030	8.53744030
22	0.00000000	16.38324928	11.38325024
23	0.00000000	7.07107019	7.07107019
24	0.00000000	7.77817011	7.77817011
25	0.00000000	8.48528004	8.48528004
26	0.00000000	9.54594040	9.54594040
27	0.00000000	10.60659981	10.60659981
28	0.00000000	12.37436962	12.37436962
29	0.00000000	14.14214039	14.14214039
30	0.00000000	5.69162989	8.19163036
31	0.00000000	6.82994986	9.82995033
32	0.00000000	8.53744030	12.28744030
33	0.00000000	11.38325024	16.38324928
34	0.00000000	4.05329990	9.05329990
35	0.00000000	4.45863008	9.95862961
36	0.00000000	4.86395979	10.86396027
37	0.00000000	5.47196007	12.22196007
38	0.00000000	6.07994986	13.57995033
39	0.00000000	7.09327984	15.84327984
40	0.00000000	8.10659981	18.10659981
41	0.00000000	2.15609002	9.65608978
42	0.00000000	2.58731008	11.58730984
43	0.00000000	3.23413992	14.48414040
44	0.00000000	4.31218004	19.31217957
45	0.00000000	0.00000000	10.00000000
46	0.00000000	0.00000000	11.00000000
47	0.00000000	0.00000000	12.00000000
48	0.00000000	0.00000000	13.50000000
49	0.00000000	0.00000000	15.00000000
50	0.00000000	0.00000000	17.50000000
51	0.00000000	0.00000000	20.00000000

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	45
9	46
10	47
11	48
12	49
13	50

14 51

```
**********************************************************************
**************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "PLANE"  [versão 4.10]
**************  Ficheiro de dados :      cilepdl.dat   ****   01-23-93
**************  Ficheiro de resultados : cilepdl.resw  ****   01:12:56
**********************************************************************

a* CILINDRO DE PAREDE ESPESSA * ESTADO PLANO DE DEFORMACAO *

**********************************************************************
```

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Nº. total de nós	(NPOIN) =	51
Nº. total de elementos	(NELEM) =	12
Nº. de nós ligados ao exterior	(NVFIX) =	14
Nº. de materiais	(NMATS) =	1
Nº. de nós/elemento	(NNODE) =	8
Tipo de problema	(NTYPE) =	2
Nº de pontos de integração	(NGAUS) =	2
Nº. de casos de carga	(NCASE) =	3
Nº. de graus de liberdade/nó	(NDOFN) =	2
Nº. de coordenadas/nó	(NDIME) =	2
Nº. de propriedades/material	(NPROP) =	5
Nº de componentes da tensão	(NSTRE) =	3
Nº. de variáveis/elemento	(NEVAB) =	16
Nº. total de variáveis	(NTOTV) =	102
Nº. total de pontos de Gauss	(NTOTG) =	48

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle

***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

Elem.	Material	Nós							
1	1	1	2	3	9	14	13	12	8
2	1	3	4	5	10	16	15	14	9
3	1	5	6	7	11	18	17	16	10
4	1	12	13	14	20	25	24	23	19
5	1	14	15	16	21	27	26	25	20
6	1	16	17	18	22	29	28	27	21
7	1	23	24	25	31	36	35	34	30
8	1	25	26	27	32	38	37	36	31
9	1	27	28	29	33	40	39	38	32
10	1	34	35	36	42	47	46	45	41
11	1	36	37	38	43	49	48	47	42
12	1	38	39	40	44	51	50	49	43

*** COORDENADAS NODAIS

Nó	X(m)	Y(m)	Nó	X(m)	Y(m)
1	10.00000	.00000	27	10.60660	10.60660
2	11.00000	.00000	28	12.37437	12.37437
3	12.00000	.00000	29	14.14214	14.14214
4	13.50000	.00000	30	5.69163	8.19163

5	15.00000	.00000	31	6.82995	9.82995
6	17.50000	.00000	32	8.53744	12.28744
7	20.00000	.00000	33	11.38325	16.38325
8	9.65609	2.15609	34	4.05330	9.05330
9	11.58731	2.58731	35	4.45863	9.95863
10	14.48414	3.23414	36	4.86396	10.86396
11	19.31218	4.31218	37	5.47196	12.22196
12	9.05330	4.05330	38	6.07995	13.57995
13	9.95863	4.45863	39	7.09328	15.84328
14	10.86396	4.86396	40	8.10660	18.10660
15	12.22196	5.47196	41	2.15609	9.65609
16	13.57995	6.07995	42	2.58731	11.58731
17	15.84328	7.09328	43	3.23414	14.48414
18	18.10660	8.10660	44	4.31218	19.31218
19	8.19163	5.69163	45	.00000	10.00000
20	9.82995	6.82995	46	.00000	11.00000
21	12.28744	8.53744	47	.00000	12.00000
22	16.38325	11.38325	48	.00000	13.50000
23	7.07107	7.07107	49	.00000	15.00000
24	7.77817	7.77817	50	.00000	17.50000
25	8.48528	8.48528	51	.00000	20.00000
26	9.54594	9.54594			

*** LIGAÇOES AO EXTERIOR

Nó	Cód.
1	01
2	01
3	01
4	01
5	01
6	01
7	01
45	10
46	10
47	10
48	10
49	10
50	10
51	10

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK2" :
*** Não foram detectados erros na topologia da malha

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Mat.	E	v	t	Γ	α
	KPa	-	m	kg/m3	/°C
1	10000.00	.30	1.000	.00	.000000

****

** Caso de carga nº. 1 *

****

* PRESSAO EXTERIOR E INTERIOR *

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL
Nº.de lados carregados = 8

Elem.	Nó	pn	pt
1	12	10.000	.000
	8	10.000	.000
	1	10.000	.000
4	23	10.000	.000
	19	10.000	.000
	12	10.000	.000
7	34	10.000	.000
	30	10.000	.000
	23	10.000	.000
10	45	10.000	.000
	41	10.000	.000
	34	10.000	.000
3	7	5.000	.000
	11	5.000	.000
	18	5.000	.000
6	18	5.000	.000
	22	5.000	.000
	29	5.000	.000
9	29	5.000	.000
	33	5.000	.000
	40	5.000	.000
12	40	5.000	.000
	44	5.000	.000
	51	5.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dx(m)	dy(m)	Nó	dx(m)	dy(m)
1	6.846067E-03	.000000E+00	27	2.146594E-03	2.146594E-03
2	5.902315E-03	.000000E+00	28	1.265526E-03	1.265526E-03
3	5.092806E-03	.000000E+00	29	5.392473E-04	5.392473E-04
4	4.053124E-03	.000000E+00	30	3.792071E-03	5.667345E-03
5	3.162939E-03	.000000E+00	31	2.847637E-03	4.139812E-03
6	1.910495E-03	.000000E+00	32	1.750867E-03	2.542490E-03
7	8.769218E-04	.000000E+00	33	5.059383E-04	6.224470E-04
8	6.835038E-03	1.521728E-03	34	2.688923E-03	6.361536E-03
9	5.092150E-03	1.099141E-03	35	2.374738E-03	5.485622E-03
10	3.166873E-03	7.051808E-04	36	2.078248E-03	4.728376E-03
11	9.064070E-04	2.059308E-04	37	1.652800E-03	3.740673E-03
12	6.361536E-03	2.688923E-03	38	1.290266E-03	2.914560E-03
13	5.485622E-03	2.374738E-03	39	8.025506E-04	1.765907E-03
14	4.728376E-03	2.078248E-03	40	4.291479E-04	7.827820E-04
15	3.740673E-03	1.652800E-03	41	1.521728E-03	6.835038E-03
16	2.914560E-03	1.290266E-03	42	1.099141E-03	5.092150E-03
17	1.765907E-03	8.025506E-04	43	7.051808E-04	3.166873E-03
18	7.827820E-04	4.291479E-04	44	2.059308E-04	9.064070E-04
19	5.667345E-03	3.792071E-03	45	.000000E+00	6.846067E-03
20	4.139812E-03	2.847637E-03	46	.000000E+00	5.902315E-03

21	2.542490E-03	1.750867E-03	47	.000000E+00	5.092806E-03
22	6.224470E-04	5.059383E-04	48	.000000E+00	4.053124E-03
23	4.788100E-03	4.788100E-03	49	.000000E+00	3.162939E-03
24	4.096925E-03	4.096925E-03	50	.000000E+00	1.910495E-03
25	3.521831E-03	3.521831E-03	51	.000000E+00	8.769218E-04
26	2.780703E-03	2.780703E-03			

********** Reacções **********

Nó	Rx(kN)	Ry(kN)
1	.000000E+00	-2.127844E+00
2	.000000E+00	-2.434780E+00
3	.000000E+00	-1.170487E+00
4	.000000E+00	-5.519281E-01
5	.000000E+00	7.773088E-01
6	.000000E+00	3.606038E+00
7	.000000E+00	1.901692E+00
45	-2.127844E+00	.000000E+00
46	-2.434780E+00	.000000E+00
47	-1.170487E+00	.000000E+00
48	-5.519281E-01	.000000E+00
49	7.773088E-01	.000000E+00
50	3.606038E+00	.000000E+00
51	1.901692E+00	.000000E+00

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem. 1	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ
	1	10.30	-9.29831E+00	2.78413E+00	-1.13664E+00	-1.95426E+(
		.98	2.89012E+00	-9.40431E+00	-84.67	
	2	9.73	-8.40438E+00	9.28975E-01	-3.71268E+00	-2.24262E+(
		3.42	2.22568E+00	-9.70108E+00	-70.75	
	3	11.45	-8.20175E+00	1.47444E+00	-9.76423E-01	-2.01819E+(
		1.09	1.57198E+00	-8.29929E+00	-84.29	
	4	10.81	-7.31653E+00	4.54916E-01	-3.16628E+00	-2.05848E+(
		3.80	1.58159E+00	-8.44321E+00	-70.41	

Elem. 2	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ
	1	12.49	-7.43593E+00	7.13254E-01	-7.34820E-01	-2.01680E+(
		1.19	7.78983E-01	-7.50166E+00	-84.89	
	2	11.80	-6.70120E+00	-2.75796E-02	-2.65617E+00	-2.01863E+(
		4.15	9.00529E-01	-7.62930E+00	-70.74	
	3	14.20	-6.52044E+00	-1.48161E-01	-5.92996E-01	-2.00058E+(
		1.35	-9.34478E-02	-6.57516E+00	-84.73	
	4	13.42	-5.90488E+00	-8.21240E-01	-2.05662E+00	-2.01784E+(
		4.72	-9.34223E-02	-6.63270E+00	-70.51	

Elem. 3	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ
	1	15.87	-5.88705E+00	-7.84074E-01	-5.06116E-01	-2.00134E+(
		1.51	-7.34361E-01	-5.93676E+00	-84.39	
	2	15.00	-5.35100E+00	-1.29751E+00	-1.66118E+00	-1.99455E+(
		5.27	-7.03713E-01	-5.94479E+00	-70.33	
	3	18.73	-5.14328E+00	-1.49857E+00	-3.70156E-01	-1.99255E+0
		1.79	-1.46136E+00	-5.18049E+00	-84.26	
	4	17.69	-4.78545E+00	-1.71085E+00	-1.19187E+00	-1.94889E+(
		6.22	-1.30294E+00	-5.19336E+00	-71.11	

Elem. 4	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ

	1	9.09	-6.70201E+00	2.27604E-01	-5.02901E+00	-1.94232E+0
		4.98	2.86983E+00	-9.34423E+00	-62.28	
	2	7.90	-4.09622E+00	-2.07387E+00	-6.26557E+00	-1.85103E+0
		6.80	3.26159E+00	-9.43169E+00	-49.58	
	3	10.10	-6.04097E+00	-6.40306E-01	-4.17415E+00	-2.00438E+0
		5.53	1.63081E+00	-8.31208E+00	-61.45	
	4	8.77	-3.97582E+00	-2.40175E+00	-4.90425E+00	-1.91327E+0
		7.55	1.77822E+00	-8.15579E+00	-49.56	

Elem. 5	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	11.02	-5.53515E+00	-1.16181E+00	-3.58096E+00	-2.00909E+0
		6.04	8.47327E-01	-7.54429E+00	-60.70	
	2	9.57	-3.84309E+00	-2.65035E+00	-4.08132E+00	-1.94803E+0
		8.24	8.77944E-01	-7.37138E+00	-49.16	
	3	12.53	-4.99570E+00	-1.64886E+00	-2.74608E+00	-1.99337E+0
		6.86	-1.06488E-01	-6.53807E+00	-60.68	
	4	10.88	-3.74622E+00	-2.86755E+00	-3.16050E+00	-1.98413E+0
		9.37	-1.16002E-01	-6.49777E+00	-48.96	

Elem. 6	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	14.00	-4.68733E+00	-1.95890E+00	-2.19311E+00	-1.99387E+0
		7.67	-7.40318E-01	-5.90591E+00	-60.94	
	2	12.16	-3.71183E+00	-2.98885E+00	-2.52166E+00	-2.01020E+0
		10.47	-8.02903E-01	-5.89777E+00	-49.08	
	3	16.52	-4.36848E+00	-2.33312E+00	-1.54399E+00	-2.01048E+0
		9.05	-1.50159E+00	-5.20001E+00	-61.69	
	4	14.35	-3.69322E+00	-3.15677E+00	-1.73468E+00	-2.05500E+0
		12.35	-1.66970E+00	-5.18029E+00	-49.39	

Elem. 7	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	6.80	-2.07387E+00	-4.09622E+00	-6.26557E+00	-1.85103E+0
		7.90	3.26159E+00	-9.43169E+00	-40.42	
	2	4.98	2.27604E-01	-6.70201E+00	-5.02901E+00	-1.94232E+0
		9.09	2.86983E+00	-9.34423E+00	-27.72	
	3	7.55	-2.40175E+00	-3.97582E+00	-4.90425E+00	-1.91327E+0
		8.77	1.77822E+00	-8.15579E+00	-40.44	
	4	5.53	-6.40306E-01	-6.04097E+00	-4.17415E+00	-2.00438E+0
		10.10	1.63081E+00	-8.31208E+00	-28.55	

Elem. 8	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	8.24	-2.65035E+00	-3.84309E+00	-4.08132E+00	-1.94803E+0
		9.57	8.77944E-01	-7.37138E+00	-40.84	
	2	6.04	-1.16181E+00	-5.53515E+00	-3.58096E+00	-2.00909E+0
		11.02	8.47327E-01	-7.54429E+00	-29.30	
	3	9.37	-2.86755E+00	-3.74622E+00	-3.16050E+00	-1.98413E+0
		10.88	-1.16002E-01	-6.49777E+00	-41.04	
	4	6.86	-1.64886E+00	-4.99570E+00	-2.74608E+00	-1.99337E+0
		12.53	-1.06488E-01	-6.53807E+00	-29.32	

Elem. 9	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	10.47	-2.98885E+00	-3.71183E+00	-2.52166E+00	-2.01020E+0
		12.16	-8.02903E-01	-5.89777E+00	-40.92	
	2	7.67	-1.95890E+00	-4.68733E+00	-2.19311E+00	-1.99387E+0
		14.00	-7.40318E-01	-5.90591E+00	-29.06	
	3	12.35	-3.15677E+00	-3.69322E+00	-1.73468E+00	-2.05500E+0
		14.35	-1.66970E+00	-5.18029E+00	-40.61	
	4	9.05	-2.33312E+00	-4.36848E+00	-1.54399E+00	-2.01048E+0
		16.52	-1.50159E+00	-5.20001E+00	-28.31	

Elem. 10	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	3.42	9.28975E-01	-8.40438E+00	-3.71268E+00	-2.24262E+0
		9.73	2.22568E+00	-9.70108E+00	-19.25	
	2	.98	2.78413E+00	-9.29831E+00	-1.13664E+00	-1.95426E+0
		10.30	2.89012E+00	-9.40431E+00	-5.33	
	3	3.80	4.54916E-01	-7.31653E+00	-3.16628E+00	-2.05848E+0
		10.81	1.58159E+00	-8.44321E+00	-19.59	
	4	1.09	1.47444E+00	-8.20175E+00	-9.76423E-01	-2.01819E+0
		11.45	1.57198E+00	-8.29929E+00	-5.71	

Elem. 11	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	4.15	-2.75796E-02	-6.70120E+00	-2.65617E+00	-2.01863E+0
		11.80	9.00529E-01	-7.62930E+00	-19.26	
	2	1.19	7.13254E-01	-7.43593E+00	-7.34820E-01	-2.01680E+0
		12.49	7.78983E-01	-7.50166E+00	-5.11	
	3	4.72	-8.21240E-01	-5.90488E+00	-2.05662E+00	-2.01784E+0
		13.42	-9.34223E-02	-6.63270E+00	-19.49	
	4	1.35	-1.48161E-01	-6.52044E+00	-5.92996E-01	-2.00058E+0
		14.20	-9.34478E-02	-6.57516E+00	-5.27	

Elem. 12	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	5.27	-1.29751E+00	-5.35100E+00	-1.66118E+00	-1.99455E+0
		15.00	-7.03713E-01	-5.94479E+00	-19.67	
	2	1.51	-7.84074E-01	-5.88705E+00	-5.06116E-01	-2.00134E+0
		15.87	-7.34361E-01	-5.93676E+00	-5.61	
	3	6.22	-1.71085E+00	-4.78545E+00	-1.19187E+00	-1.94889E+0
		17.69	-1.30294E+00	-5.19336E+00	-18.89	
	4	1.79	-1.49857E+00	-5.14328E+00	-3.70156E-01	-1.99255E+0
		18.73	-1.46136E+00	-5.18049E+00	-5.74	

****

** Caso de carga nº. 2 *

****

* PRESSAO INTERIOR *

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL

Nº.de lados carregados = 4

Elem.	Nó	pn	pt
1	12	10.000	.000
	8	10.000	.000
	1	10.000	.000
4	23	10.000	.000
	19	10.000	.000
	12	10.000	.000

7	34	10.000	.000
	30	10.000	.000
	23	10.000	.000
10	45	10.000	.000
	41	10.000	.000
	34	10.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dx(m)	dy(m)	Nó	dx(m)	dy(m)
1	1.889213E-02	.000000E+00	27	9.808620E-03	9.808620E-03
2	1.752463E-02	.000000E+00	28	8.965724E-03	8.965724E-03
3	1.642561E-02	.000000E+00	29	8.432407E-03	8.432407E-03
4	1.512625E-02	.000000E+00	30	1.054379E-02	1.559434E-02
5	1.412588E-02	.000000E+00	31	9.246849E-03	1.339120E-02
6	1.292099E-02	.000000E+00	32	7.941203E-03	1.147445E-02
7	1.215384E-02	.000000E+00	33	6.931167E-03	9.764184E-03
8	1.869124E-02	4.164624E-03	34	7.485563E-03	1.743079E-02
9	1.620970E-02	3.543683E-03	35	7.067964E-03	1.614973E-02
10	1.386550E-02	3.092114E-03	36	6.685756E-03	1.510601E-02
11	1.185515E-02	2.654195E-03	37	6.151019E-03	1.383676E-02
12	1.743079E-02	7.485563E-03	38	5.742107E-03	1.289069E-02
13	1.614973E-02	7.067964E-03	39	5.293607E-03	1.177032E-02
14	1.510601E-02	6.685756E-03	40	5.073728E-03	1.098100E-02
15	1.383676E-02	6.151019E-03	41	4.164624E-03	1.869124E-02
16	1.289069E-02	5.742107E-03	42	3.543683E-03	1.620970E-02
17	1.177032E-02	5.293607E-03	43	3.092114E-03	1.386550E-02
18	1.098100E-02	5.073728E-03	44	2.654195E-03	1.185515E-02
19	1.559434E-02	1.054379E-02	45	.000000E+00	1.889213E-02
20	1.339120E-02	9.246849E-03	46	.000000E+00	1.752463E-02
21	1.147445E-02	7.941203E-03	47	.000000E+00	1.642561E-02
22	9.764184E-03	6.931167E-03	48	.000000E+00	1.512625E-02
23	1.325316E-02	1.325316E-02	49	.000000E+00	1.412588E-02
24	1.223850E-02	1.223850E-02	50	.000000E+00	1.292099E-02
25	1.145601E-02	1.145601E-02	51	.000000E+00	1.215384E-02
26	1.052530E-02	1.052530E-02			

********** Reacções **********

Nó	Rx(kN)	Ry(kN)
1	.000000E+00	-7.589021E+00
2	.000000E+00	-1.820289E+01
3	.000000E+00	-1.067431E+01
4	.000000E+00	-2.110386E+01
5	.000000E+00	-1.177872E+01
6	.000000E+00	-2.612126E+01
7	.000000E+00	-4.529949E+00
45	-7.589021E+00	.000000E+00
46	-1.820289E+01	.000000E+00
47	-1.067431E+01	.000000E+00
48	-2.110386E+01	.000000E+00
49	-1.177872E+01	.000000E+00
50	-2.612126E+01	.000000E+00
51	-4.529949E+00	.000000E+00

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
1						
	1	10.30	-8.59663E+00	1.55683E+01	-2.27328E+00	2.09149E+0
		.98	1.57802E+01	-8.80862E+00	-84.67	

	2	9.73	-6.80876E+00	1.18579E+01	-7.42537E+00	1.51476E+0
		3.42	1.44514E+01	-9.40217E+00	-70.75	
	3	11.45	-6.40349E+00	1.29489E+01	-1.95285E+00	1.96361E+0
		1.09	1.31440E+01	-6.59859E+00	-84.29	
	4	10.81	-4.63306E+00	1.09098E+01	-6.33255E+00	1.88303E+0
		3.80	1.31632E+01	-6.88641E+00	-70.41	

Elem. 2	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	12.49	-4.87186E+00	1.14265E+01	-1.46964E+00	1.96640E+0
		1.19	1.15580E+01	-5.00331E+00	-84.89	
	2	11.80	-3.40239E+00	9.94484E+00	-5.31233E+00	1.96273E+0
		4.15	1.18011E+01	-5.25861E+00	-70.74	
	3	14.20	-3.04088E+00	9.70368E+00	-1.18599E+00	1.99884E+0
		1.35	9.81310E+00	-3.15031E+00	-84.73	
	4	13.42	-1.80976E+00	8.35752E+00	-4.11324E+00	1.96433E+0
		4.72	9.81316E+00	-3.26539E+00	-70.51	

Elem. 3	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	15.87	-1.77410E+00	8.43185E+00	-1.01223E+00	1.99733E+0
		1.51	8.53128E+00	-1.87352E+00	-84.39	
	2	15.00	-7.01999E-01	7.40498E+00	-3.32237E+00	2.01090E+0
		5.27	8.59257E+00	-1.88959E+00	-70.33	
	3	18.73	-2.86552E-01	7.00286E+00	-7.40312E-01	2.01489E+0
		1.79	7.07728E+00	-3.60978E-01	-84.26	
	4	17.69	4.29099E-01	6.57830E+00	-2.38374E+00	2.10222E+0
		6.22	7.39412E+00	-3.86721E-01	-71.11	

Elem. 4	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	9.09	-3.40401E+00	1.04552E+01	-1.00580E+01	2.11536E+0
		4.98	1.57397E+01	-8.68847E+00	-62.28	
	2	7.90	1.80756E+00	5.85225E+00	-1.25311E+01	2.29794E+0
		6.80	1.65232E+01	-8.86337E+00	-49.58	
	3	10.10	-2.08194E+00	8.71939E+00	-8.34829E+00	1.99123E+0
		5.53	1.32616E+01	-6.62417E+00	-61.45	
	4	8.77	2.04835E+00	5.19651E+00	-9.80851E+00	2.17346E+0
		7.55	1.35564E+01	-6.31158E+00	-49.56	

Elem. 5	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	11.02	-1.07030E+00	7.67637E+00	-7.16193E+00	1.98182E+0
		6.04	1.16947E+01	-5.08858E+00	-60.70	
	2	9.57	2.31382E+00	4.69930E+00	-8.16264E+00	2.10394E+0
		8.24	1.17559E+01	-4.74276E+00	-49.16	
	3	12.53	8.60314E-03	6.70229E+00	-5.49216E+00	2.01327E+0
		6.86	9.78702E+00	-3.07614E+00	-60.68	
	4	10.88	2.50756E+00	4.26489E+00	-6.32099E+00	2.03174E+0
		9.37	9.76800E+00	-2.99555E+00	-48.96	

Elem. 6	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	14.00	6.25338E-01	6.08221E+00	-4.38623E+00	2.01226E+0
		7.67	8.51936E+00	-1.81182E+00	-60.94	
	2	12.16	2.57634E+00	4.02231E+00	-5.04331E+00	1.97959E+0
		10.47	8.39419E+00	-1.79555E+00	-49.08	
	3	16.52	1.26304E+00	5.33376E+00	-3.08798E+00	1.97904E+0
		9.05	6.99682E+00	-4.00022E-01	-61.69	
	4	14.35	2.61357E+00	3.68646E+00	-3.46936E+00	1.89001E+0
		12.35	6.66060E+00	-3.60573E-01	-49.39	

Elem. 7	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z

	1	6.80	5.85225E+00	1.80756E+00	-1.25311E+01	2.29794E+0
		7.90	1.65232E+01	-8.86337E+00	-40.42	
	2	4.98	1.04552E+01	-3.40401E+00	-1.00580E+01	2.11536E+0
		9.09	1.57397E+01	-8.68847E+00	-27.72	
	3	7.55	5.19651E+00	2.04835E+00	-9.80851E+00	2.17346E+0
		8.77	1.35564E+01	-6.31158E+00	-40.44	
	4	5.53	8.71939E+00	-2.08194E+00	-8.34829E+00	1.99123E+0
		10.10	1.32616E+01	-6.62417E+00	-28.55	

Elem. 8	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	8.24	4.69930E+00	2.31382E+00	-8.16264E+00	2.10394E+0
		9.57	1.17559E+01	-4.74276E+00	-40.84	
	2	6.04	7.67637E+00	-1.07030E+00	-7.16193E+00	1.98182E+0
		11.02	1.16947E+01	-5.08858E+00	-29.30	
	3	9.37	4.26489E+00	2.50756E+00	-6.32099E+00	2.03174E+0
		10.88	9.76800E+00	-2.99555E+00	-41.04	
	4	6.86	6.70229E+00	8.60314E-03	-5.49216E+00	2.01327E+0
		12.53	9.78702E+00	-3.07614E+00	-29.32	

Elem. 9	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	10.47	4.02231E+00	2.57634E+00	-5.04331E+00	1.97959E+0
		12.16	8.39419E+00	-1.79555E+00	-40.92	
	2	7.67	6.08221E+00	6.25338E-01	-4.38623E+00	2.01226E+0
		14.00	8.51936E+00	-1.81182E+00	-29.06	
	3	12.35	3.68646E+00	2.61357E+00	-3.46936E+00	1.89001E+0
		14.35	6.66060E+00	-3.60573E-01	-40.61	
	4	9.05	5.33376E+00	1.26304E+00	-3.08798E+00	1.97904E+0
		16.52	6.99682E+00	-4.00022E-01	-28.31	

Elem. 10	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	3.42	1.18579E+01	-6.80876E+00	-7.42537E+00	1.51476E+0
		9.73	1.44514E+01	-9.40217E+00	-19.25	
	2	.98	1.55683E+01	-8.59663E+00	-2.27328E+00	2.09149E+0
		10.30	1.57802E+01	-8.80862E+00	-5.33	
	3	3.80	1.09098E+01	-4.63306E+00	-6.33255E+00	1.88303E+0
		10.81	1.31632E+01	-6.88641E+00	-19.59	
	4	1.09	1.29489E+01	-6.40349E+00	-1.95285E+00	1.96361E+0
		11.45	1.31440E+01	-6.59859E+00	-5.71	

Elem. 11	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	4.15	9.94484E+00	-3.40239E+00	-5.31233E+00	1.96273E+0
		11.80	1.18011E+01	-5.25861E+00	-19.26	
	2	1.19	1.14265E+01	-4.87186E+00	-1.46964E+00	1.96640E+0
		12.49	1.15580E+01	-5.00331E+00	-5.11	
	3	4.72	8.35752E+00	-1.80976E+00	-4.11324E+00	1.96433E+0
		13.42	9.81316E+00	-3.26539E+00	-19.49	
	4	1.35	9.70368E+00	-3.04088E+00	-1.18599E+00	1.99884E+0
		14.20	9.81310E+00	-3.15031E+00	-5.27	

Elem. 12	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	5.27	7.40498E+00	-7.01999E-01	-3.32237E+00	2.01090E+0
		15.00	8.59257E+00	-1.88959E+00	-19.67	
	2	1.51	8.43185E+00	-1.77410E+00	-1.01223E+00	1.99733E+0
		15.87	8.53128E+00	-1.87352E+00	-5.61	
	3	6.22	6.57830E+00	4.29099E-01	-2.38374E+00	2.10222E+0
		17.69	7.39412E+00	-3.86721E-01	-18.89	
	4	1.79	7.00286E+00	-2.86552E-01	-7.40312E-01	2.01489E+0
		18.73	7.07728E+00	-3.60978E-01	-5.74	

** Caso de carga nº. 3 *

* PRESSAO EXTERIOR *

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL
Nº.de lados carregados = 4

Elem.	Nó	pn	pt
3	7	5.000	.000
	11	5.000	.000
	18	5.000	.000
6	18	5.000	.000
	22	5.000	.000
	29	5.000	.000
9	29	5.000	.000
	33	5.000	.000
	40	5.000	.000
12	40	5.000	.000
	44	5.000	.000
	51	5.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dx(m)	dy(m)	Nó	dx(m)	dy(m)
1	-1.204607E-02	.000000E+00	27	-7.662026E-03	-7.662026E-03
2	-1.162232E-02	.000000E+00	28	-7.700198E-03	-7.700198E-03
3	-1.133281E-02	.000000E+00	29	-7.893160E-03	-7.893160E-03
4	-1.107312E-02	.000000E+00	30	-6.751718E-03	-9.926992E-03
5	-1.096294E-02	.000000E+00	31	-6.399212E-03	-9.251386E-03
6	-1.101050E-02	.000000E+00	32	-6.190336E-03	-8.931959E-03
7	-1.127692E-02	.000000E+00	33	-6.425228E-03	-9.141737E-03
8	-1.185620E-02	-2.642895E-03	34	-4.796639E-03	-1.106925E-02
9	-1.111755E-02	-2.444542E-03	35	-4.693226E-03	-1.066411E-02
10	-1.069863E-02	-2.386934E-03	36	-4.607508E-03	-1.037763E-02
11	-1.094874E-02	-2.448264E-03	37	-4.498219E-03	-1.009609E-02
12	-1.106925E-02	-4.796639E-03	38	-4.451840E-03	-9.976134E-03
13	-1.066411E-02	-4.693226E-03	39	-4.491056E-03	-1.000441E-02
14	-1.037763E-02	-4.607508E-03	40	-4.644580E-03	-1.019821E-02
15	-1.009609E-02	-4.498219E-03	41	-2.642895E-03	-1.185620E-02
16	-9.976134E-03	-4.451840E-03	42	-2.444542E-03	-1.111755E-02
17	-1.000441E-02	-4.491056E-03	43	-2.386934E-03	-1.069863E-02
18	-1.019821E-02	-4.644580E-03	44	-2.448264E-03	-1.094874E-02
19	-9.926992E-03	-6.751718E-03	45	.000000E+00	-1.204607E-02
20	-9.251386E-03	-6.399212E-03	46	.000000E+00	-1.162232E-02
21	-8.931959E-03	-6.190336E-03	47	.000000E+00	-1.133281E-02
22	-9.141737E-03	-6.425228E-03	48	.000000E+00	-1.107312E-02
23	-8.465056E-03	-8.465056E-03	49	.000000E+00	-1.096294E-02
24	-8.141573E-03	-8.141573E-03	50	.000000E+00	-1.101050E-02
25	-7.934176E-03	-7.934176E-03	51	.000000E+00	-1.127692E-02

26 -7.744592E-03 -7.744592E-03

********** Reacções **********

Nó	Rx(kN)	Ry(kN)
1	.000000E+00	5.461177E+00
2	.000000E+00	1.576811E+01
3	.000000E+00	9.503820E+00
4	.000000E+00	2.055193E+01
5	.000000E+00	1.255602E+01
6	.000000E+00	2.972730E+01
7	.000000E+00	6.431641E+00
45	5.461177E+00	.000000E+00
46	1.576811E+01	.000000E+00
47	9.503820E+00	.000000E+00
48	2.055193E+01	.000000E+00
49	1.255602E+01	.000000E+00
50	2.972730E+01	.000000E+00
51	6.431641E+00	.000000E+00

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
1	1	10.30	-7.01686E-01	-1.27841E+01	1.13664E+00	-4.04574E+0
		.98	-5.95688E-01	-1.28901E+01	5.33	
	2	9.73	-1.59562E+00	-1.09290E+01	3.71268E+00	-3.75738E+0
		3.42	-2.98916E-01	-1.22257E+01	19.25	
	3	11.45	-1.79825E+00	-1.14744E+01	9.76423E-01	-3.98181E+0
		1.09	-1.70071E+00	-1.15720E+01	5.71	
	4	10.81	-2.68347E+00	-1.04549E+01	3.16628E+00	-3.94152E+0
		3.80	-1.55679E+00	-1.15816E+01	19.59	
Elem.	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
2	1	12.49	-2.56407E+00	-1.07133E+01	7.34820E-01	-3.98320E+0
		1.19	-2.49834E+00	-1.07790E+01	5.11	
	2	11.80	-3.29880E+00	-9.97242E+00	2.65617E+00	-3.98137E+0
		4.15	-2.37070E+00	-1.09005E+01	19.26	
	3	14.20	-3.47956E+00	-9.85184E+00	5.92996E-01	-3.99942E+0
		1.35	-3.42484E+00	-9.90655E+00	5.27	
	4	13.42	-4.09512E+00	-9.17876E+00	2.05662E+00	-3.98216E+0
		4.72	-3.36730E+00	-9.90658E+00	19.49	
Elem.	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
3	1	15.87	-4.11295E+00	-9.21593E+00	5.06116E-01	-3.99866E+0
		1.51	-4.06324E+00	-9.26564E+00	5.61	
	2	15.00	-4.64900E+00	-8.70249E+00	1.66118E+00	-4.00545E+0
		5.27	-4.05521E+00	-9.29629E+00	19.67	
	3	18.73	-4.85672E+00	-8.50143E+00	3.70156E-01	-4.00745E+0
		1.79	-4.81951E+00	-8.53864E+00	5.74	
	4	17.69	-5.21455E+00	-8.28915E+00	1.19187E+00	-4.05111E+0
		6.22	-4.80664E+00	-8.69706E+00	18.89	
Elem.	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
4	1	9.09	-3.29799E+00	-1.02276E+01	5.02901E+00	-4.05768E+0
		4.98	-6.55765E-01	-1.28698E+01	27.72	
	2	7.90	-5.90378E+00	-7.92613E+00	6.26557E+00	-4.14897E+0
		6.80	-5.68313E-01	-1.32616E+01	40.42	

	3	10.10	-3.95903E+00	-9.35969E+00	4.17415E+00	-3.99562E+0
		5.53	-1.68792E+00	-1.16308E+01	28.55	
	4	8.77	-6.02418E+00	-7.59825E+00	4.90425E+00	-4.08673E+0
		7.55	-1.84421E+00	-1.17782E+01	40.44	

Elem. 5	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	11.02	-4.46485E+00	-8.83819E+00	3.58096E+00	-3.99091E+0
		6.04	-2.45571E+00	-1.08473E+01	29.30	
	2	9.57	-6.15691E+00	-7.34965E+00	4.08132E+00	-4.05197E+0
		8.24	-2.62862E+00	-1.08779E+01	40.84	
	3	12.53	-5.00430E+00	-8.35114E+00	2.74608E+00	-4.00663E+0
		6.86	-3.46193E+00	-9.89351E+00	29.32	
	4	10.88	-6.25378E+00	-7.13245E+00	3.16050E+00	-4.01587E+0
		9.37	-3.50223E+00	-9.88400E+00	41.04	

Elem. 6	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	14.00	-5.31267E+00	-8.04110E+00	2.19311E+00	-4.00613E+0
		7.67	-4.09409E+00	-9.25968E+00	29.06	
	2	12.16	-6.28817E+00	-7.01115E+00	2.52166E+00	-3.98980E+0
		10.47	-4.10223E+00	-9.19710E+00	40.92	
	3	16.52	-5.63152E+00	-7.66688E+00	1.54399E+00	-3.98952E+0
		9.05	-4.79999E+00	-8.49841E+00	28.31	
	4	14.35	-6.30678E+00	-6.84323E+00	1.73468E+00	-3.94500E+0
		12.35	-4.81971E+00	-8.33030E+00	40.61	

Elem. 7	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	6.80	-7.92613E+00	-5.90378E+00	6.26557E+00	-4.14897E+0
		7.90	-5.68313E-01	-1.32616E+01	49.58	
	2	4.98	-1.02276E+01	-3.29799E+00	5.02901E+00	-4.05768E+0
		9.09	-6.55765E-01	-1.28698E+01	62.28	
	3	7.55	-7.59825E+00	-6.02418E+00	4.90425E+00	-4.08673E+0
		8.77	-1.84421E+00	-1.17782E+01	49.56	
	4	5.53	-9.35969E+00	-3.95903E+00	4.17415E+00	-3.99562E+0
		10.10	-1.68792E+00	-1.16308E+01	61.45	

Elem. 8	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	8.24	-7.34965E+00	-6.15691E+00	4.08132E+00	-4.05197E+0
		9.57	-2.62862E+00	-1.08779E+01	49.16	
	2	6.04	-8.83819E+00	-4.46485E+00	3.58096E+00	-3.99091E+0
		11.02	-2.45571E+00	-1.08473E+01	60.70	
	3	9.37	-7.13245E+00	-6.25378E+00	3.16050E+00	-4.01587E+0
		10.88	-3.50223E+00	-9.88400E+00	48.96	
	4	6.86	-8.35114E+00	-5.00430E+00	2.74608E+00	-4.00663E+0
		12.53	-3.46193E+00	-9.89351E+00	60.68	

Elem. 9	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	10.47	-7.01115E+00	-6.28817E+00	2.52166E+00	-3.98980E+0
		12.16	-4.10223E+00	-9.19710E+00	49.08	
	2	7.67	-8.04110E+00	-5.31267E+00	2.19311E+00	-4.00613E+0
		14.00	-4.09409E+00	-9.25968E+00	60.94	
	3	12.35	-6.84323E+00	-6.30678E+00	1.73468E+00	-3.94500E+0
		14.35	-4.81971E+00	-8.33030E+00	49.39	
	4	9.05	-7.66688E+00	-5.63152E+00	1.54399E+00	-3.98952E+0
		16.52	-4.79999E+00	-8.49841E+00	61.69	

Elem. 10	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	3.42	-1.09290E+01	-1.59562E+00	3.71268E+00	-3.75738E+0

	9.73	-2.98916E-01	-1.22257E+01	70.75	
2	.98	-1.27841E+01	-7.01686E-01	1.13664E+00	-4.04574E+0
	10.30	-5.95688E-01	-1.28901E+01	84.67	
3	3.80	-1.04549E+01	-2.68347E+00	3.16628E+00	-3.94152E+0
	10.81	-1.55679E+00	-1.15816E+01	70.41	
4	1.09	-1.14744E+01	-1.79825E+00	9.76423E-01	-3.98181E+0
	11.45	-1.70071E+00	-1.15720E+01	84.29	

Elem. 11	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	4.15	-9.97242E+00	-3.29880E+00	2.65617E+00	-3.98137E+0
		11.80	-2.37070E+00	-1.09005E+01	70.74	
	2	1.19	-1.07133E+01	-2.56407E+00	7.34820E-01	-3.98320E+0
		12.49	-2.49834E+00	-1.07790E+01	84.89	
	3	4.72	-9.17876E+00	-4.09512E+00	2.05662E+00	-3.98216E+0
		13.42	-3.36730E+00	-9.90658E+00	70.51	
	4	1.35	-9.85184E+00	-3.47956E+00	5.92996E-01	-3.99942E+0
		14.20	-3.42484E+00	-9.90655E+00	84.73	

Elem. 12	pG	x¦y	σ xx¦σ max	σ yy¦σ min	τ xy¦ang.	σ z
	1	5.27	-8.70249E+00	-4.64900E+00	1.66118E+00	-4.00545E+0
		15.00	-4.05521E+00	-9.29629E+00	70.33	
	2	1.51	-9.21593E+00	-4.11295E+00	5.06116E-01	-3.99866E+0
		15.87	-4.06324E+00	-9.26564E+00	84.39	
	3	6.22	-8.28915E+00	-5.21455E+00	1.19187E+00	-4.05111E+0
		17.69	-4.80664E+00	-8.69706E+00	71.11	
	4	1.79	-8.50143E+00	-4.85672E+00	3.70156E-01	-4.00745E+0
		18.73	-4.81951E+00	-8.53864E+00	84.26	

3.2. Estudo do comportamento de um cilindro de paredes espessas, admitindo Estado Plano Axissimétrico

Neste estudo, considerando axissimetria relativamente ao eixo longitudinal do cilindro, escolheu-se uma malha de forma rectangular, de modo a que a sua rotação em torno daquele eixo gerasse o cilindro de paredes espessas.

Com o intuito de haver um maior controlo de resultados e possibilitar a sua comparação com os resultados de 3.1., teve-se o cuidado de escolher uma malha compatível com a aí utilizada. Pela mesma razão, considerámos também três casos de carga com a mesma solicitação de 3.1..

A colocação de apoios simples nas extremidades da malha (sentido longitudinal) tem como objectivo conferir um razoável confinamento, evitando que, por efeito de Poisson, não fosse legítima a comparação de resultados com 3.1..

A malha foi também gerada pelo programa GEN2D. Tal como no exemplo anterior, recorremos ao programa DRAWMESH para o desenho da malha.

Na verificação de resultados tivemos em conta os seguintes aspectos:

- O deslocamento radial dos pontos situados à mesma distância radial teria de ser igual.
- As reacções verificadas nos apoios superiores teriam de ser iguais, em valor absoluto, às dos apoios inferiores.
- Os deslocamentos segundo o eixo dos ZZ de todos os nós teriam de ser praticamente nulos, devido ao confinamento provocado pela introdução de apoios.

Apresentamos de seguida a malha adoptada e os ficheiros de dados e resultados.


45
46
47
48
49
50
51
41
10
42
11
43
12
44
34
35
36
37
38
39
40
30
7
31
8
32
9
33
23
24
25
26
27
28
29
19
4
20
5
21
6
22
12
13
14
15
16
17
18
8
1
9
2
10
3
11
1
2
3
4
5
6
7

** CILINDRO DE PAREDE ESPESSA ** AXISSIMETRIA **

12	51	14								
1	9	1	2	3	9	14	13	12	8	1
2	9	3	4	5	10	16	15	14	9	3
3	9	5	6	7	11	18	17	16	10	5
4	9	12	13	14	20	25	24	23	19	12
5	9	14	15	16	21	27	26	25	20	14
6	9	16	17	18	22	29	28	27	21	16
7	9	23	24	25	31	36	35	34	30	23
8	9	25	26	27	32	38	37	36	31	25
9	9	27	28	29	33	40	39	38	32	27
10	9	34	35	36	42	47	46	45	41	34
11	9	36	37	38	43	49	48	47	42	36
12	9	38	39	40	44	51	50	49	43	38

1	0.00000000	10.00000000	0.00000000
2	0.00000000	11.00000000	0.00000000
3	0.00000000	12.00000000	0.00000000
4	0.00000000	13.50000000	0.00000000
5	0.00000000	15.00000000	0.00000000
6	0.00000000	17.50000000	0.00000000
7	0.00000000	20.00000000	0.00000000
8	0.00000000	10.00000000	1.25000000
9	0.00000000	12.00000000	1.25000000
10	0.00000000	15.00000000	1.25000000
11	0.00000000	20.00000000	1.25000000
12	0.00000000	10.00000000	2.50000000
13	0.00000000	11.00000000	2.50000000
14	0.00000000	12.00000000	2.50000000
15	0.00000000	13.50000000	2.50000000
16	0.00000000	15.00000000	2.50000000
17	0.00000000	17.50000000	2.50000000
18	0.00000000	20.00000000	2.50000000
19	0.00000000	10.00000000	3.75000000
20	0.00000000	12.00000000	3.75000000
21	0.00000000	15.00000000	3.75000000
22	0.00000000	20.00000000	3.75000000
23	0.00000000	10.00000000	5.00000000
24	0.00000000	11.00000000	5.00000000
25	0.00000000	12.00000000	5.00000000
26	0.00000000	13.50000000	5.00000000
27	0.00000000	15.00000000	5.00000000
28	0.00000000	17.50000000	5.00000000
29	0.00000000	20.00000000	5.00000000
30	0.00000000	10.00000000	6.25000000
31	0.00000000	12.00000000	6.25000000
32	0.00000000	15.00000000	6.25000000
33	0.00000000	20.00000000	6.25000000
34	0.00000000	10.00000000	7.50000000
35	0.00000000	11.00000000	7.50000000
36	0.00000000	12.00000000	7.50000000
37	0.00000000	13.50000000	7.50000000
38	0.00000000	15.00000000	7.50000000
39	0.00000000	17.50000000	7.50000000
40	0.00000000	20.00000000	7.50000000
41	0.00000000	10.00000000	8.75000000
42	0.00000000	12.00000000	8.75000000
43	0.00000000	15.00000000	8.75000000
44	0.00000000	20.00000000	8.75000000
45	0.00000000	10.00000000	10.00000000
46	0.00000000	11.00000000	10.00000000
47	0.00000000	12.00000000	10.00000000
48	0.00000000	13.50000000	10.00000000
49	0.00000000	15.00000000	10.00000000

50	0.00000000	17.50000000	10.00000000
51	0.00000000	20.00000000	10.00000000
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		
8	45		
9	46		
10	47		
11	48		
12	49		
13	50		
14	51		

```
** CILINDRO DE PAREDE ESPESSA  **  AXISSIMETRIA **

 51  12  14  1  8  3  2  3
  1        1          1    2    3    9   14   13   12    8
  2        1          3    4    5   10   16   15   14    9
  3        1          5    6    7   11   18   17   16   10
  4        1         12   13   14   20   25   24   23   19
  5        1         14   15   16   21   27   26   25   20
  6        1         16   17   18   22   29   28   27   21
  7        1         23   24   25   31   36   35   34   30
  8        1         25   26   27   32   38   37   36   31
  9        1         27   28   29   33   40   39   38   32
 10        1         34   35   36   42   47   46   45   41
 11        1         36   37   38   43   49   48   47   42
 12        1         38   39   40   44   51   50   49   43
  1     10.00000     .00000
  2     11.00000     .00000
  3     12.00000     .00000
  4     13.50000     .00000
  5     15.00000     .00000
  6     17.50000     .00000
  7     20.00000     .00000
  8     10.00000    1.25000
  9     12.00000    1.25000
 10     15.00000    1.25000
 11     20.00000    1.25000
 12     10.00000    2.50000
 13     11.00000    2.50000
 14     12.00000    2.50000
 15     13.50000    2.50000
 16     15.00000    2.50000
 17     17.50000    2.50000
 18     20.00000    2.50000
 19     10.00000    3.75000
 20     12.00000    3.75000
 21     15.00000    3.75000
 22     20.00000    3.75000
 23     10.00000    5.00000
 24     11.00000    5.00000
 25     12.00000    5.00000
 26     13.50000    5.00000
 27     15.00000    5.00000
 28     17.50000    5.00000
 29     20.00000    5.00000
 30     10.00000    6.25000
 31     12.00000    6.25000
 32     15.00000    6.25000
 33     20.00000    6.25000
 34     10.00000    7.50000
 35     11.00000    7.50000
 36     12.00000    7.50000
 37     13.50000    7.50000
 38     15.00000    7.50000
 39     17.50000    7.50000
 40     20.00000    7.50000
 41     10.00000    8.75000
 42     12.00000    8.75000
 43     15.00000    8.75000
 44     20.00000    8.75000
 45     10.00000   10.00000
 46     11.00000   10.00000
 47     12.00000   10.00000
 48     13.50000   10.00000
```

```
  49      15.00000   10.00000
  50      17.50000   10.00000
  51      20.00000   10.00000
   1 01
   2 01
   3 01
   4 01
   5 01
   6 01
   7 01
  45 01
  46 01
  47 01
  48 01
  49 01
  50 01
  51 01
   1
   10000.    0.3    1    0    0
  * PRESSAO EXTERIOR E INTERIOR *
  0 0 1 0 0 0
  8
  1   12 10. 0.
       8 10. 0.
       1 10. 0.
  4   23 10. 0.
      19 10. 0.
      12 10. 0.
  7   34 10. 0.
      30 10. 0.
      23 10. 0.
 10   45 10. 0.
      41 10. 0.
      34 10. 0.
  3    7 5. 0.
      11 5. 0.
      18 5. 0.
  6   18 5. 0.
      22 5. 0.
      29 5. 0.
  9   29 5. 0.
      33 5. 0.
      40 5. 0.
 12   40 5. 0.
      44 5. 0.
      51 5. 0.
  * PRESSAO INTERIOR *
 0 0 1 0 0 0
 4
 1   12 10. 0.
      8 10. 0.
      1 10. 0.
 4   23 10. 0.
     19 10. 0.
     12 10. 0.
 7   34 10. 0.
     30 10. 0.
     23 10. 0.
10   45 10. 0.
     41 10. 0.
     34 10. 0.
* PRESSAO EXTERIOR *
0 0 1 0 0 0
4
```

```
  3    7 5. 0.
      11 5. 0.
      18 5. 0.
  6   18 5. 0.
      22 5. 0.
      29 5. 0.
  9   29 5. 0.
      33 5. 0.
      40 5. 0.
 12   40 5. 0.
      44 5. 0.
      51 5. 0.
```

```
**********************************************************************************
**************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "PLANE"  [versão 4.10] ****
**************  Ficheiro de dados :       CILEPD2.DAT   ****   05-20-93   ****
**************  Ficheiro de resultados : CILEPD2.RES   ****   16:17:01   ****
**********************************************************************************

   ** CILINDRO DE PAREDE ESPESSA  **  AXISSIMETRIA **

**********************************************************************************

*** PARAMETROS DE CONTROLE

    Nº. total de nós                  (NPOIN) =   51
    Nº. total de elementos            (NELEM) =   12
    Nº. de nós ligados ao exterior    (NVFIX) =   14
    Nº. de materiais                  (NMATS) =    1
    Nº. de nós/elemento               (NNODE) =    8
    Tipo de problema                  (NTYPE) =    3
    Nº  de pontos de integração       (NGAUS) =    2
    Nº. de casos de carga             (NCASE) =    3

    Nº. de graus de liberdade/nó      (NDOFN) =    2
    Nº. de coordenadas/nó             (NDIME) =    2
    Nº. de propriedades/material      (NPROP) =    5

    Nº  de componentes da tensão      (NSTRE) =    4
    Nº. de variáveis/elemento         (NEVAB) =   16
    Nº. total de variáveis            (NTOTV) =  102
    Nº. total de pontos de Gauss      (NTOTG) =   48

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle
```

***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

Elem.	Material	Nós							
1	1	1	2	3	9	14	13	12	8
2	1	3	4	5	10	16	15	14	9
3	1	5	6	7	11	18	17	16	10
4	1	12	13	14	20	25	24	23	19
5	1	14	15	16	21	27	26	25	20
6	1	16	17	18	22	29	28	27	21
7	1	23	24	25	31	36	35	34	30
8	1	25	26	27	32	38	37	36	31
9	1	27	28	29	33	40	39	38	32
10	1	34	35	36	42	47	46	45	41
11	1	36	37	38	43	49	48	47	42
12	1	38	39	40	44	51	50	49	43

*** COORDENADAS NODAIS

Nó	R(m)	Z(m)	Nó	R(m)	Z(m)
1	10.00000	.00000	27	15.00000	5.00000
2	11.00000	.00000	28	17.50000	5.00000
3	12.00000	.00000	29	20.00000	5.00000
4	13.50000	.00000	30	10.00000	6.25000
5	15.00000	.00000	31	12.00000	6.25000

6	17.50000	.00000
7	20.00000	.00000
8	10.00000	1.25000
9	12.00000	1.25000
10	15.00000	1.25000
11	20.00000	1.25000
12	10.00000	2.50000
13	11.00000	2.50000
14	12.00000	2.50000
15	13.50000	2.50000
16	15.00000	2.50000
17	17.50000	2.50000
18	20.00000	2.50000
19	10.00000	3.75000
20	12.00000	3.75000
21	15.00000	3.75000
22	20.00000	3.75000
23	10.00000	5.00000
24	11.00000	5.00000
25	12.00000	5.00000
26	13.50000	5.00000
32	15.00000	6.25000
33	20.00000	6.25000
34	10.00000	7.50000
35	11.00000	7.50000
36	12.00000	7.50000
37	13.50000	7.50000
38	15.00000	7.50000
39	17.50000	7.50000
40	20.00000	7.50000
41	10.00000	8.75000
42	12.00000	8.75000
43	15.00000	8.75000
44	20.00000	8.75000
45	10.00000	10.00000
46	11.00000	10.00000
47	12.00000	10.00000
48	13.50000	10.00000
49	15.00000	10.00000
50	17.50000	10.00000
51	20.00000	10.00000

*** LIGAÇOES AO EXTERIOR

Nó	Cód.
1	01
2	01
3	01
4	01
5	01
6	01
7	01
45	01
46	01
47	01
48	01
49	01
50	01
51	01

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK2" :
*** Não foram detectados erros na topologia da malha

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Mat.	E KPa	ν -	t m	Γ kg/m3	α /°C
1	10000.00	.30	1.000	.00	.000000

****

** Caso de carga nº. 1 **

****

* PRESSAO EXTERIOR E INTERIOR *

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL
Nº.de lados carregados = 8

Elem.	Nó	pn	pt
1	12	10.000	.000
	8	10.000	.000
	1	10.000	.000
4	23	10.000	.000
	19	10.000	.000
	12	10.000	.000
7	34	10.000	.000
	30	10.000	.000
	23	10.000	.000
10	45	10.000	.000
	41	10.000	.000
	34	10.000	.000
3	7	5.000	.000
	11	5.000	.000
	18	5.000	.000
6	18	5.000	.000
	22	5.000	.000
	29	5.000	.000
9	29	5.000	.000
	33	5.000	.000
	40	5.000	.000
12	40	5.000	.000
	44	5.000	.000
	51	5.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dr(m)	dz(m)	Nó	dr(m)	dz(m)
1	6.933333E-03	.000000E+00	27	3.177778E-03	1.298704E-18
2	5.972121E-03	.000000E+00	28	1.919048E-03	5.120473E-19
3	5.142222E-03	.000000E+00	29	8.666667E-04	-1.215081E-18
4	4.079753E-03	.000000E+00	30	6.933333E-03	-4.805377E-19
5	3.177778E-03	.000000E+00	31	5.142222E-03	2.344283E-18
6	1.919048E-03	.000000E+00	32	3.177778E-03	9.406817E-19
7	8.666667E-04	.000000E+00	33	8.666667E-04	-9.847787E-19
8	6.933333E-03	-3.320989E-19	34	6.933333E-03	-7.247241E-20
9	5.142222E-03	1.555145E-18	35	5.972121E-03	-2.147059E-19
10	3.177778E-03	7.132315E-19	36	5.142222E-03	7.072050E-19
11	8.666667E-04	-2.551588E-19	37	4.079753E-03	1.077613E-18
12	6.933333E-03	-8.188079E-19	38	3.177778E-03	1.012660E-18
13	5.972121E-03	3.201125E-19	39	1.919048E-03	1.268525E-19
14	5.142222E-03	1.302817E-18	40	8.666667E-04	-7.678552E-19
15	4.079753E-03	2.062993E-18	41	6.933333E-03	-4.886196E-19
16	3.177778E-03	1.593846E-18	42	5.142222E-03	4.611210E-19
17	1.919048E-03	-3.950489E-19	43	3.177778E-03	7.035476E-19
18	8.666667E-04	-1.305256E-19	44	8.666667E-04	-5.035622E-19
19	6.933333E-03	-9.877744E-19	45	6.933333E-03	.000000E+00
20	5.142222E-03	9.563267E-19	46	5.972121E-03	.000000E+00
21	3.177778E-03	1.948997E-18	47	5.142222E-03	.000000E+00
22	8.666667E-04	-8.630246E-19	48	4.079753E-03	.000000E+00

23	6.933333E-03	-1.049632E-18	49	3.177778E-03	.000000E+00
24	5.972121E-03	8.876501E-19	50	1.919048E-03	.000000E+00
25	5.142222E-03	1.740202E-18	51	8.666667E-04	.000000E+00
26	4.079753E-03	1.537844E-18			

********** Reacções **********

Nó	Rr(kN)	Rz(kN)
1	.000000E+00	4.188790E+01
2	.000000E+00	1.843068E+02
3	.000000E+00	1.256637E+02
4	.000000E+00	3.392920E+02
5	.000000E+00	2.513274E+02
6	.000000E+00	7.330383E+02
7	.000000E+00	2.094395E+02
45	.000000E+00	-4.188790E+01
46	.000000E+00	-1.843068E+02
47	.000000E+00	-1.256637E+02
48	.000000E+00	-3.392920E+02
49	.000000E+00	-2.513274E+02
50	.000000E+00	-7.330383E+02
51	.000000E+00	-2.094395E+02

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
1	1	10.42	-9.47207E+00	-2.00000E+00	1.46366E-14	2.80540E+00
		.53	-2.00000E+00	-9.47207E+00	90.00	
	2	10.42	-9.47207E+00	-2.00000E+00	-3.15487E-14	2.80540E+00
		1.97	-2.00000E+00	-9.47207E+00	90.00	
	3	11.58	-8.30571E+00	-2.00000E+00	4.25768E-16	1.63904E+00
		.53	-2.00000E+00	-8.30571E+00	90.00	
	4	11.58	-8.30571E+00	-2.00000E+00	-4.90330E-15	1.63904E+00
		1.97	-2.00000E+00	-8.30571E+00	90.00	
Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
2	1	12.63	-7.51222E+00	-2.00000E+00	-3.10554E-15	8.45556E-01
		.53	-2.00000E+00	-7.51222E+00	90.00	
	2	12.63	-7.51222E+00	-2.00000E+00	5.77624E-15	8.45556E-01
		1.97	-2.00000E+00	-7.51222E+00	90.00	
	3	14.37	-6.56185E+00	-2.00000E+00	-8.85095E-16	-1.04815E-01
		.53	-2.00000E+00	-6.56185E+00	90.00	
	4	14.37	-6.56185E+00	-2.00000E+00	3.55580E-15	-1.04815E-01
		1.97	-2.00000E+00	-6.56185E+00	90.00	
Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
3	1	16.06	-5.92213E+00	-2.00000E+00	3.18695E-15	-7.44540E-01
		.53	-2.00000E+00	-5.92213E+00	90.00	
	2	16.06	-5.92213E+00	-2.00000E+00	1.41060E-15	-7.44540E-01
		1.97	-2.00000E+00	-5.92213E+00	90.00	
	3	18.94	-5.18898E+00	-2.00000E+00	5.22419E-16	-1.47768E+00
		.53	-2.00000E+00	-5.18898E+00	90.00	
	4	18.94	-5.18898E+00	-2.00000E+00	-3.03029E-15	-1.47768E+00
		1.97	-2.00000E+00	-5.18898E+00	90.00	
Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
4	1	10.42	-9.47207E+00	-2.00000E+00	1.54772E-14	2.80540E+00

	3.03	-2.00000E+00	-9.47207E+00	90.00	
2	10.42	-9.47207E+00	-2.00000E+00	-2.28634E-15	2.80540E+00
	4.47	-2.00000E+00	-9.47207E+00	90.00	
3	11.58	-8.30571E+00	-2.00000E+00	-1.39816E-15	1.63904E+00
	3.03	-2.00000E+00	-8.30571E+00	90.00	
4	11.58	-8.30571E+00	-2.00000E+00	-3.17451E-15	1.63904E+00
	4.47	-2.00000E+00	-8.30571E+00	90.00	

Elem. 5	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	12.63	-7.51222E+00	-2.00000E+00	-4.37009E-15	8.45556E-01
		3.03	-2.00000E+00	-7.51222E+00	90.00	
	2	12.63	-7.51222E+00	-2.00000E+00	-2.59373E-15	8.45556E-01
		4.47	-2.00000E+00	-7.51222E+00	90.00	
	3	14.37	-6.56185E+00	-2.00000E+00	-3.48191E-15	-1.04815E-01
		3.03	-2.00000E+00	-6.56185E+00	90.00	
	4	14.37	-6.56185E+00	-2.00000E+00	-3.03782E-15	-1.04815E-01
		4.47	-2.00000E+00	-6.56185E+00	90.00	

Elem. 6	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	16.06	-5.92213E+00	-2.00000E+00	-2.77584E-15	-7.44540E-01
		3.03	-2.00000E+00	-5.92213E+00	90.00	
	2	16.06	-5.92213E+00	-2.00000E+00	-4.55220E-15	-7.44540E-01
		4.47	-2.00000E+00	-5.92213E+00	90.00	
	3	18.94	-5.18898E+00	-2.00000E+00	2.55323E-15	-1.47768E+00
		3.03	-2.00000E+00	-5.18898E+00	90.00	
	4	18.94	-5.18898E+00	-2.00000E+00	-1.88766E-15	-1.47768E+00
		4.47	-2.00000E+00	-5.18898E+00	90.00	

Elem. 7	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	10.42	-9.47207E+00	-2.00000E+00	1.12742E-14	2.80540E+00
		5.53	-2.00000E+00	-9.47207E+00	90.00	
	2	10.42	-9.47207E+00	-2.00000E+00	-2.42529E-14	2.80540E+00
		6.97	-2.00000E+00	-9.47207E+00	90.00	
	3	11.58	-8.30571E+00	-2.00000E+00	5.05697E-15	1.63904E+00
		5.53	-2.00000E+00	-8.30571E+00	90.00	
	4	11.58	-8.30571E+00	-2.00000E+00	-2.04846E-15	1.63904E+00
		6.97	-2.00000E+00	-8.30571E+00	90.00	

Elem. 8	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	12.63	-7.51222E+00	-2.00000E+00	5.10177E-15	8.45556E-01
		5.53	-2.00000E+00	-7.51222E+00	90.00	
	2	12.63	-7.51222E+00	-2.00000E+00	1.54905E-15	8.45556E-01
		6.97	-2.00000E+00	-7.51222E+00	90.00	
	3	14.37	-6.56185E+00	-2.00000E+00	1.99314E-15	-1.04815E-01
		5.53	-2.00000E+00	-6.56185E+00	90.00	
	4	14.37	-6.56185E+00	-2.00000E+00	7.32221E-15	-1.04815E-01
		6.97	-2.00000E+00	-6.56185E+00	90.00	

Elem. 9	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	16.06	-5.92213E+00	-2.00000E+00	-4.82401E-16	-7.44540E-01
		5.53	-2.00000E+00	-5.92213E+00	90.00	
	2	16.06	-5.92213E+00	-2.00000E+00	4.84667E-15	-7.44540E-01
		6.97	-2.00000E+00	-5.92213E+00	90.00	
	3	18.94	-5.18898E+00	-2.00000E+00	3.07031E-15	-1.47768E+00
		5.53	-2.00000E+00	-5.18898E+00	90.00	
	4	18.94	-5.18898E+00	-2.00000E+00	8.49867E-16	-1.47768E+00
		6.97	-2.00000E+00	-5.18898E+00	90.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
10						
	1	10.42	-9.47207E+00	-2.00000E+00	4.68117E-14	2.80540E+00
		8.03	-2.00000E+00	-9.47207E+00	90.00	
	2	10.42	-9.47207E+00	-2.00000E+00	-4.55588E-14	2.80540E+00
		9.47	-2.00000E+00	-9.47207E+00	90.00	
	3	11.58	-8.30571E+00	-2.00000E+00	1.83900E-14	1.63904E+00
		8.03	-2.00000E+00	-8.30571E+00	90.00	
	4	11.58	-8.30571E+00	-2.00000E+00	-8.25535E-15	1.63904E+00
		9.47	-2.00000E+00	-8.30571E+00	90.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
11						
	1	12.63	-7.51222E+00	-2.00000E+00	-3.94121E-16	8.45556E-01
		8.03	-2.00000E+00	-7.51222E+00	90.00	
	2	12.63	-7.51222E+00	-2.00000E+00	4.93495E-15	8.45556E-01
		9.47	-2.00000E+00	-7.51222E+00	90.00	
	3	14.37	-6.56185E+00	-2.00000E+00	-5.72319E-15	-1.04815E-01
		8.03	-2.00000E+00	-6.56185E+00	90.00	
	4	14.37	-6.56185E+00	-2.00000E+00	6.26722E-15	-1.04815E-01
		9.47	-2.00000E+00	-6.56185E+00	90.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
12						
	1	16.06	-5.92213E+00	-2.00000E+00	-3.91351E-15	-7.44540E-01
		8.03	-2.00000E+00	-5.92213E+00	90.00	
	2	16.06	-5.92213E+00	-2.00000E+00	4.96828E-15	-7.44540E-01
		9.47	-2.00000E+00	-5.92213E+00	90.00	
	3	18.94	-5.18898E+00	-2.00000E+00	2.30374E-15	-1.47768E+00
		8.03	-2.00000E+00	-5.18898E+00	90.00	
	4	18.94	-5.18898E+00	-2.00000E+00	-3.46942E-15	-1.47768E+00
		9.47	-2.00000E+00	-5.18898E+00	90.00	

****

** Caso de carga nº. 2 **

****

* PRESSAO INTERIOR *

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL

Nº.de lados carregados = 4

Elem.	Nó	pn	pt
1	12	10.000	.000
	8	10.000	.000
	1	10.000	.000
4	23	10.000	.000
	19	10.000	.000
	12	10.000	.000
7	34	10.000	.000

	30	10.000	.000
	23	10.000	.000
10	45	10.000	.000
	41	10.000	.000
	34	10.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dr(m)	dz(m)	Nó	dr(m)	dz(m)
1	1.906667E-02	.000000E+00	27	1.415556E-02	4.554072E-18
2	1.766424E-02	.000000E+00	28	1.293810E-02	-6.766887E-19
3	1.652444E-02	.000000E+00	29	1.213333E-02	-2.449034E-19
4	1.517951E-02	.000000E+00	30	1.906667E-02	1.169930E-18
5	1.415556E-02	.000000E+00	31	1.652444E-02	7.798100E-18
6	1.293810E-02	.000000E+00	32	1.415556E-02	3.229699E-18
7	1.213333E-02	.000000E+00	33	1.213333E-02	-2.360736E-18
8	1.906667E-02	-1.157843E-18	34	1.906667E-02	5.797792E-19
9	1.652444E-02	7.286612E-18	35	1.766424E-02	-4.294117E-19
10	1.415556E-02	1.611068E-18	36	1.652444E-02	2.705828E-18
11	1.213333E-02	-1.180631E-19	37	1.517951E-02	2.123059E-18
12	1.906667E-02	1.595520E-19	38	1.415556E-02	2.625416E-18
13	1.766424E-02	2.714985E-18	39	1.293810E-02	5.798973E-19
14	1.652444E-02	5.835913E-18	40	1.213333E-02	-3.444584E-18
15	1.517951E-02	6.498584E-18	41	1.906667E-02	-7.205450E-20
16	1.415556E-02	4.884226E-18	42	1.652444E-02	1.017152E-18
17	1.293810E-02	-2.518958E-18	43	1.415556E-02	1.641611E-18
18	1.213333E-02	1.751433E-18	44	1.213333E-02	-1.709060E-18
19	1.906667E-02	-8.950212E-19	45	1.906667E-02	.000000E+00
20	1.652444E-02	4.306144E-18	46	1.766424E-02	.000000E+00
21	1.415556E-02	6.431563E-18	47	1.652444E-02	.000000E+00
22	1.213333E-02	8.513825E-20	48	1.517951E-02	.000000E+00
23	1.906667E-02	-9.790408E-19	49	1.415556E-02	.000000E+00
24	1.766424E-02	3.122916E-18	50	1.293810E-02	.000000E+00
25	1.652444E-02	5.959358E-18	51	1.213333E-02	.000000E+00
26	1.517951E-02	6.414886E-18			

********** Reacções **********

Nó	Rr(kN)	Rz(kN)
1	.000000E+00	-4.188790E+01
2	.000000E+00	-1.843068E+02
3	.000000E+00	-1.256637E+02
4	.000000E+00	-3.392920E+02
5	.000000E+00	-2.513274E+02
6	.000000E+00	-7.330383E+02
7	.000000E+00	-2.094395E+02
45	.000000E+00	4.188790E+01
46	.000000E+00	1.843068E+02
47	.000000E+00	1.256637E+02
48	.000000E+00	3.392920E+02
49	.000000E+00	2.513274E+02
50	.000000E+00	7.330383E+02
51	.000000E+00	2.094395E+02

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
1						
	1	10.42	-8.94414E+00	2.00000E+00	2.99061E-14	1.56108E+01
		.53	2.00000E+00	-8.94414E+00	90.00	
	2	10.42	-8.94414E+00	2.00000E+00	-8.37807E-14	1.56108E+01
		1.97	2.00000E+00	-8.94414E+00	90.00	

	3	11.58	-6.61141E+00	2.00000E+00	1.92480E-14	1.32781E+01
		.53	2.00000E+00	-6.61141E+00	90.00	
	4	11.58	-6.61141E+00	2.00000E+00	-5.62101E-15	1.32781E+01
		1.97	2.00000E+00	-6.61141E+00	90.00	
Elem. 2	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	12.63	-5.02444E+00	2.00000E+00	1.50884E-14	1.16911E+01
		.53	2.00000E+00	-5.02444E+00	90.00	
	2	12.63	-5.02444E+00	2.00000E+00	1.50884E-14	1.16911E+01
		1.97	2.00000E+00	-5.02444E+00	90.00	
	3	14.37	-3.12370E+00	2.00000E+00	1.33121E-14	9.79037E+00
		.53	2.00000E+00	-3.12370E+00	90.00	
	4	14.37	-3.12370E+00	2.00000E+00	9.75934E-15	9.79037E+00
		1.97	2.00000E+00	-3.12370E+00	90.00	
Elem. 3	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	16.06	-1.84425E+00	2.00000E+00	2.04901E-14	8.51092E+00
		.53	2.00000E+00	-1.84425E+00	90.00	
	2	16.06	-1.84425E+00	2.00000E+00	-8.26189E-16	8.51092E+00
		1.97	2.00000E+00	-1.84425E+00	90.00	
	3	18.94	-3.77968E-01	2.00000E+00	4.50288E-15	7.04463E+00
		.53	2.00000E+00	-3.77968E-01	90.00	
	4	18.94	-3.77968E-01	2.00000E+00	-1.32607E-14	7.04463E+00
		1.97	2.00000E+00	-3.77968E-01	90.00	
Elem. 4	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	10.42	-8.94414E+00	2.00000E+00	5.79909E-14	1.56108E+01
		3.03	2.00000E+00	-8.94414E+00	90.00	
	2	10.42	-8.94414E+00	2.00000E+00	-5.95796E-15	1.56108E+01
		4.47	2.00000E+00	-8.94414E+00	90.00	
	3	11.58	-6.61141E+00	2.00000E+00	1.14746E-15	1.32781E+01
		3.03	2.00000E+00	-6.61141E+00	90.00	
	4	11.58	-6.61141E+00	2.00000E+00	1.14746E-15	1.32781E+01
		4.47	2.00000E+00	-6.61141E+00	90.00	
Elem. 5	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	12.63	-5.02444E+00	2.00000E+00	-1.07859E-14	1.16911E+01
		3.03	2.00000E+00	-5.02444E+00	90.00	
	2	12.63	-5.02444E+00	2.00000E+00	3.42496E-15	1.16911E+01
		4.47	2.00000E+00	-5.02444E+00	90.00	
	3	14.37	-3.12370E+00	2.00000E+00	-3.56549E-14	9.79037E+00
		3.03	2.00000E+00	-3.12370E+00	90.00	
	4	14.37	-3.12370E+00	2.00000E+00	5.20132E-15	9.79037E+00
		4.47	2.00000E+00	-3.12370E+00	90.00	
Elem. 6	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	16.06	-1.84425E+00	2.00000E+00	-2.46145E-14	8.51092E+00
		3.03	2.00000E+00	-1.84425E+00	90.00	
	2	16.06	-1.84425E+00	2.00000E+00	-1.04037E-14	8.51092E+00
		4.47	2.00000E+00	-1.84425E+00	90.00	
	3	18.94	-3.77968E-01	2.00000E+00	1.80180E-14	7.04463E+00
		3.03	2.00000E+00	-3.77968E-01	90.00	
	4	18.94	-3.77968E-01	2.00000E+00	-5.07459E-15	7.04463E+00
		4.47	2.00000E+00	-3.77968E-01	90.00	
Elem. 7	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	10.42	-8.94414E+00	2.00000E+00	-1.49991E-15	1.56108E+01

		5.53	2.00000E+00	-8.94414E+00	90.00	
	2	10.42	-8.94414E+00	2.00000E+00	-8.67650E-14	1.56108E+01
		6.97	2.00000E+00	-8.94414E+00	90.00	
	3	11.58	-6.61141E+00	2.00000E+00	1.27109E-14	1.32781E+01
		5.53	2.00000E+00	-6.61141E+00	90.00	
	4	11.58	-6.61141E+00	2.00000E+00	-8.60534E-15	1.32781E+01
		6.97	2.00000E+00	-6.61141E+00	90.00	
Elem. 8	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	12.63	-5.02444E+00	2.00000E+00	7.54581E-15	1.16911E+01
		5.53	2.00000E+00	-5.02444E+00	90.00	
	2	12.63	-5.02444E+00	2.00000E+00	4.40385E-16	1.16911E+01
		6.97	2.00000E+00	-5.02444E+00	90.00	
	3	14.37	-3.12370E+00	2.00000E+00	-3.11233E-15	9.79037E+00
		5.53	2.00000E+00	-3.12370E+00	90.00	
	4	14.37	-3.12370E+00	2.00000E+00	2.70857E-14	9.79037E+00
		6.97	2.00000E+00	-3.12370E+00	90.00	
Elem. 9	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	16.06	-1.84425E+00	2.00000E+00	-1.65626E-15	8.51092E+00
		5.53	2.00000E+00	-1.84425E+00	90.00	
	2	16.06	-1.84425E+00	2.00000E+00	1.96600E-14	8.51092E+00
		6.97	2.00000E+00	-1.84425E+00	90.00	
	3	18.94	-3.77968E-01	2.00000E+00	2.67655E-14	7.04463E+00
		5.53	2.00000E+00	-3.77968E-01	90.00	
	4	18.94	-3.77968E-01	2.00000E+00	-5.20897E-15	7.04463E+00
		6.97	2.00000E+00	-3.77968E-01	90.00	
Elem. 10	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	10.42	-8.94414E+00	2.00000E+00	1.42201E-13	1.56108E+01
		8.03	2.00000E+00	-8.94414E+00	90.00	
	2	10.42	-8.94414E+00	2.00000E+00	-1.34911E-13	1.56108E+01
		9.47	2.00000E+00	-8.94414E+00	90.00	
	3	11.58	-6.61141E+00	2.00000E+00	5.33831E-14	1.32781E+01
		8.03	2.00000E+00	-6.61141E+00	90.00	
	4	11.58	-6.61141E+00	2.00000E+00	-2.83293E-14	1.32781E+01
		9.47	2.00000E+00	-6.61141E+00	90.00	
Elem. 11	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	12.63	-5.02444E+00	2.00000E+00	-8.69361E-16	1.16911E+01
		8.03	2.00000E+00	-5.02444E+00	90.00	
	2	12.63	-5.02444E+00	2.00000E+00	1.33415E-14	1.16911E+01
		9.47	2.00000E+00	-5.02444E+00	90.00	
	3	14.37	-3.12370E+00	2.00000E+00	-1.86329E-14	9.79037E+00
		8.03	2.00000E+00	-3.12370E+00	90.00	
	4	14.37	-3.12370E+00	2.00000E+00	9.78878E-15	9.79037E+00
		9.47	2.00000E+00	-3.12370E+00	90.00	
Elem. 12	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	16.06	-1.84425E+00	2.00000E+00	-2.21581E-14	8.51092E+00
		8.03	2.00000E+00	-1.84425E+00	90.00	
	2	16.06	-1.84425E+00	2.00000E+00	1.33690E-14	8.51092E+00
		9.47	2.00000E+00	-1.84425E+00	90.00	
	3	18.94	-3.77968E-01	2.00000E+00	9.34505E-16	7.04463E+00
		8.03	2.00000E+00	-3.77968E-01	90.00	
	4	18.94	-3.77968E-01	2.00000E+00	-1.68291E-14	7.04463E+00
		9.47	2.00000E+00	-3.77968E-01	90.00	

****

** Caso de carga nº. 3 **

****

* PRESSAO EXTERIOR *

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL

Nº.de lados carregados = 4

Elem.	Nó	pn	pt
3	7	5.000	.000
	11	5.000	.000
	18	5.000	.000
6	18	5.000	.000
	22	5.000	.000
	29	5.000	.000
9	29	5.000	.000
	33	5.000	.000
	40	5.000	.000
12	40	5.000	.000
	44	5.000	.000
	51	5.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dr(m)	dz(m)	Nó	dr(m)	dz(m)
1	-1.213333E-02	.000000E+00	27	-1.097778E-02	-2.014140E-18
2	-1.169212E-02	.000000E+00	28	-1.101905E-02	1.341696E-18
3	-1.138222E-02	.000000E+00	29	-1.126667E-02	1.888830E-18
4	-1.109975E-02	.000000E+00	30	-1.213333E-02	-1.544361E-18
5	-1.097778E-02	.000000E+00	31	-1.138222E-02	-5.720482E-18
6	-1.101905E-02	.000000E+00	32	-1.097778E-02	-2.133999E-18
7	-1.126667E-02	.000000E+00	33	-1.126667E-02	3.071487E-18
8	-1.213333E-02	9.250314E-19	34	-1.213333E-02	-4.348344E-19
9	-1.138222E-02	-5.956197E-18	35	-1.169212E-02	4.294117E-20
10	-1.097778E-02	-7.238599E-19	36	-1.138222E-02	-2.459843E-18
11	-1.126667E-02	-3.555400E-19	37	-1.109975E-02	-2.380400E-18
12	-1.213333E-02	-7.122842E-19	38	-1.097778E-02	-1.800285E-18
13	-1.169212E-02	-3.414060E-18	39	-1.101905E-02	1.353094E-18
14	-1.138222E-02	-5.713578E-18	40	-1.126667E-02	2.640848E-18
15	-1.109975E-02	-4.519265E-18	41	-1.213333E-02	-3.242453E-19
16	-1.097778E-02	-3.201312E-18	42	-1.138222E-02	-1.489913E-18
17	-1.101905E-02	2.727386E-18	43	-1.097778E-02	-7.035476E-19
18	-1.126667E-02	-7.002094E-19	44	-1.126667E-02	1.220757E-18
19	-1.213333E-02	-3.465407E-19	45	-1.213333E-02	.000000E+00
20	-1.138222E-02	-5.061239E-18	46	-1.169212E-02	.000000E+00
21	-1.097778E-02	-3.380805E-18	47	-1.138222E-02	.000000E+00
22	-1.126667E-02	8.879111E-19	48	-1.109975E-02	.000000E+00
23	-1.213333E-02	-8.417735E-19	49	-1.097778E-02	.000000E+00
24	-1.169212E-02	-2.979977E-18	50	-1.101905E-02	.000000E+00
25	-1.138222E-02	-5.180583E-18	51	-1.126667E-02	.000000E+00

26 -1.109975E-02 -4.115327E-18

********** Reacções **********

Nó	Rr(kN)	Rz(kN)
1	.000000E+00	8.377580E+01
2	.000000E+00	3.686136E+02
3	.000000E+00	2.513274E+02
4	.000000E+00	6.785840E+02
5	.000000E+00	5.026548E+02
6	.000000E+00	1.466077E+03
7	.000000E+00	4.188790E+02
45	.000000E+00	-8.377580E+01
46	.000000E+00	-3.686136E+02
47	.000000E+00	-2.513274E+02
48	.000000E+00	-6.785840E+02
49	.000000E+00	-5.026548E+02
50	.000000E+00	-1.466077E+03
51	.000000E+00	-4.188790E+02

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
1	1	10.42	-5.27929E-01	-4.00000E+00	-2.25022E-14	-1.28054E+01
		.53	-5.27929E-01	-4.00000E+00	.00	
	2	10.42	-5.27929E-01	-4.00000E+00	4.85521E-14	-1.28054E+01
		1.97	-5.27929E-01	-4.00000E+00	.00	
	3	11.58	-1.69429E+00	-4.00000E+00	-2.96229E-15	-1.16390E+01
		.53	-1.69429E+00	-4.00000E+00	.00	
	4	11.58	-1.69429E+00	-4.00000E+00	4.14313E-15	-1.16390E+01
		1.97	-1.69429E+00	-4.00000E+00	.00	
Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
2	1	12.63	-2.48778E+00	-4.00000E+00	1.53805E-15	-1.08456E+01
		.53	-2.48778E+00	-4.00000E+00	.00	
	2	12.63	-2.48778E+00	-4.00000E+00	-5.56737E-15	-1.08456E+01
		1.97	-2.48778E+00	-4.00000E+00	.00	
	3	14.37	-3.43815E+00	-4.00000E+00	-1.80019E-14	-9.89518E+00
		.53	-3.43815E+00	-4.00000E+00	.00	
	4	14.37	-3.43815E+00	-4.00000E+00	-1.62255E-14	-9.89518E+00
		1.97	-3.43815E+00	-4.00000E+00	.00	
Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
3	1	16.06	-4.07787E+00	-4.00000E+00	-1.38396E-14	-9.25546E+00
		.53	-4.00000E+00	-4.07787E+00	90.00	
	2	16.06	-4.07787E+00	-4.00000E+00	3.92392E-15	-9.25546E+00
		1.97	-4.00000E+00	-4.07787E+00	90.00	
	3	18.94	-4.81102E+00	-4.00000E+00	5.70028E-15	-8.52232E+00
		.53	-4.00000E+00	-4.81102E+00	90.00	
	4	18.94	-4.81102E+00	-4.00000E+00	9.25299E-15	-8.52232E+00
		1.97	-4.00000E+00	-4.81102E+00	90.00	
Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
4	1	10.42	-5.27929E-01	-4.00000E+00	-4.21883E-14	-1.28054E+01
		3.03	-5.27929E-01	-4.00000E+00	.00	
	2	10.42	-5.27929E-01	-4.00000E+00	7.54971E-15	-1.28054E+01
		4.47	-5.27929E-01	-4.00000E+00	.00	
	3	11.58	-1.69429E+00	-4.00000E+00	4.44283E-16	-1.16390E+01

	3.03	-1.69429E+00	-4.00000E+00	.00	
4	11.58	-1.69429E+00	-4.00000E+00	4.44283E-16	-1.16390E+01
	4.47	-1.69429E+00	-4.00000E+00	.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
5						
	1	12.63	-2.48778E+00	-4.00000E+00	1.85367E-14	-1.08456E+01
		3.03	-2.48778E+00	-4.00000E+00	.00	
	2	12.63	-2.48778E+00	-4.00000E+00	7.87856E-15	-1.08456E+01
		4.47	-2.48778E+00	-4.00000E+00	.00	
	3	14.37	-3.43815E+00	-4.00000E+00	9.65492E-15	-9.89518E+00
		3.03	-3.43815E+00	-4.00000E+00	.00	
	4	14.37	-3.43815E+00	-4.00000E+00	4.32585E-15	-9.89518E+00
		4.47	-3.43815E+00	-4.00000E+00	.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
6						
	1	16.06	-4.07787E+00	-4.00000E+00	8.83917E-15	-9.25546E+00
		3.03	-4.00000E+00	-4.07787E+00	90.00	
	2	16.06	-4.07787E+00	-4.00000E+00	5.28646E-15	-9.25546E+00
		4.47	-4.00000E+00	-4.07787E+00	90.00	
	3	18.94	-4.81102E+00	-4.00000E+00	-1.07008E-14	-8.52232E+00
		3.03	-4.00000E+00	-4.81102E+00	90.00	
	4	18.94	-4.81102E+00	-4.00000E+00	7.06282E-15	-8.52232E+00
		4.47	-4.00000E+00	-4.81102E+00	90.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
7						
	1	10.42	-5.27929E-01	-4.00000E+00	-1.93363E-14	-1.28054E+01
		5.53	-5.27929E-01	-4.00000E+00	.00	
	2	10.42	-5.27929E-01	-4.00000E+00	4.46125E-14	-1.28054E+01
		6.97	-5.27929E-01	-4.00000E+00	.00	
	3	11.58	-1.69429E+00	-4.00000E+00	-3.17708E-14	-1.16390E+01
		5.53	-1.69429E+00	-4.00000E+00	.00	
	4	11.58	-1.69429E+00	-4.00000E+00	2.03593E-16	-1.16390E+01
		6.97	-1.69429E+00	-4.00000E+00	.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
8						
	1	12.63	-2.48778E+00	-4.00000E+00	-9.32155E-15	-1.08456E+01
		5.53	-2.48778E+00	-4.00000E+00	.00	
	2	12.63	-2.48778E+00	-4.00000E+00	-5.76884E-15	-1.08456E+01
		6.97	-2.48778E+00	-4.00000E+00	.00	
	3	14.37	-3.43815E+00	-4.00000E+00	-3.99248E-15	-9.89518E+00
		5.53	-3.43815E+00	-4.00000E+00	.00	
	4	14.37	-3.43815E+00	-4.00000E+00	-1.64270E-14	-9.89518E+00
		6.97	-3.43815E+00	-4.00000E+00	.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
9						
	1	16.06	-4.07787E+00	-4.00000E+00	-9.56378E-15	-9.25546E+00
		5.53	-4.00000E+00	-4.07787E+00	90.00	
	2	16.06	-4.07787E+00	-4.00000E+00	-6.01107E-15	-9.25546E+00
		6.97	-4.00000E+00	-4.07787E+00	90.00	
	3	18.94	-4.81102E+00	-4.00000E+00	-2.37746E-14	-8.52232E+00
		5.53	-4.00000E+00	-4.81102E+00	90.00	
	4	18.94	-4.81102E+00	-4.00000E+00	-4.23471E-15	-8.52232E+00
		6.97	-4.00000E+00	-4.81102E+00	90.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
10						
	1	10.42	-5.27929E-01	-4.00000E+00	-8.48494E-14	-1.28054E+01
		8.03	-5.27929E-01	-4.00000E+00	.00	
	2	10.42	-5.27929E-01	-4.00000E+00	9.98917E-14	-1.28054E+01

		9.47	-5.27929E-01	-4.00000E+00	.00	
	3	11.58	-1.69429E+00	-4.00000E+00	-2.26769E-14	-1.16390E+01
		8.03	-1.69429E+00	-4.00000E+00	.00	
	4	11.58	-1.69429E+00	-4.00000E+00	1.28502E-14	-1.16390E+01
		9.47	-1.69429E+00	-4.00000E+00	.00	

Elem. 11	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	12.63	-2.48778E+00	-4.00000E+00	8.37886E-15	-1.08456E+01
		8.03	-2.48778E+00	-4.00000E+00	.00	
	2	12.63	-2.48778E+00	-4.00000E+00	-1.29374E-14	-1.08456E+01
		9.47	-2.48778E+00	-4.00000E+00	.00	
	3	14.37	-3.43815E+00	-4.00000E+00	2.43661E-14	-9.89518E+00
		8.03	-3.43815E+00	-4.00000E+00	.00	
	4	14.37	-3.43815E+00	-4.00000E+00	-7.60835E-15	-9.89518E+00
		9.47	-3.43815E+00	-4.00000E+00	.00	

Elem. 12	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	16.06	-4.07787E+00	-4.00000E+00	1.10189E-14	-9.25546E+00
		8.03	-4.00000E+00	-4.07787E+00	90.00	
	2	16.06	-4.07787E+00	-4.00000E+00	-3.19192E-15	-9.25546E+00
		9.47	-4.00000E+00	-4.07787E+00	90.00	
	3	18.94	-4.81102E+00	-4.00000E+00	5.68986E-15	-8.52232E+00
		8.03	-4.00000E+00	-4.81102E+00	90.00	
	4	18.94	-4.81102E+00	-4.00000E+00	1.99007E-14	-8.52232E+00
		9.47	-4.00000E+00	-4.81102E+00	90.00	

3.3. Comparação dos resultados obtidos para os dois casos anteriores

i) Deslocamentos

Tomando como exemplo o nó 23 nos dois estados de deformação considerados, e considerando o caso de carga em que existe pressão exterior e interior, verificou-se uma igualdade satisfatória de deslocamentos:

dr - deslocamento radial do nó 23 em Estado Plano de Axissimetria

dx, dy - deslocamentos horizontal e vertical do nó 23 em Estado Plano de Deformação

Dos ficheiros de resultados,

$dx = dy = 4{,}7881 * 10^{-3}$ m
$dr = 6{,}933333 * 10^{-3}$ m

Verificação:

$$SQR(dx^2 + dy^2) = 6{,}771396 * 10^{-3} \text{ m} \approx dr \quad \text{(OK!)}$$

Idênticas verificações foram feitas para os nós 24, 25, 26, 27, 28 e 29

ii) Tensões

Uma vez que se fez coincidir a divisão da malha, as tensões nos pontos de Gauss correspondentes são aproximadamente iguais.

4 - PROGRAMA QUASAR

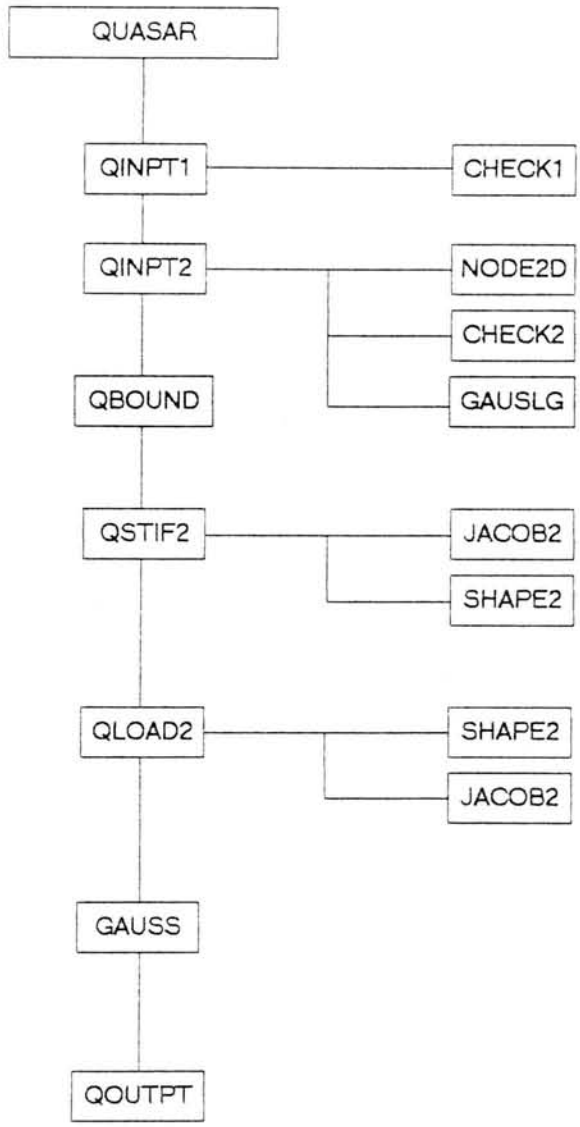
O programa QUASAR resolve problemas planos, regidos pela equação quase--harmónica, pelo Método dos Elementos Finitos .

Neste caso, trata-se de estudar a percolação em maciços terrosos - um problema que envolve o conhecimento da distribuição da carga hidráulica.

A equação quase-harmónica é obtida a partir da equação da continuidade, em regime permanente, admitindo a velocidade de percolação como proporcional ao gradiente de um potencial.

4.1. Estrutura do Programa

É constituído por cartorze módulos: programa principal, sete subrotinas principais e seis subrotinas auxiliares, de acordo com o fluxograma da página seguinte.



4.1.1- Descrição do programa

- Programa principal

QUASAR - Chama as subrotinas principais

- Subrotinas principais

QINPT1 - Lê os parâmetros de controlo
QINPT2 - Lê a topologia da malha e as propriedades dos materiais
QBOUND - Lê as condições fronteira

QSTIF2 - Calcula a matriz de rigidez de cada elemento e efectua o seu espalhamento na matriz global
QLOAD2 - Calcula o vector de solicitação global
GAUSS - Resolve o sistema de equações pelo método de Gauss
QOUTPT - Escreve os resultados finais

- Subrotinas auxiliares

QCHEK1 - Verifica os parâmetros de controlo e as dimensões do problema
NODE2D - Gera as cordenadas dos nós situados a meio de lados rectilíneos em elementos de oito ou nove nós. Gera as coordenadas do nó central nos elementos de nove nós
QCHEK2 - Verifica a topologia da malha
GAUSLG - Define as coordenadas e pesos dos pontos de Gauss para integração numérica de Gauss-Legendre
SHAPE2 - Calcula o valor das funções de forma e as respectivas derivadas
JACOB2 - Calcula as coordenadas cartesianas dos pontos de Gauss, a matriz Jacobiana e a sua inversa e as derivadas cartesianas das funções de forma

4.2. Ficheiro de Dados

Ficheiros em formato livre, com a seguinte estrutura:

1 - Título do problema (3 linhas)

2 - Parâmetros de controlo (1 linha)

NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NNODE, NTYPE, NGAUS

- NPOIN = n.º de nós
- NELEM = n.º de elementos
- NVFIX = n.º de nós com valores pré-fixados
- NMATS = n.º de materiais
- NNODE = n.º de nós por elemento
- NTYPE = Tipo de problema: 1 = Problema Plano
  2 = Problema Axissimétrico
- NGAUS = n.º de pontos de Gauss

3 - Características dos elementos (NELEM linhas)

N.º do elemento, N.º do material, N.os dos nós

Nota: Os nós devem ser listados em sentido directo, começando num nó de canto e acabando no nó central, se existir.

4 - Coordenadas dos nós (NPOIN linhas, no máximo)

N.º de nó, Coordenada X, Coordenada Y

- As coordenadas de nós situados no meio de lados rectilíneos em elementos de 8 ou 9 nós podem ser interpoladas a partir dos respectivos nós de canto.
- As coordenadas do nó central de elementos de 9 nós podem ser interpoladas a partir das coordenadas dos restantes nós.
- Tem sempre que se terminar a lista de coordenadas nodais com um nó NPOIN, quer este seja nó de canto ou não.

5 - Características dos materiais (2 x NMATS linhas)

N.º do material
Kx, Ky, θ, Q

Kx, Ky = coeficientes de permeabilidade principais
θ = ângulo de rotação de eixos (positivo no sentido directo)

6 - Condicões fronteira

Nº de nó, Valor imposto (NVFIX linhas)

4.3. Principais variáveis utilizadas

4.3.1. Variáveis inteiras não indexadas

NDIME = n.º de dimensões do espaço
NDOFN = n.º de graus de liberdade por nó
NELEM = n.º de elementos da malha
NEVAB = n.º de variáveis por elemento
NGAUS = n.º de pontos de Gauss em cada direcção em cada elemento
NMATS = n.º de materiais da malha
NNODE = n.º de nós por elemento
NPOIN = n.º de nós da malha
NPROP = n.º de propriedades de cada material
NTYPE = tipo de problema
NTOTG = n.º total de pontos de Gauss da malha
NTOTV = n.º total de variáveis da malha
NVFIX = n.º de nós com valores pré-fixados

4.3.2. Variáveis inteiras indexadas

LNODS (INODE, IELEM) = ligações nodais de cada elemento
MATNO (IELEM) = n.° do material do elemento IELEM

4.3.3. Variáveis reais indexadas

XVECT (ITOTV) = Carga Total
GLOAD (ITOTV) = vector de solicitação global
POSGP (IGAUS) = posição do ponto de Gauss IGAUS
COORD (IDIM, IPOIN) = coordenada IDIM do nó IPOIN
ESTIF (IEVAB, JEVAB) = coeficiente da matriz de rigidez de um elemento
GSTIF (ITOTV, JTOTV) = coeficiente da matriz de rigidez global
PROPS (IPROP, IMATS) = propriedade IPROP do material IMATS
VELOC (IDIME, ITOTG) = componente IDIME da velocidade no ponto de Gauss ITOTG da malha

5 - APLICAÇÕES COM O PROGRAMA QUASAR

5.1. Estudo da percolação na zona envolvente de uma estaca prancha

A geometria e condições fronteira do problema estão apresentadas à frente.

Relativamente à geometria, foi admitida uma extensão, para cada lado da estaca-prancha, igual à profundidade a que se encontra o estrato que pode ser considerado impermeável.

A versão actual do programa interpreta as fronteiras assim definidas como impermeáveis. Isto pode ter como consequência algumas incorrecções por estas fronteiras poderem provocar a inflexão de equipotenciais vizinhas.

Note-se que estes problema do estabelecimento de fronteiras e das incorrecções que daí possam advir desaparece com a introdução de elementos semi-infinitos no contorno da malha.

A malha foi gerada pelo GEN2D e desenhada pelo DRAWMESH.

As condições fronteira do problema são as seguintes:

- *Condição fronteira de Dirichlet*

A montante e a jusante são impostos valores à carga hidráulica.
A montante, H = 27,0 m ; a jusante, H = 19,5 m.

- *Condição fronteira de Cauchy*

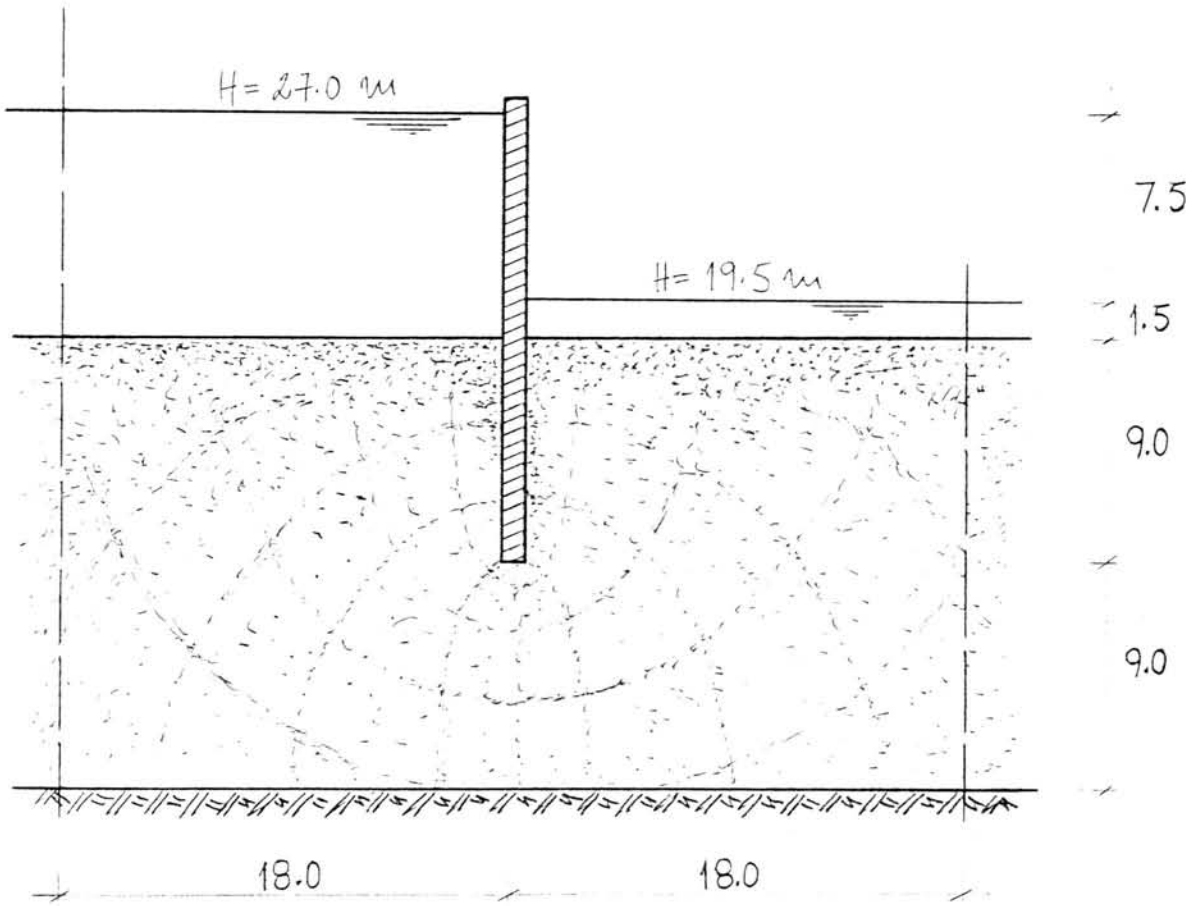
São impostos valores à velocidade ou ao caudal de percolação.
Como caso particular desta condição, neste caso, temos quatro fronteiras impermeáveis: a 18 metros de profundidade; a 18 metros para cada lado da estaca-prancha; a própria estaca-prancha. A componente da velocidade de percolação normal a estas fronteiras é nula.

As características dos elementos a fornecer são o caudal, o ângulo da direcção principal de permeabilidade máxima com o eixo dos xx e os coeficientes de permeabilidade. Refira-se que um caudal nulo significa que, no elemento em causa, não é produzido qualquer caudal.

Note-se ainda que, para definir a estaca-prancha como impermeável, se costuma proceder do seguinte modo: aos nós que pertencem simultaneamente à estaca-prancha e ao maciço deve-se atribuír coordenadas ligeiramente diferentes, quando tratados como pertencentes aos elementos respectivos.

Nas páginas seguintes apresentam-se a Malha de Elementos Finitos e os respectivos ficheiros de dados e de resultados.

ESTACA - PRANCHA



CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS:

$$Q = 0$$
$$\vartheta = 0$$
$$K_x = K_y = 5 \times 10^{-9} \ m/s$$

```
Estudo do campo potencial e de velocidades em ESTACAP
23 4 8
1 1 1 2 3 7 11 10 9 6
2 1 3 4 5 8 13 12 11 7
3 1 9 10 11 15 20 19 18 14
4 1 11 12 13 17 23 22 21 16
1 0 0 0
2 9 0 0
3 18 0 0
4 27 0 0
5 36 0 0
6 0 4.5 0
7 18 4.5 0
8 36 4.5 0
9 0 9 0
10 9 9 0
11 18 9 0
12 27 9 0
13 36 9 0
14 0 13.5 0
17 36 13.5 0
18 0 18 0
19 9 18 0
20 18.00 18 0
21 18.01 18 0
22 27 18 0
23 36 18 0
5 3
5 4 3 2 1
1 1 1
5 3
1 2 3 4 5
1 1 1
5 3
5 4 3 2 1
1 1 1
5 3
1 2 3 4 5
1 1 1
```

Estudo do campo potencial e de velocidades em ESTACAP

219	60	22	1	8	1	2				
1		1	1	2	3	13	20	19	18	12
2		1	3	4	5	14	22	21	20	13
3		1	5	6	7	15	24	23	22	14
4		1	7	8	9	16	26	25	24	15
5		1	9	10	11	17	28	27	26	16
6		1	18	19	20	30	37	36	35	29
7		1	20	21	22	31	39	38	37	30
8		1	22	23	24	32	41	40	39	31
9		1	24	25	26	33	43	42	41	32
10		1	26	27	28	34	45	44	43	33
11		1	35	36	37	47	54	53	52	46
12		1	37	38	39	48	56	55	54	47
13		1	39	40	41	49	58	57	56	48
14		1	41	42	43	50	60	59	58	49
15		1	43	44	45	51	62	61	60	50
16		1	11	63	64	73	79	78	28	17
17		1	64	65	66	74	81	80	79	73
18		1	66	67	68	75	83	82	81	74
19		1	68	69	70	76	85	84	83	75
20		1	70	71	72	77	87	86	85	76
21		1	28	78	79	88	94	93	45	34
22		1	79	80	81	89	96	95	94	88
23		1	81	82	83	90	98	97	96	89
24		1	83	84	85	91	100	99	98	90
25		1	85	86	87	92	102	101	100	91
26		1	45	93	94	103	109	108	62	51
27		1	94	95	96	104	111	110	109	103
28		1	96	97	98	105	113	112	111	104
29		1	98	99	100	106	115	114	113	105
30		1	100	101	102	107	117	116	115	106
31		1	52	53	54	119	126	125	124	118
32		1	54	55	56	120	128	127	126	119
33		1	56	57	58	121	130	129	128	120
34		1	58	59	60	122	132	131	130	121
35		1	60	61	62	123	134	133	132	122
36		1	124	125	126	136	143	142	141	135
37		1	126	127	128	137	145	144	143	136
38		1	128	129	130	138	147	146	145	137
39		1	130	131	132	139	149	148	147	138
40		1	132	133	134	140	151	150	149	139
41		1	141	142	143	153	160	159	158	152
42		1	143	144	145	154	162	161	160	153
43		1	145	146	147	155	164	163	162	154
44		1	147	148	149	156	166	165	164	155
45		1	149	150	151	157	168	167	166	156
46		1	62	108	109	170	177	176	175	169
47		1	109	110	111	171	179	178	177	170
48		1	111	112	113	172	181	180	179	171
49		1	113	114	115	173	183	182	181	172
50		1	115	116	117	174	185	184	183	173
51		1	175	176	177	187	194	193	192	186
52		1	177	178	179	188	196	195	194	187
53		1	179	180	181	189	198	197	196	188
54		1	181	182	183	190	200	199	198	189
55		1	183	184	185	191	202	201	200	190
56		1	192	193	194	204	211	210	209	203
57		1	194	195	196	205	213	212	211	204
58		1	196	197	198	206	215	214	213	205
59		1	198	199	200	207	217	216	215	206
60		1	200	201	202	208	219	218	217	207

1	.00000	.00000
2	3.00000	.00000
3	6.00000	.00000
4	8.40000	.00000
5	10.80000	.00000
6	12.60000	.00000
7	14.40000	.00000
8	15.60000	.00000
9	16.80000	.00000
10	17.40000	.00000
11	18.00000	.00000
12	.00000	1.50000
13	6.00000	1.50000
14	10.80000	1.50000
15	14.40000	1.50000
16	16.80000	1.50000
17	18.00000	1.50000
18	.00000	3.00000
19	3.00000	3.00000
20	6.00000	3.00000
21	8.40000	3.00000
22	10.80000	3.00000
23	12.60000	3.00000
24	14.40000	3.00000
25	15.60000	3.00000
26	16.80000	3.00000
27	17.40000	3.00000
28	18.00000	3.00000
29	.00000	4.50000
30	6.00000	4.50000
31	10.80000	4.50000
32	14.40000	4.50000
33	16.80000	4.50000
34	18.00000	4.50000
35	.00000	6.00000
36	3.00000	6.00000
37	6.00000	6.00000
38	8.40000	6.00000
39	10.80000	6.00000
40	12.60000	6.00000
41	14.40000	6.00000
42	15.60000	6.00000
43	16.80000	6.00000
44	17.40000	6.00000
45	18.00000	6.00000
46	.00000	7.50000
47	6.00000	7.50000
48	10.80000	7.50000
49	14.40000	7.50000
50	16.80000	7.50000
51	18.00000	7.50000
52	.00000	9.00000
53	3.00000	9.00000
54	6.00000	9.00000
55	8.40000	9.00000
56	10.80000	9.00000
57	12.60000	9.00000
58	14.40000	9.00000
59	15.60000	9.00000
60	16.80000	9.00000
61	17.40000	9.00000
62	18.00000	9.00000
63	18.60000	.00000
64	19.20000	.00000

65	20.40000	.00000
66	21.60000	.00000
67	23.40000	.00000
68	25.20000	.00000
69	27.60000	.00000
70	30.00000	.00000
71	33.00000	.00000
72	36.00000	.00000
73	19.20000	1.50000
74	21.60000	1.50000
75	25.20000	1.50000
76	30.00000	1.50000
77	36.00000	1.50000
78	18.60000	3.00000
79	19.20000	3.00000
80	20.40000	3.00000
81	21.60000	3.00000
82	23.40000	3.00000
83	25.20000	3.00000
84	27.60000	3.00000
85	30.00000	3.00000
86	33.00000	3.00000
87	36.00000	3.00000
88	19.20000	4.50000
89	21.60000	4.50000
90	25.20000	4.50000
91	30.00000	4.50000
92	36.00000	4.50000
93	18.60000	6.00000
94	19.20000	6.00000
95	20.40000	6.00000
96	21.60000	6.00000
97	23.40000	6.00000
98	25.20000	6.00000
99	27.60000	6.00000
100	30.00000	6.00000
101	33.00000	6.00000
102	36.00000	6.00000
103	19.20000	7.50000
104	21.60000	7.50000
105	25.20000	7.50000
106	30.00000	7.50000
107	36.00000	7.50000
108	18.60000	9.00000
109	19.20000	9.00000
110	20.40000	9.00000
111	21.60000	9.00000
112	23.40000	9.00000
113	25.20000	9.00000
114	27.60000	9.00000
115	30.00000	9.00000
116	33.00000	9.00000
117	36.00000	9.00000
118	.00000	10.50000
119	6.00000	10.50000
120	10.80000	10.50000
121	14.40000	10.50000
122	16.80000	10.50000
123	18.00000	10.50000
124	.00000	12.00000
125	3.00000	12.00000
126	6.00000	12.00000
127	8.40000	12.00000

128	10.80000	12.00000
129	12.60000	12.00000
130	14.40000	12.00000
131	15.60000	12.00000
132	16.80000	12.00000
133	17.40000	12.00000
134	18.00000	12.00000
135	.00000	13.50000
136	6.00000	13.50000
137	10.80000	13.50000
138	14.40000	13.50000
139	16.80000	13.50000
140	18.00000	13.50000
141	.00000	15.00000
142	3.00000	15.00000
143	6.00000	15.00000
144	8.40000	15.00000
145	10.80000	15.00000
146	12.60000	15.00000
147	14.40000	15.00000
148	15.60000	15.00000
149	16.80000	15.00000
150	17.40000	15.00000
151	18.00000	15.00000
152	.00000	16.50000
153	6.00000	16.50000
154	10.80000	16.50000
155	14.40000	16.50000
156	16.80000	16.50000
157	18.00000	16.50000
158	.00000	18.00000
159	3.00000	18.00000
160	6.00000	18.00000
161	8.40000	18.00000
162	10.80000	18.00000
163	12.60000	18.00000
164	14.40000	18.00000
165	15.60000	18.00000
166	16.80000	18.00000
167	17.40000	18.00000
168	18.00000	18.00000
169	18.00167	10.50000
170	19.20135	10.50000
171	21.60080	10.50000
172	25.20020	10.50000
173	29.99981	10.50000
174	36.00000	10.50000
175	18.00333	12.00000
176	18.60301	12.00000
177	19.20270	12.00000
178	20.40212	12.00000
179	21.60160	12.00000
180	23.40093	12.00000
181	25.20040	12.00000
182	27.59990	12.00000
183	29.99963	12.00000
184	32.99963	12.00000
185	36.00000	12.00000
186	18.00500	13.50000
187	19.20404	13.50000
188	21.60240	13.50000
189	25.20060	13.50000
190	29.99944	13.50000
191	36.00000	13.50000
192	18.00667	15.00000

```
193      18.60601   15.00000
194      19.20539   15.00000
195      20.40424   15.00000
196      21.60320   15.00000
197      23.40187   15.00000
198      25.20080   15.00000
199      27.59979   15.00000
200      29.99926   15.00000
201      32.99926   15.00000
202      36.00000   15.00000
203      18.00833   16.50000
204      19.20674   16.50000
205      21.60400   16.50000
206      25.20100   16.50000
207      29.99907   16.50000
208      36.00000   16.50000
209      18.01000   18.00000
210      18.60902   18.00000
211      19.20809   18.00000
212      20.40636   18.00000
213      21.60480   18.00000
214      23.40280   18.00000
215      25.20120   18.00000
216      27.59969   18.00000
217      29.99889   18.00000
218      32.99889   18.00000
219      36.00000   18.00000
1
5e-9    5e-9     0     0
158      27
159      27
160      27
161      27
162      27
163      27
164      27
165      27
166      27
167      27
168      27
209      19.5
210      19.5
211      19.5
212      19.5
213      19.5
214      19.5
215      19.5
216      19.5
217      19.5
218      19.5
219      19.5
```

Estudo do campo potencial e de velocidades em ESTACAP

60	219	1								
1	9	1	2	3	13	20	19	18	12	1
2	9	3	4	5	14	22	21	20	13	3
3	9	5	6	7	15	24	23	22	14	5
4	9	7	8	9	16	26	25	24	15	7
5	9	9	10	11	17	28	27	26	16	9
6	9	18	19	20	30	37	36	35	29	18
7	9	20	21	22	31	39	38	37	30	20
8	9	22	23	24	32	41	40	39	31	22
9	9	24	25	26	33	43	42	41	32	24
10	9	26	27	28	34	45	44	43	33	26
11	9	35	36	37	47	54	53	52	46	35
12	9	37	38	39	48	56	55	54	47	37
13	9	39	40	41	49	58	57	56	48	39
14	9	41	42	43	50	60	59	58	49	41
15	9	43	44	45	51	62	61	60	50	43
16	9	11	63	64	73	79	78	28	17	11
17	9	64	65	66	74	81	80	79	73	64
18	9	66	67	68	75	83	82	81	74	66
19	9	68	69	70	76	85	84	83	75	68
20	9	70	71	72	77	87	86	85	76	70
21	9	28	78	79	88	94	93	45	34	28
22	9	79	80	81	89	96	95	94	88	79
23	9	31	82	83	90	98	97	96	89	81
24	9	83	84	85	91	100	99	98	90	83
25	9	85	86	87	92	102	101	100	91	85
26	9	45	93	94	103	109	108	62	51	45
27	9	94	95	96	104	111	110	109	103	94
28	9	96	97	98	105	113	112	111	104	96
29	9	98	99	100	106	115	114	113	105	98
30	9	100	101	102	107	117	116	115	106	100
31	9	52	53	54	119	126	125	124	118	52
32	9	54	55	56	120	128	127	126	119	54
33	9	56	57	58	121	130	129	128	120	56
34	9	58	59	60	122	132	131	130	121	58
35	9	60	61	62	123	134	133	132	122	60
36	9	124	125	126	136	143	142	141	135	124
37	9	126	127	128	137	145	144	143	136	126
38	9	128	129	130	138	147	146	145	137	128
39	9	130	131	132	139	149	148	147	138	130
40	9	132	133	134	140	151	150	149	139	132
41	9	141	142	143	153	160	159	158	152	141
42	9	143	144	145	154	162	161	160	153	143
43	9	145	146	147	155	164	163	162	154	145
44	9	147	148	149	156	166	165	164	155	147
45	9	149	150	151	157	168	167	166	156	149
46	9	62	108	109	170	177	176	175	169	62
47	9	109	110	111	171	179	178	177	170	109
48	9	111	112	113	172	181	180	179	171	111
49	9	113	114	115	173	183	182	181	172	113
50	9	115	116	117	174	185	184	183	173	115
51	9	175	176	177	187	194	193	192	186	175
52	9	177	178	179	188	196	195	194	187	177
53	9	179	180	181	189	198	197	196	188	179
54	9	181	182	183	190	200	199	198	189	181
55	9	183	184	185	191	202	201	200	190	183
56	9	192	193	194	204	211	210	209	203	192
57	9	194	195	196	205	213	212	211	204	194
58	9	196	197	198	206	215	214	213	205	196
59	9	198	199	200	207	217	216	215	206	198
60	9	200	201	202	208	219	218	217	207	200
1	0.00000000		0.00000000			0.00000000				
2	0.00000000		3.00000000			0.00000000				

3	0.00000000	6.00000000	0.00000000
4	0.00000000	8.39999962	0.00000000
5	0.00000000	10.80000019	0.00000000
6	0.00000000	12.60000038	0.00000000
7	0.00000000	14.39999962	0.00000000
8	0.00000000	15.60000038	0.00000000
9	0.00000000	16.79999924	0.00000000
10	0.00000000	17.39999962	0.00000000
11	0.00000000	18.00000000	0.00000000
12	0.00000000	0.00000000	1.50000000
13	0.00000000	6.00000000	1.50000000
14	0.00000000	10.80000019	1.50000000
15	0.00000000	14.39999962	1.50000000
16	0.00000000	16.79999924	1.50000000
17	0.00000000	18.00000000	1.50000000
18	0.00000000	0.00000000	3.00000000
19	0.00000000	3.00000000	3.00000000
20	0.00000000	6.00000000	3.00000000
21	0.00000000	8.39999962	3.00000000
22	0.00000000	10.80000019	3.00000000
23	0.00000000	12.60000038	3.00000000
24	0.00000000	14.39999962	3.00000000
25	0.00000000	15.60000038	3.00000000
26	0.00000000	16.79999924	3.00000000
27	0.00000000	17.39999962	3.00000000
28	0.00000000	18.00000000	3.00000000
29	0.00000000	0.00000000	4.50000000
30	0.00000000	6.00000000	4.50000000
31	0.00000000	10.80000019	4.50000000
32	0.00000000	14.39999962	4.50000000
33	0.00000000	16.79999924	4.50000000
34	0.00000000	18.00000000	4.50000000
35	0.00000000	0.00000000	6.00000000
36	0.00000000	3.00000000	6.00000000
37	0.00000000	6.00000000	6.00000000
38	0.00000000	8.39999962	6.00000000
39	0.00000000	10.80000019	6.00000000
40	0.00000000	12.60000038	6.00000000
41	0.00000000	14.39999962	6.00000000
42	0.00000000	15.60000038	6.00000000
43	0.00000000	16.79999924	6.00000000
44	0.00000000	17.39999962	6.00000000
45	0.00000000	18.00000000	6.00000000
46	0.00000000	0.00000000	7.50000000
47	0.00000000	6.00000000	7.50000000
48	0.00000000	10.80000019	7.50000000
49	0.00000000	14.39999962	7.50000000
50	0.00000000	16.79999924	7.50000000
51	0.00000000	18.00000000	7.50000000
52	0.00000000	0.00000000	9.00000000
53	0.00000000	3.00000000	9.00000000
54	0.00000000	6.00000000	9.00000000
55	0.00000000	8.39999962	9.00000000
56	0.00000000	10.80000019	9.00000000
57	0.00000000	12.60000038	9.00000000
58	0.00000000	14.39999962	9.00000000
59	0.00000000	15.60000038	9.00000000
60	0.00000000	16.79999924	9.00000000
61	0.00000000	17.39999962	9.00000000
62	0.00000000	18.00000000	9.00000000
63	0.00000000	13.60000038	0.00000000
64	0.00000000	19.20000076	0.00000000
65	0.00000000	20.39999962	0.00000000

66	0.00000000	21.60000038	0.00000000
67	0.00000000	23.39999962	0.00000000
68	0.00000000	25.20000076	0.00000000
69	0.00000000	27.60000038	0.00000000
70	0.00000000	30.00000000	0.00000000
71	0.00000000	33.00000000	0.00000000
72	0.00000000	36.00000000	0.00000000
73	0.00000000	19.20000076	1.50000000
74	0.00000000	21.60000038	1.50000000
75	0.00000000	25.20000076	1.50000000
76	0.00000000	30.00000000	1.50000000
77	0.00000000	36.00000000	1.50000000
78	0.00000000	18.60000038	3.00000000
79	0.00000000	19.20000076	3.00000000
80	0.00000000	20.39999962	3.00000000
81	0.00000000	21.60000038	3.00000000
82	0.00000000	23.39999962	3.00000000
83	0.00000000	25.20000076	3.00000000
84	0.00000000	27.60000038	3.00000000
85	0.00000000	30.00000000	3.00000000
86	0.00000000	33.00000000	3.00000000
87	0.00000000	36.00000000	3.00000000
88	0.00000000	19.20000076	4.50000000
89	0.00000000	21.60000038	4.50000000
90	0.00000000	25.20000076	4.50000000
91	0.00000000	30.00000000	4.50000000
92	0.00000000	36.00000000	4.50000000
93	0.00000000	18.60000038	6.00000000
94	0.00000000	19.20000076	6.00000000
95	0.00000000	20.39999962	6.00000000
96	0.00000000	21.60000038	6.00000000
97	0.00000000	23.39999962	6.00000000
98	0.00000000	25.20000076	6.00000000
99	0.00000000	27.60000038	6.00000000
100	0.00000000	30.00000000	6.00000000
101	0.00000000	33.00000000	6.00000000
102	0.00000000	36.00000000	6.00000000
103	0.00000000	19.20000076	7.50000000
104	0.00000000	21.60000038	7.50000000
105	0.00000000	25.20000076	7.50000000
106	0.00000000	30.00000000	7.50000000
107	0.00000000	36.00000000	7.50000000
108	0.00000000	18.60000038	9.00000000
109	0.00000000	19.20000076	9.00000000
110	0.00000000	20.39999962	9.00000000
111	0.00000000	21.60000038	9.00000000
112	0.00000000	23.39999962	9.00000000
113	0.00000000	25.20000076	9.00000000
114	0.00000000	27.60000038	9.00000000
115	0.00000000	30.00000000	9.00000000
116	0.00000000	33.00000000	9.00000000
117	0.00000000	36.00000000	9.00000000
118	0.00000000	0.00000000	10.50000000
119	0.00000000	6.00000000	10.50000000
120	0.00000000	10.80000019	10.50000000
121	0.00000000	14.39999962	10.50000000
122	0.00000000	16.79999924	10.50000000
123	0.00000000	18.00000000	10.50000000
124	0.00000000	0.00000000	12.00000000
125	0.00000000	3.00000000	12.00000000
126	0.00000000	6.00000000	12.00000000
127	0.00000000	8.39999962	12.00000000
128	0.00000000	10.80000019	12.00000000

129	0.00000000	12.60000038	12.00000000
130	0.00000000	14.39999962	12.00000000
131	0.00000000	15.60000038	12.00000000
132	0.00000000	16.79999924	12.00000000
133	0.00000000	17.39999962	12.00000000
134	0.00000000	18.00000000	12.00000000
135	0.00000000	0.00000000	13.50000000
136	0.00000000	6.00000000	13.50000000
137	0.00000000	10.80000019	13.50000000
138	0.00000000	14.39999962	13.50000000
139	0.00000000	16.79999924	13.50000000
140	0.00000000	18.00000000	13.50000000
141	0.00000000	0.00000000	15.00000000
142	0.00000000	3.00000000	15.00000000
143	0.00000000	6.00000000	15.00000000
144	0.00000000	8.39999962	15.00000000
145	0.00000000	10.80000019	15.00000000
146	0.00000000	12.60000038	15.00000000
147	0.00000000	14.39999962	15.00000000
148	0.00000000	15.60000038	15.00000000
149	0.00000000	16.79999924	15.00000000
150	0.00000000	17.39999962	15.00000000
151	0.00000000	18.00000000	15.00000000
152	0.00000000	0.00000000	16.50000000
153	0.00000000	6.00000000	16.50000000
154	0.00000000	10.80000019	16.50000000
155	0.00000000	14.39999962	16.50000000
156	0.00000000	16.79999924	16.50000000
157	0.00000000	18.00000000	16.50000000
158	0.00000000	0.00000000	18.00000000
159	0.00000000	3.00000000	18.00000000
160	0.00000000	6.00000000	18.00000000
161	0.00000000	8.39999962	18.00000000
162	0.00000000	10.80000019	18.00000000
163	0.00000000	12.60000038	18.00000000
164	0.00000000	14.39999962	18.00000000
165	0.00000000	15.60000038	18.00000000
166	0.00000000	16.79999924	18.00000000
167	0.00000000	17.39999962	18.00000000
168	0.00000000	18.00000000	18.00000000
169	0.00000000	18.00167084	10.50000000
170	0.00000000	19.20134926	10.50000000
171	0.00000000	21.60079956	10.50000000
172	0.00000000	25.20019913	10.50000000
173	0.00000000	29.99980927	10.50000000
174	0.00000000	36.00000000	10.50000000
175	0.00000000	18.00333023	12.00000000
176	0.00000000	18.60301018	12.00000000
177	0.00000000	19.20269966	12.00000000
178	0.00000000	20.40212059	12.00000000
179	0.00000000	21.60160065	12.00000000
180	0.00000000	23.40093040	12.00000000
181	0.00000000	25.20039940	12.00000000
182	0.00000000	27.59989929	12.00000000
183	0.00000000	29.99962997	12.00000000
184	0.00000000	32.99962997	12.00000000
185	0.00000000	36.00000000	12.00000000
186	0.00000000	18.00499916	13.50000000
187	0.00000000	19.20404053	13.50000000
188	0.00000000	21.60239983	13.50000000
189	0.00000000	25.20059967	13.50000000
190	0.00000000	29.99943924	13.50000000
191	0.00000000	36.00000000	13.50000000

192	0.00000000	18.00667000	15.00000000
193	0.00000000	18.60601044	15.00000000
194	0.00000000	19.20539093	15.00000000
195	0.00000000	20.40423965	15.00000000
196	0.00000000	21.60320091	15.00000000
197	0.00000000	23.40187073	15.00000000
198	0.00000000	25.20079994	15.00000000
199	0.00000000	27.59979057	15.00000000
200	0.00000000	29.99925995	15.00000000
201	0.00000000	32.99925995	15.00000000
202	0.00000000	36.00000000	15.00000000
203	0.00000000	18.00832939	16.50000000
204	0.00000000	19.20673943	16.50000000
205	0.00000000	21.60400009	16.50000000
206	0.00000000	25.20100021	16.50000000
207	0.00000000	29.99906921	16.50000000
208	0.00000000	36.00000000	16.50000000
209	0.00000000	18.01000023	18.00000000
210	0.00000000	18.60902023	18.00000000
211	0.00000000	19.20808983	18.00000000
212	0.00000000	20.40636063	18.00000000
213	0.00000000	21.60479927	18.00000000
214	0.00000000	23.40279961	18.00000000
215	0.00000000	25.20120049	18.00000000
216	0.00000000	27.59968948	18.00000000
217	0.00000000	29.99888992	18.00000000
218	0.00000000	32.99888992	18.00000000
219	0.00000000	36.00000000	18.00000000
1	1		

```
*****************************************************************************
**************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "QUASAR" [versão 4.00] ****
**************  Ficheiro de dados :      estacap.dat    ****   12-02-92   ****
**************  Ficheiro de resultados : estacap.res    ****   15:28:39   ****
*****************************************************************************

 Estudo do campo potencial e de velocidades em ESTACAP

*****************************************************************************


*** PARAMETROS DE CONTROLE

    Nº. total de nós                  (NPOIN) =  219
    Nº. total de elementos            (NELEM) =   60
    Nº. de nós com valores fixos      (NVFIX) =   22
    Nº. de materiais                  (NMATS) =    1
    Nº. de nós/elemento               (NNODE) =    8
    Tipo de problema                  (NTYPE) =    1
    Nº  de pontos de integração       (NGAUS) =    2

    Nº. de graus de liberdade/nó      (NDOFN) =    1
    Nº. de coordenadas/nó             (NDIME) =    2
    Nº. de propriedades/material      (NPROP) =    4
    Nº. de variáveis/elemento         (NEVAB) =    8
    Nº. total de variáveis            (NTOTV) =  219
    Nº. total de pontos de Gauss      (NTOTG) =  240


*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "QCHEK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle


***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

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

27	1	94	95	96	104	111	110	109	103
28	1	96	97	98	105	113	112	111	104
29	1	98	99	100	106	115	114	113	105
30	1	100	101	102	107	117	116	115	106
31	1	52	53	54	119	126	125	124	118
32	1	54	55	56	120	128	127	126	119
33	1	56	57	58	121	130	129	128	120
34	1	58	59	60	122	132	131	130	121
35	1	60	61	62	123	134	133	132	122
36	1	124	125	126	136	143	142	141	135
37	1	126	127	128	137	145	144	143	136
38	1	128	129	130	138	147	146	145	137
39	1	130	131	132	139	149	148	147	138
40	1	132	133	134	140	151	150	149	139
41	1	141	142	143	153	160	159	158	152
42	1	143	144	145	154	162	161	160	153
43	1	145	146	147	155	164	163	162	154
44	1	147	148	149	156	166	165	164	155
45	1	149	150	151	157	168	167	166	156
46	1	62	108	109	170	177	176	175	169
47	1	109	110	111	171	179	178	177	170
48	1	111	112	113	172	181	180	179	171
49	1	113	114	115	173	183	182	181	172
50	1	115	116	117	174	185	184	183	173
51	1	175	176	177	187	194	193	192	186
52	1	177	178	179	188	196	195	194	187
53	1	179	180	181	189	198	197	196	188
54	1	181	182	183	190	200	199	198	189
55	1	183	184	185	191	202	201	200	190
56	1	192	193	194	204	211	210	209	203
57	1	194	195	196	205	213	212	211	204
58	1	196	197	198	206	215	214	213	205
59	1	198	199	200	207	217	216	215	206
60	1	200	201	202	208	219	218	217	207

SEMIBANDA VARIAVEL ARMAZENADA EM VECTOR POR LINHAS

número de linhas	=	219
largura máxima	=	116
banda inicial — comprimento	=	4682
banda inicial — % de zeros	=	60.40
banda efectiva — comprimento	=	11364
banda efectiva — % de zeros	=	83.69

Economia de espaco em relacão a outras técnicas

banda constante	*	55.27 %
triângulo superior em vector	*	52.83 %
armazenamento completo	*	76.31 %

*** COORDENADAS NODAIS

Nó	X(m)	Y(m)	Nó	X(m)	Y(m)
1	.00000	.00000	111	21.60000	9.00000
2	3.00000	.00000	112	23.40000	9.00000
3	6.00000	.00000	113	25.20000	9.00000
4	8.40000	.00000	114	27.60000	9.00000
5	10.80000	.00000	115	30.00000	9.00000
6	12.60000	.00000	116	33.00000	9.00000
7	14.40000	.00000	117	36.00000	9.00000
8	15.60000	.00000	118	.00000	10.50000
9	16.80000	.00000	119	6.00000	10.50000
10	17.40000	.00000	120	10.80000	10.50000
11	18.00000	.00000	121	14.40000	10.50000

12	.00000	1.50000
13	6.00000	1.50000
14	10.80000	1.50000
15	14.40000	1.50000
16	16.80000	1.50000
17	18.00000	1.50000
18	.00000	3.00000
19	3.00000	3.00000
20	6.00000	3.00000
21	8.40000	3.00000
22	10.80000	3.00000
23	12.60000	3.00000
24	14.40000	3.00000
25	15.60000	3.00000
26	16.80000	3.00000
27	17.40000	3.00000
28	18.00000	3.00000
29	.00000	4.50000
30	6.00000	4.50000
31	10.80000	4.50000
32	14.40000	4.50000
33	16.80000	4.50000
34	18.00000	4.50000
35	.00000	6.00000
36	3.00000	6.00000
37	6.00000	6.00000
38	8.40000	6.00000
39	10.80000	6.00000
40	12.60000	6.00000
41	14.40000	6.00000
42	15.60000	6.00000
43	16.80000	6.00000
44	17.40000	6.00000
45	18.00000	6.00000
46	.00000	7.50000
47	6.00000	7.50000
48	10.80000	7.50000
49	14.40000	7.50000
50	16.80000	7.50000
51	18.00000	7.50000
52	.00000	9.00000
53	3.00000	9.00000
54	6.00000	9.00000
55	8.40000	9.00000
56	10.80000	9.00000
57	12.60000	9.00000
58	14.40000	9.00000
59	15.60000	9.00000
60	16.80000	9.00000
61	17.40000	9.00000
62	18.00000	9.00000
63	18.60000	.00000
64	19.20000	.00000
65	20.40000	.00000
66	21.60000	.00000
67	23.40000	.00000
68	25.20000	.00000
69	27.60000	.00000
70	30.00000	.00000
71	33.00000	.00000
72	36.00000	.00000
73	19.20000	1.50000
74	21.60000	1.50000
75	25.20000	1.50000
122	16.80000	10.50000
123	18.00000	10.50000
124	.00000	12.00000
125	3.00000	12.00000
126	6.00000	12.00000
127	8.40000	12.00000
128	10.80000	12.00000
129	12.60000	12.00000
130	14.40000	12.00000
131	15.60000	12.00000
132	16.80000	12.00000
133	17.40000	12.00000
134	18.00000	12.00000
135	.00000	13.50000
136	6.00000	13.50000
137	10.80000	13.50000
138	14.40000	13.50000
139	16.80000	13.50000
140	18.00000	13.50000
141	.00000	15.00000
142	3.00000	15.00000
143	6.00000	15.00000
144	8.40000	15.00000
145	10.80000	15.00000
146	12.60000	15.00000
147	14.40000	15.00000
148	15.60000	15.00000
149	16.80000	15.00000
150	17.40000	15.00000
151	18.00000	15.00000
152	.00000	16.50000
153	6.00000	16.50000
154	10.80000	16.50000
155	14.40000	16.50000
156	16.80000	16.50000
157	18.00000	16.50000
158	.00000	18.00000
159	3.00000	18.00000
160	6.00000	18.00000
161	8.40000	18.00000
162	10.80000	18.00000
163	12.60000	18.00000
164	14.40000	18.00000
165	15.60000	18.00000
166	16.80000	18.00000
167	17.40000	18.00000
168	18.00000	18.00000
169	18.00167	10.50000
170	19.20135	10.50000
171	21.60080	10.50000
172	25.20020	10.50000
173	29.99981	10.50000
174	36.00000	10.50000
175	18.00333	12.00000
176	18.60301	12.00000
177	19.20270	12.00000
178	20.40212	12.00000
179	21.60160	12.00000
180	23.40093	12.00000
181	25.20040	12.00000
182	27.59990	12.00000
183	29.99963	12.00000
184	32.99963	12.00000
185	36.00000	12.00000

76	30.00000	1.50000
77	36.00000	1.50000
78	18.60000	3.00000
79	19.20000	3.00000
80	20.40000	3.00000
81	21.60000	3.00000
82	23.40000	3.00000
83	25.20000	3.00000
84	27.60000	3.00000
85	30.00000	3.00000
86	33.00000	3.00000
87	36.00000	3.00000
88	19.20000	4.50000
89	21.60000	4.50000
90	25.20000	4.50000
91	30.00000	4.50000
92	36.00000	4.50000
93	18.60000	6.00000
94	19.20000	6.00000
95	20.40000	6.00000
96	21.60000	6.00000
97	23.40000	6.00000
98	25.20000	6.00000
99	27.60000	6.00000
100	30.00000	6.00000
101	33.00000	6.00000
102	36.00000	6.00000
103	19.20000	7.50000
104	21.60000	7.50000
105	25.20000	7.50000
106	30.00000	7.50000
107	36.00000	7.50000
108	18.60000	9.00000
109	19.20000	9.00000
110	20.40000	9.00000
186	18.00500	13.50000
187	19.20404	13.50000
188	21.60240	13.50000
189	25.20060	13.50000
190	29.99944	13.50000
191	36.00000	13.50000
192	18.00667	15.00000
193	18.60601	15.00000
194	19.20539	15.00000
195	20.40424	15.00000
196	21.60320	15.00000
197	23.40187	15.00000
198	25.20080	15.00000
199	27.59979	15.00000
200	29.99926	15.00000
201	32.99926	15.00000
202	36.00000	15.00000
203	18.00833	16.50000
204	19.20674	16.50000
205	21.60400	16.50000
206	25.20100	16.50000
207	29.99907	16.50000
208	36.00000	16.50000
209	18.01000	18.00000
210	18.60902	18.00000
211	19.20809	18.00000
212	20.40636	18.00000
213	21.60480	18.00000
214	23.40280	18.00000
215	25.20120	18.00000
216	27.59969	18.00000
217	29.99889	18.00000
218	32.99889	18.00000
219	36.00000	18.00000

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "QCHEK2" :
*** Não foram detectados erros na topologia da malha

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Mat.	kx' m/s	ky' m/s	θ °	Q -
1	5.00000E-09	5.00000E-09	.00	.00000E+00

*** CONDICOES-FRONTEIRA DE DIRICHLET

Nó	Valor
158	27.00000
159	27.00000
160	27.00000
161	27.00000
162	27.00000
163	27.00000
164	27.00000
165	27.00000
166	27.00000
167	27.00000

168	27.00000
209	19.50000
210	19.50000
211	19.50000
212	19.50000
213	19.50000
214	19.50000
215	19.50000
216	19.50000
217	19.50000
218	19.50000
219	19.50000

********** Potenciais **********

Nó	ø(m)	Nó	ø(m)	Nó	ø(m)
1	2.537419E+01	74	2.248265E+01	147	2.625571E+01
2	2.531927E+01	75	2.186327E+01	148	2.622443E+01
3	2.514968E+01	76	2.133570E+01	149	2.619696E+01
4	2.492674E+01	77	2.111235E+01	150	2.618744E+01
5	2.462114E+01	78	2.310625E+01	151	2.617161E+01
6	2.433525E+01	79	2.296683E+01	152	2.678743E+01
7	2.400546E+01	80	2.269686E+01	153	2.675807E+01
8	2.376436E+01	81	2.244016E+01	154	2.669245E+01
9	2.351088E+01	82	2.210103E+01	155	2.663074E+01
10	2.338029E+01	83	2.181154E+01	156	2.660182E+01
11	2.325048E+01	84	2.150844E+01	157	2.659878E+01
12	2.538826E+01	85	2.129029E+01	158	2.700000E+01
13	2.516498E+01	86	2.112488E+01	159	2.700000E+01
14	2.463754E+01	87	2.107156E+01	160	2.700000E+01
15	2.401827E+01	88	2.293609E+01	161	2.700000E+01
16	2.351579E+01	89	2.236724E+01	162	2.700000E+01
17	2.325049E+01	90	2.172469E+01	163	2.700000E+01
18	2.542904E+01	91	2.121424E+01	164	2.700000E+01
19	2.537573E+01	92	2.100348E+01	165	2.700000E+01
20	2.521037E+01	93	2.306232E+01	166	2.700000E+01
21	2.499229E+01	94	2.286342E+01	167	2.700000E+01
22	2.468927E+01	95	2.253080E+01	168	2.700000E+01
23	2.439984E+01	96	2.224826E+01	169	2.184523E+01
24	2.406078E+01	97	2.188277E+01	170	2.183057E+01
25	2.380411E+01	98	2.159776E+01	171	2.141315E+01
26	2.353416E+01	99	2.131002E+01	172	2.097622E+01
27	2.339475E+01	100	2.110979E+01	173	2.063259E+01
28	2.325050E+01	101	2.095845E+01	174	2.049205E+01
29	2.549709E+01	102	2.091019E+01	175	2.131716E+01
30	2.528640E+01	103	2.276393E+01	176	2.127719E+01
31	2.477611E+01	104	2.204462E+01	177	2.117866E+01
32	2.413372E+01	105	2.142974E+01	178	2.112366E+01
33	2.356495E+01	106	2.097552E+01	179	2.102161E+01
34	2.325052E+01	107	2.079222E+01	180	2.085484E+01
35	2.559035E+01	108	2.277173E+01	181	2.070162E+01
36	2.554212E+01	109	2.238464E+01	182	2.054435E+01
37	2.539083E+01	110	2.203005E+01	183	2.042998E+01
38	2.519067E+01	111	2.178028E+01	184	2.034299E+01
39	2.490304E+01	112	2.146001E+01	185	2.031480E+01
40	2.461812E+01	113	2.122081E+01	186	2.074758E+01
41	2.425275E+01	114	2.098146E+01	187	2.073881E+01
42	2.397026E+01	115	2.081673E+01	188	2.062413E+01
43	2.363767E+01	116	2.069189E+01	189	2.041427E+01
44	2.343884E+01	117	2.065222E+01	190	2.021070E+01
45	2.325059E+01	118	2.600835E+01	191	2.012363E+01
46	2.570828E+01	119	2.586789E+01	192	2.032950E+01
47	2.552506E+01	120	2.552444E+01	193	2.031349E+01

48	2.507104E+01	121	2.508775E+01	194	2.030384E+01
49	2.445641E+01	122	2.467064E+01	195	2.027615E+01
50	2.373735E+01	123	2.465648E+01	196	2.024475E+01
51	2.325064E+01	124	2.618553E+01	197	2.017971E+01
52	2.584823E+01	125	2.615736E+01	198	2.011212E+01
53	2.580858E+01	126	2.607042E+01	199	2.003752E+01
54	2.568380E+01	127	2.595612E+01	200	1.998033E+01
55	2.551915E+01	128	2.579894E+01	201	1.993623E+01
56	2.527993E+01	129	2.564581E+01	202	1.992170E+01
57	2.504086E+01	130	2.547915E+01	203	1.990196E+01
58	2.472077E+01	131	2.537725E+01	204	1.989862E+01
59	2.447116E+01	132	2.532254E+01	205	1.986949E+01
60	2.411677E+01	133	2.522419E+01	206	1.980770E+01
61	2.372988E+01	134	2.518444E+01	207	1.974205E+01
62	2.325097E+01	135	2.637662E+01	208	1.971266E+01
63	2.312068E+01	136	2.628962E+01	209	1.950000E+01
64	2.299007E+01	137	2.608617E+01	210	1.950000E+01
65	2.273658E+01	138	2.587650E+01	211	1.950000E+01
66	2.249545E+01	139	2.576221E+01	212	1.950000E+01
67	2.216561E+01	140	2.575379E+01	213	1.950000E+01
68	2.187967E+01	141	2.657847E+01	214	1.950000E+01
69	2.157400E+01	142	2.656396E+01	215	1.950000E+01
70	2.135100E+01	143	2.651990E+01	216	1.950000E+01
71	2.118136E+01	144	2.646274E+01	217	1.950000E+01
72	2.112642E+01	145	2.638819E+01	218	1.950000E+01
73	2.298518E+01	146	2.632064E+01	219	1.950000E+01

****** Reacções *****

Nó	Q(m3/s)
158	6.941796E-10
159	2.972592E-09
160	1.431531E-09
161	2.905006E-09
162	1.428414E-09
163	2.710861E-09
164	1.224448E-09
165	2.055924E-09
166	7.433295E-10
167	1.119932E-09
168	2.452041E-10
209	-2.459711E-10
210	-1.119675E-09
211	-7.433410E-10
212	-2.054774E-09
213	-1.223735E-09
214	-2.709558E-09
215	-1.428022E-09
216	-2.905044E-09
217	-1.431994E-09
218	-2.974450E-09
219	-6.948573E-10

********** Velocidade **********

p.G.	x(m)	y(m)	vx(m/s)	vy(m/s)
1	1.268	.634	7.719846E-11	-3.923259E-11
2	1.268	2.366	7.583744E-11	-1.447994E-10
3	4.732	.634	2.968090E-10	-4.110044E-11
4	4.732	2.366	2.925450E-10	-1.541817E-10
5	7.014	.634	4.507413E-10	-4.499771E-11
6	7.014	2.366	4.446818E-10	-1.650829E-10
7	9.786	.634	6.507459E-10	-4.634398E-11

8	9.786	2.366	6.478597E-10	-1.780499E-10
9	11.561	.634	7.839068E-10	-4.652878E-11
10	11.561	2.366	7.888682E-10	-1.779162E-10
11	13.639	.634	9.286168E-10	-4.044269E-11
12	13.639	2.366	9.442082E-10	-1.593390E-10
13	14.907	.634	1.002990E-09	-3.085625E-11
14	14.907	2.366	1.040254E-09	-1.319688E-10
15	16.293	.634	1.063419E-09	-1.807531E-11
16	16.293	2.366	1.103225E-09	-8.309304E-11
17	17.054	.634	1.084902E-09	-1.329130E-11
18	17.054	2.366	1.125216E-09	-5.416179E-11
19	17.746	.634	1.088711E-09	-5.856041E-12
20	17.746	2.366	1.160265E-09	-1.684985E-11
21	1.268	3.634	7.374252E-11	-2.207909E-10
22	1.268	5.366	6.953244E-11	-3.204090E-10
23	4.732	3.634	2.857280E-10	-2.356745E-10
24	4.732	5.366	2.715203E-10	-3.423610E-10
25	7.014	3.634	4.367266E-10	-2.545139E-10
26	7.014	5.366	4.149245E-10	-3.732950E-10
27	9.786	3.634	6.423581E-10	-2.735856E-10
28	9.786	5.366	6.240863E-10	-4.183415E-10
29	11.561	3.634	7.920229E-10	-2.861532E-10
30	11.561	5.366	7.809692E-10	-4.453047E-10
31	13.639	3.634	9.721446E-10	-2.584951E-10
32	13.639	5.366	1.018166E-09	-4.310015E-10
33	14.907	3.634	1.082510E-09	-2.222437E-10
34	14.907	5.366	1.137753E-09	-3.962604E-10
35	16.293	3.634	1.183855E-09	-1.417452E-10
36	16.293	5.366	1.341393E-09	-3.065334E-10
37	17.054	3.634	1.207206E-09	-6.386758E-11
38	17.054	5.366	1.498829E-09	-1.912057E-10
39	17.746	3.634	1.222359E-09	-1.088174E-11
40	17.746	5.366	1.428383E-09	-4.513286E-11
41	1.268	6.634	6.526550E-11	-3.888078E-10
42	1.268	8.366	5.833795E-11	-4.755897E-10
43	4.732	6.634	2.563030E-10	-4.198092E-10
44	4.732	8.366	2.294561E-10	-5.121371E-10
45	7.014	6.634	3.933846E-10	-4.568342E-10
46	7.014	8.366	3.518869E-10	-5.645163E-10
47	9.786	6.634	5.972729E-10	-5.193792E-10
48	9.786	8.366	5.378377E-10	-6.634639E-10
49	11.561	6.634	7.563672E-10	-5.738058E-10
50	11.561	8.366	6.827717E-10	-7.473152E-10
51	13.639	6.634	1.014834E-09	-6.395047E-10
52	13.639	8.366	9.422757E-10	-8.570012E-10
53	14.907	6.634	1.280306E-09	-6.084293E-10
54	14.907	8.366	1.191050E-09	-1.020200E-09
55	16.293	6.634	1.576979E-09	-3.756948E-10
56	16.293	8.366	1.639598E-09	-1.274244E-09
57	17.054	6.634	1.592791E-09	-2.621869E-10
58	17.054	8.366	2.459396E-09	-1.111588E-09
59	17.746	6.634	1.699650E-09	-1.120705E-10
60	17.746	8.366	3.136258E-09	-3.404195E-10
61	18.254	.634	1.088706E-09	5.841733E-12
62	18.254	2.366	1.160334E-09	1.673229E-11
63	18.946	.634	1.084946E-09	1.326969E-11
64	18.946	2.366	1.125239E-09	5.407278E-11
65	19.707	.634	1.063482E-09	1.804772E-11
66	19.707	2.366	1.103311E-09	8.301348E-11
67	21.093	.634	1.003097E-09	3.084046E-11
68	21.093	2.366	1.040375E-09	1.319073E-10
69	22.361	.634	9.287508E-10	4.043223E-11
70	22.361	2.366	9.443610E-10	1.592960E-10

71	24.439	.634	7.840624E-10	4.652572E-11
72	24.439	2.366	7.890422E-10	1.779104E-10
73	26.214	.634	6.508983E-10	4.634742E-11
74	26.214	2.366	6.480217E-10	1.780662E-10
75	28.986	.634	4.508656E-10	4.500669E-11
76	28.986	2.366	4.448111E-10	1.651171E-10
77	31.268	.634	2.968963E-10	4.111107E-11
78	31.268	2.366	2.926346E-10	1.542230E-10
79	34.732	.634	7.722306E-11	3.924467E-11
80	34.732	2.366	7.586240E-11	1.448447E-10
81	18.254	3.634	1.222349E-09	1.073901E-11
82	18.254	5.366	1.428348E-09	4.470241E-11
83	18.946	3.634	1.207241E-09	6.368767E-11
84	18.946	5.366	1.499182E-09	1.909296E-10
85	19.707	3.634	1.183966E-09	1.415942E-10
86	19.707	5.366	1.341529E-09	3.063496E-10
87	21.093	3.634	1.082669E-09	2.221393E-10
88	21.093	5.366	1.137981E-09	3.961047E-10
89	22.361	3.634	9.723279E-10	2.584437E-10
90	22.361	5.366	1.018428E-09	4.309117E-10
91	24.439	3.634	7.922158E-10	2.861500E-10
92	24.439	5.366	7.812092E-10	4.453169E-10
93	26.214	3.634	6.425364E-10	2.736100E-10
94	26.214	5.366	6.242937E-10	4.184006E-10
95	28.986	3.634	4.368635E-10	2.545701E-10
96	28.986	5.366	4.150717E-10	3.733853E-10
97	31.268	3.634	2.858208E-10	2.357394E-10
98	31.268	5.366	2.716185E-10	3.424600E-10
99	34.732	3.634	7.376790E-11	2.208610E-10
100	34.732	5.366	6.955807E-11	3.205142E-10
101	18.254	6.634	1.699478E-09	1.118398E-10
102	18.254	8.366	3.137678E-09	3.386190E-10
103	18.946	6.634	1.592766E-09	2.617285E-10
104	18.946	8.366	2.459960E-09	1.110888E-09
105	19.707	6.634	1.577292E-09	3.751916E-10
106	19.707	8.366	1.640293E-09	1.273945E-09
107	21.093	6.634	1.280680E-09	6.082346E-10
108	21.093	8.366	1.191676E-09	1.020100E-09
109	22.361	6.634	1.015176E-09	6.394513E-10
110	22.361	8.366	9.427343E-10	8.570063E-10
111	24.439	6.634	7.566537E-10	5.738504E-10
112	24.439	8.366	6.831134E-10	7.474283E-10
113	26.214	6.634	5.975034E-10	5.194621E-10
114	26.214	8.366	5.380949E-10	6.636125E-10
115	28.986	6.634	3.935414E-10	4.569543E-10
116	28.986	8.366	3.520523E-10	5.646842E-10
117	31.268	6.634	2.564045E-10	4.199381E-10
118	31.268	8.366	2.295594E-10	5.123058E-10
119	34.732	6.634	6.529121E-11	3.389387E-10
120	34.732	8.366	5.836201E-11	4.757566E-10
121	1.268	9.634	5.216806E-11	-5.314856E-10
122	1.268	11.366	4.307870E-11	-5.983007E-10
123	4.732	9.634	2.052772E-10	-5.774028E-10
124	4.732	11.366	1.669054E-10	-6.473056E-10
125	7.014	9.634	3.139311E-10	-6.331780E-10
126	7.014	11.366	2.563172E-10	-7.136033E-10
127	9.786	9.634	4.772048E-10	-7.477439E-10
128	9.786	11.366	3.755737E-10	-8.538295E-10
129	11.561	9.634	5.967053E-10	-8.563605E-10
130	11.561	11.366	4.672698E-10	-9.672918E-10
131	13.639	9.634	8.108289E-10	-1.092905E-09
132	13.639	11.366	5.563745E-10	-1.191415E-09
133	14.907	9.634	9.376743E-10	-1.260196E-09

134	14.907	11.366	6.106402E-10	-1.414029E-09
135	16.293	9.634	1.287290E-09	-1.608903E-09
136	16.293	11.366	5.380929E-10	-1.926306E-09
137	17.054	9.634	1.322181E-09	-2.390354E-09
138	17.054	11.366	-1.000054E-11	-1.974108E-09
139	17.746	9.634	1.901379E-09	-4.174560E-09
140	17.746	11.366	-2.676255E-10	-1.590376E-09
141	1.268	12.634	3.544023E-11	-6.377414E-10
142	1.268	14.366	2.447699E-11	-6.794245E-10
143	4.732	12.634	1.366638E-10	-6.917896E-10
144	4.732	14.366	9.322981E-11	-7.341707E-10
145	7.014	12.634	2.082187E-10	-7.613701E-10
146	7.014	14.366	1.418545E-10	-8.070286E-10
147	9.786	12.634	2.984123E-10	-8.917320E-10
148	9.786	14.366	1.966640E-10	-9.456466E-10
149	11.561	12.634	3.577215E-10	-1.024008E-09
150	11.561	14.366	2.224587E-10	-1.054152E-09
151	13.639	12.634	3.901316E-10	-1.240847E-09
152	13.639	14.366	2.249952E-10	-1.197791E-09
153	14.907	12.634	3.838536E-10	-1.382379E-09
154	14.907	14.366	2.058656E-10	-1.323283E-09
155	16.293	12.634	2.009005E-10	-1.461871E-09
156	16.293	14.366	1.434412E-10	-1.432149E-09
157	17.054	12.634	4.884425E-10	-1.602264E-09
158	17.054	14.366	3.688772E-11	-1.464043E-09
159	17.746	12.634	5.654451E-11	-1.873646E-09
160	17.746	14.366	-3.430904E-11	-1.409624E-09
161	1.268	15.634	1.611167E-11	-6.997366E-10
162	1.268	17.366	4.347057E-12	-7.137815E-10
163	4.732	15.634	6.096183E-11	-7.559348E-10
164	4.732	17.366	1.636462E-11	-7.703070E-10
165	7.014	15.634	9.153231E-11	-8.298440E-10
166	7.014	17.366	2.440175E-11	-8.439384E-10
167	9.786	15.634	1.245447E-10	-9.571294E-10
168	9.786	17.366	3.324739E-11	-9.701375E-10
169	11.561	15.634	1.442368E-10	-1.065183E-09
170	11.561	17.366	3.558001E-11	-1.070430E-09
171	13.639	15.634	1.376135E-10	-1.202720E-09
172	13.639	17.366	3.380530E-11	-1.187850E-09
173	14.907	15.634	1.031079E-10	-1.274783E-09
174	14.907	17.366	2.716447E-11	-1.251808E-09
175	16.293	15.634	3.866885E-11	-1.332322E-09
176	16.293	17.366	2.329554E-11	-1.307322E-09
177	17.054	15.634	3.256169E-11	-1.364526E-09
178	17.054	17.366	-1.087381E-11	-1.323107E-09
179	17.746	15.634	8.053605E-11	-1.410342E-09
180	17.746	17.366	1.980877E-12	-1.326087E-09
181	18.254	9.634	1.904331E-09	4.173246E-09
182	18.256	11.366	-2.655121E-10	1.590874E-09
183	18.947	9.634	1.323994E-09	2.389774E-09
184	18.949	11.366	-8.411794E-12	1.974149E-09
185	19.708	9.634	1.288189E-09	1.608564E-09
186	19.709	11.366	5.393148E-10	1.926039E-09
187	21.093	9.634	9.382961E-10	1.260215E-09
188	21.094	11.366	6.113198E-10	1.414105E-09
189	22.361	9.634	8.113543E-10	1.092982E-09
190	22.362	11.366	5.569086E-10	1.191623E-09
191	24.439	9.634	5.970662E-10	8.565409E-10
192	24.440	11.366	4.676166E-10	9.675614E-10
193	26.214	9.634	4.774740E-10	7.479445E-10
194	26.214	11.366	3.758349E-10	8.541101E-10
195	28.986	9.634	3.140994E-10	6.333856E-10
196	28.985	11.366	2.564335E-10	7.138706E-10

197	31.268	9.634	2.053831E-10	5.776066E-10
198	31.268	11.366	1.670109E-10	6.475588E-10
199	34.732	9.634	5.219408E-11	5.316783E-10
200	34.732	11.366	4.310664E-11	5.985268E-10
201	18.257	12.634	5.840330E-11	1.874312E-09
202	18.259	14.366	-3.280205E-11	1.410510E-09
203	18.950	12.634	4.901189E-10	1.602406E-09
204	18.951	14.366	3.808010E-11	1.464788E-09
205	19.710	12.634	2.021886E-10	1.462212E-09
206	19.712	14.366	1.445582E-10	1.432730E-09
207	21.095	12.634	3.846197E-10	1.382576E-09
208	21.096	14.366	2.065592E-10	1.323766E-09
209	22.362	12.634	3.906577E-10	1.241111E-09
210	22.363	14.366	2.254668E-10	1.198276E-09
211	24.440	12.634	3.580570E-10	1.024349E-09
212	24.440	14.366	2.227206E-10	1.054598E-09
213	26.215	12.634	2.986488E-10	8.920815E-10
214	26.215	14.366	1.968486E-10	9.460534E-10
215	28.985	12.634	2.083693E-10	7.616850E-10
216	28.985	14.366	1.419704E-10	8.073938E-10
217	31.267	12.634	1.367618E-10	6.920705E-10
218	31.267	14.366	9.330682E-11	7.344953E-10
219	34.732	12.634	3.546756E-11	6.379924E-10
220	34.732	14.366	2.449951E-11	6.796996E-10
221	18.261	15.634	8.218694E-11	1.411359E-09
222	18.262	17.366	2.686384E-12	1.328413E-09
223	18.953	15.634	3.386962E-11	1.365612E-09
224	18.954	17.366	-1.026252E-11	1.324834E-09
225	19.713	15.634	8.955233E-11	1.333259E-09
226	19.714	17.366	2.358233E-11	1.308614E-09
227	21.097	15.634	1.036757E-10	1.275493E-09
228	21.098	17.366	2.736689E-11	1.252673E-09
229	22.364	15.634	1.379638E-10	1.203312E-09
230	22.364	17.366	3.390631E-11	1.188521E-09
231	24.441	15.634	1.444176E-10	1.065673E-09
232	24.441	17.366	3.563470E-11	1.070961E-09
233	26.215	15.634	1.246741E-10	9.575936E-10
234	26.215	17.366	3.328485E-11	9.706240E-10
235	28.985	15.634	9.161278E-11	8.302403E-10
236	28.985	17.366	2.442345E-11	8.443571E-10
237	31.267	15.634	6.101611E-11	7.562757E-10
238	31.267	17.366	1.638080E-11	7.706687E-10
239	34.732	15.634	1.612753E-11	7.000276E-10
240	34.731	17.366	4.352505E-12	7.140821E-10

5.2 - Estudo da percolação sob a barragem de Crestuma.

A geometria do problema está apresentada na página seguite. Analogamente ao problema anterior, considera-se uma extensão para cada lado do corpo da barragem aproximadamente igual à distância da superfície ao estrato considerado impermeável.

Nos corta-águas existentes sob a barragem teve-se cuidados idênticos aos já referidos na definição da estaca-prancha como impermeável.

As condições fronteira do problema são as seguintes:

- *Condição fronteira de Dirichlet*

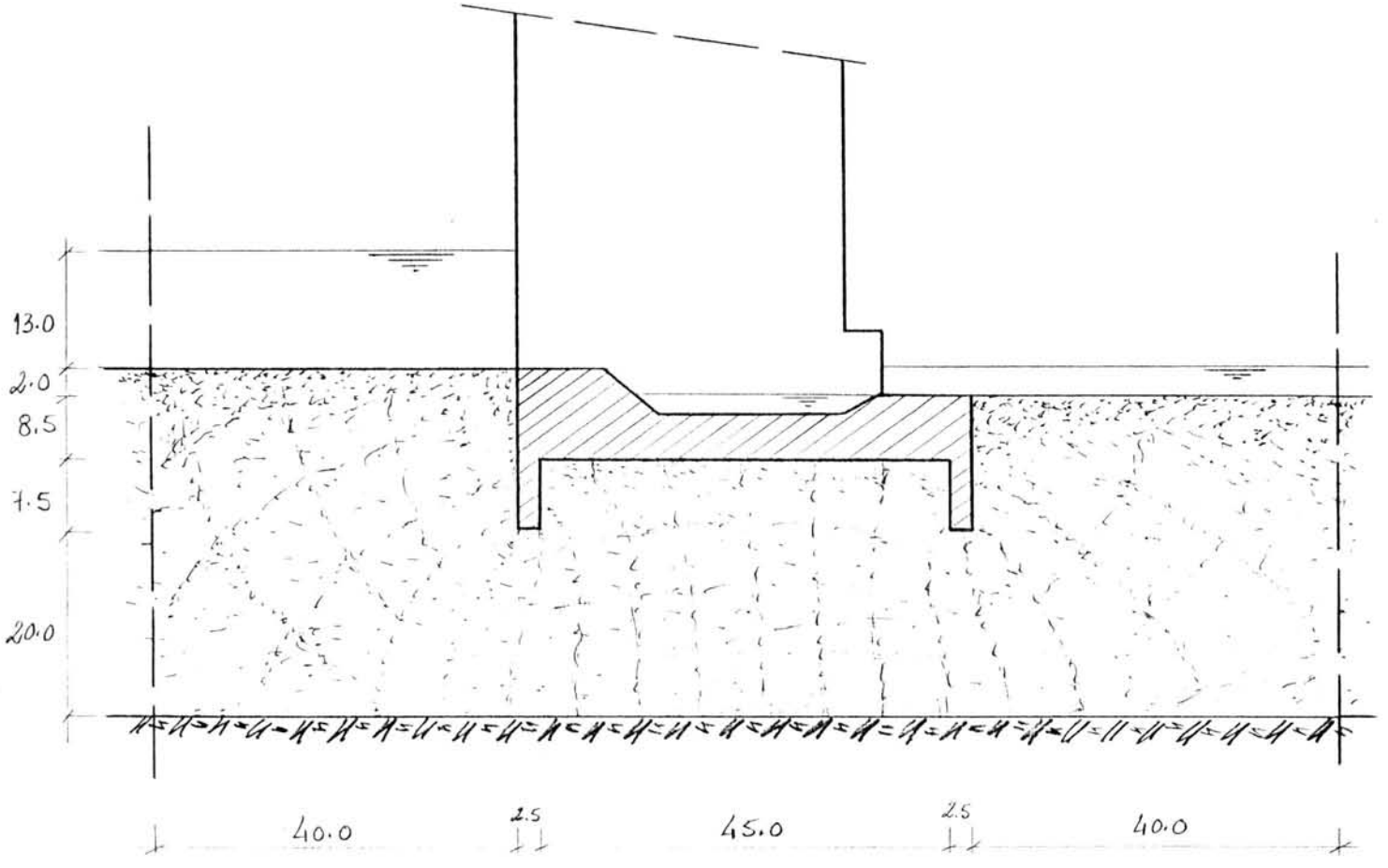
  A montante é imposta uma altura de água de 13 metros; a jusante, de 2 metros.

- *Condição fronteira de Cauchy*

  São definidas quatro fronteiras impermeáveis, isto é, quatro superfícieis em que a componente normal da velocidade de percolação é nula: corpo da barragem; a 35 metros de profundidade; a 40 metros de distância para cada lado do corpo da barragem .

Nas páginas seguintes são apresentados os ficheiros de dados e resultados e a Malha de Elementos Finitos

BARRAGEM DE CRESTUMA

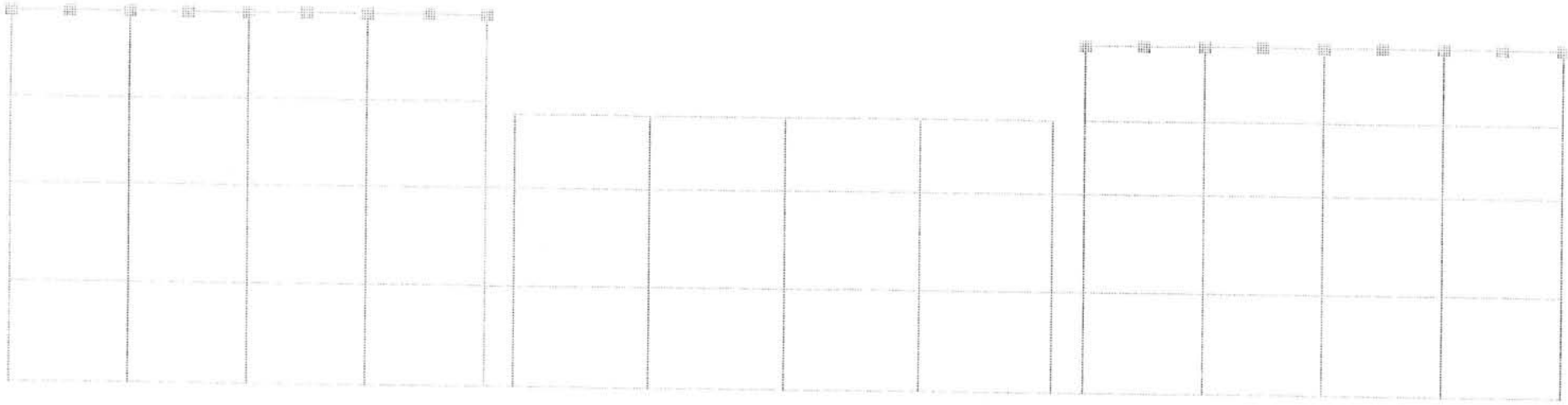


CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS:

$Q = 0$

$\theta = 0$

$K_x = K_y = 10^{-5}$ m/s



```
ESTUDO SOBRE CRESTUMA
  36    5    8
   1    1    1    2    3   17   33   32   31   16
   2    1    3    4    5   13   24   23   22   12
   3    1    5    6    7   19   30   29   28   18
   4    1    7    8    9   15   27   26   25   14
   5    1    9   10   11   21   36   35   34   20
   1      0.0    0.0     0
   3     40.0    0.0     0
   5     42.5    0.0     0
   7     87.5    0.0     0
   9     90.0    0.0     0
  11    130.0    0.0     0
  22     40.0   20.0     0
  24     42.5   20.0     0
  28     42.5   27.5     0
  30     87.5   27.5     0
  25     87.5   20.0     0
  27     90.0   20.0     0
  31      0.0   37.5     0
  33     40.0   37.5     0
  34     90.0   35.0     0
  36    130.0   35.0     0
   4     4
   1     1    1      1
  10    10    8.75   8.75
   1    2
   1
   1    1
   4    3
   1    1    1    1
  10   10    7.5
   1    2
   1
   1    1
   4    4
   1    1    1    1
  10    10   7.5  7.5
```

187 48 18 1 8 1 2

1	1	1	2	3	11	17	16	15	10
2	1	3	4	5	12	19	18	17	11
3	1	5	6	7	13	21	20	19	12
4	1	7	8	9	14	23	22	21	13
5	1	15	16	17	25	31	30	29	24
6	1	17	18	19	26	33	32	31	25
7	1	19	20	21	27	35	34	33	26
8	1	21	22	23	28	37	36	35	27
9	1	29	30	31	39	45	44	43	38
10	1	31	32	33	40	47	46	45	39
11	1	33	34	35	41	49	48	47	40
12	1	35	36	37	42	51	50	49	41
13	1	43	44	45	53	59	58	57	52
14	1	45	46	47	54	61	60	59	53
15	1	47	48	49	55	63	62	61	54
16	1	49	50	51	56	65	64	63	55
17	1	9	66	67	68	70	69	23	14
18	1	23	69	70	71	73	72	37	28
19	1	67	74	75	82	87	86	70	68
20	1	75	76	77	83	89	88	87	82
21	1	77	78	79	84	91	90	89	83
22	1	79	80	81	85	93	92	91	84
23	1	70	86	87	94	99	98	73	71
24	1	87	88	89	95	101	100	99	94
25	1	89	90	91	96	103	102	101	95
26	1	91	92	93	97	105	104	103	96
27	1	73	98	99	107	113	112	111	106
28	1	99	100	101	108	115	114	113	107
29	1	101	102	103	109	117	116	115	108
30	1	103	104	105	110	119	118	117	109
31	1	81	120	121	122	124	123	93	85
32	1	93	123	124	125	127	126	105	97
33	1	121	128	129	136	141	140	124	122
34	1	129	130	131	137	143	142	141	136
35	1	131	132	133	138	145	144	143	137
36	1	133	134	135	139	147	146	145	138
37	1	124	140	141	148	153	152	127	125
38	1	141	142	143	149	155	154	153	148
39	1	143	144	145	150	157	156	155	149
40	1	145	146	147	151	159	158	157	150
41	1	127	152	153	161	167	166	165	160
42	1	153	154	155	162	169	168	167	161
43	1	155	156	157	163	171	170	169	162
44	1	157	158	159	164	173	172	171	163
45	1	165	166	167	175	181	180	179	174
46	1	167	168	169	176	183	182	181	175
47	1	169	170	171	177	185	184	183	176
48	1	171	172	173	178	187	186	185	177

1	.00000	.00000
2	5.00000	.00000
3	10.00000	.00000
4	15.00000	.00000
5	20.00000	.00000
6	25.00000	.00000
7	30.00000	.00000
8	35.00000	.00000
9	40.00000	.00000
10	.00000	5.00000
11	10.00000	5.00000
12	20.00000	5.00000

13	30.00000	5.00000
14	40.00000	5.00000
15	.00000	10.00000
16	5.00000	10.00000
17	10.00000	10.00000
18	15.00000	10.00000
19	20.00000	10.00000
20	25.00000	10.00000
21	30.00000	10.00000
22	35.00000	10.00000
23	40.00000	10.00000
24	.00000	15.00000
25	10.00000	15.00000
26	20.00000	15.00000
27	30.00000	15.00000
28	40.00000	15.00000
29	.00000	20.00000
30	5.00000	20.00000
31	10.00000	20.00000
32	15.00000	20.00000
33	20.00000	20.00000
34	25.00000	20.00000
35	30.00000	20.00000
36	35.00000	20.00000
37	40.00000	20.00000
38	.00000	24.37500
39	10.00000	24.37500
40	20.00000	24.37500
41	30.00000	24.37500
42	40.00000	24.37500
43	.00000	28.75000
44	5.00000	28.75000
45	10.00000	28.75000
46	15.00000	28.75000
47	20.00000	28.75000
48	25.00000	28.75000
49	30.00000	28.75000
50	35.00000	28.75000
51	40.00000	28.75000
52	.00000	33.12500
53	10.00000	33.12500
54	20.00000	33.12500
55	30.00000	33.12500
56	40.00000	33.12500
57	.00000	37.50000
58	5.00000	37.50000
59	10.00000	37.50000
60	15.00000	37.50000
61	20.00000	37.50000
62	25.00000	37.50000
63	30.00000	37.50000
64	35.00000	37.50000
65	40.00000	37.50000
66	41.25000	.00000
67	42.50000	.00000
68	42.50000	5.00000
69	41.25000	10.00000
70	42.50000	10.00000
71	42.50000	15.00000
72	41.25000	20.00000
73	42.50000	20.00000
74	48.12500	.00000
75	53.75000	.00000
76	59.37500	.00000

77	65.00000	.00000
78	70.62500	.00000
79	76.25000	.00000
80	81.87500	.00000
81	87.50000	.00000
82	53.75000	5.00000
83	65.00000	5.00000
84	76.25000	5.00000
85	87.50000	5.00000
86	48.12500	10.00000
87	53.75000	10.00000
88	59.37500	10.00000
89	65.00000	10.00000
90	70.62500	10.00000
91	76.25000	10.00000
92	81.87500	10.00000
93	87.50000	10.00000
94	53.75000	15.00000
95	65.00000	15.00000
96	76.25000	15.00000
97	87.50000	15.00000
98	48.12500	20.00000
99	53.75000	20.00000
100	59.37500	20.00000
101	65.00000	20.00000
102	70.62500	20.00000
103	76.25000	20.00000
104	81.87500	20.00000
105	87.50000	20.00000
106	42.50000	23.75000
107	53.75000	23.75000
108	65.00000	23.75000
109	76.25000	23.75000
110	87.50000	23.75000
111	42.50000	27.50000
112	48.12500	27.50000
113	53.75000	27.50000
114	59.37500	27.50000
115	65.00000	27.50000
116	70.62500	27.50000
117	76.25000	27.50000
118	81.87500	27.50000
119	87.50000	27.50000
120	88.75000	.00000
121	90.00000	.00000
122	90.00000	5.00000
123	88.75000	10.00000
124	90.00000	10.00000
125	90.00000	15.00000
126	88.75000	20.00000
127	90.00000	20.00000
128	95.00000	.00000
129	100.00000	.00000
130	105.00000	.00000
131	110.00000	.00000
132	115.00000	.00000
133	120.00000	.00000
134	125.00000	.00000
135	130.00000	.00000
136	100.00000	5.00000
137	110.00000	5.00000
138	120.00000	5.00000
139	130.00000	5.00000
140	95.00000	10.00000

```
  141     100.00000   10.00000
  142     105.00000   10.00000
  143     110.00000   10.00000
  144     115.00000   10.00000
  145     120.00000   10.00000
  146     125.00000   10.00000
  147     130.00000   10.00000
  148     100.00000   15.00000
  149     110.00000   15.00000
  150     120.00000   15.00000
  151     130.00000   15.00000
  152      95.00000   20.00000
  153     100.00000   20.00000
  154     105.00000   20.00000
  155     110.00000   20.00000
  156     115.00000   20.00000
  157     120.00000   20.00000
  158     125.00000   20.00000
  159     130.00000   20.00000
  160      90.00000   23.75000
  161     100.00000   23.75000
  162     110.00000   23.75000
  163     120.00000   23.75000
  164     130.00000   23.75000
  165      90.00000   27.50000
  166      95.00000   27.50000
  167     100.00000   27.50000
  168     105.00000   27.50000
  169     110.00000   27.50000
  170     115.00000   27.50000
  171     120.00000   27.50000
  172     125.00000   27.50000
  173     130.00000   27.50000
  174      90.00000   31.25000
  175     100.00000   31.25000
  176     110.00000   31.25000
  177     120.00000   31.25000
  178     130.00000   31.25000
  179      90.00000   35.00000
  180      95.00000   35.00000
  181     100.00000   35.00000
  182     105.00000   35.00000
  183     110.00000   35.00000
  184     115.00000   35.00000
  185     120.00000   35.00000
  186     125.00000   35.00000
  187     130.00000   35.00000
1
10e-5    10e-5    0    0
   57     50.5
   58     50.5
   59     50.5
   60     50.5
   61     50.5
   62     50.5
   63     50.5
   64     50.5
   65     50.5
  179     37.0
  180     37.0
  181     37.0
  182     37.0
  183     37.0
  184     37.0
```

185	37.0
186	37.0
187	37.0

48	187	18								
1	9	1	2	3	11	17	16	15	10	1
2	9	3	4	5	12	19	18	17	11	3
3	9	5	6	7	13	21	20	19	12	5
4	9	7	8	9	14	23	22	21	13	7
5	9	15	16	17	25	31	30	29	24	15
6	9	17	18	19	26	33	32	31	25	17
7	9	19	20	21	27	35	34	33	26	19
8	9	21	22	23	28	37	36	35	27	21
9	9	29	30	31	39	45	44	43	38	29
10	9	31	32	33	40	47	46	45	39	31
11	9	33	34	35	41	49	48	47	40	33
12	9	35	36	37	42	51	50	49	41	35
13	9	43	44	45	53	59	58	57	52	43
14	9	45	46	47	54	61	60	59	53	45
15	9	47	48	49	55	63	62	61	54	47
16	9	49	50	51	56	65	64	63	55	49
17	9	9	66	67	68	70	69	23	14	9
18	9	23	69	70	71	73	72	37	28	23
19	9	67	74	75	82	87	86	70	68	67
20	9	75	76	77	83	89	88	87	82	75
21	9	77	78	79	84	91	90	89	83	77
22	9	79	80	81	85	93	92	91	84	79
23	9	70	86	87	94	99	98	73	71	70
24	9	87	88	89	95	101	100	99	94	87
25	9	89	90	91	96	103	102	101	95	89
26	9	91	92	93	97	105	104	103	96	91
27	9	73	98	99	107	113	112	111	106	73
28	9	99	100	101	108	115	114	113	107	99
29	9	101	102	103	109	117	116	115	108	101
30	9	103	104	105	110	119	118	117	109	103
31	9	81	120	121	122	124	123	93	85	81
32	9	93	123	124	125	127	126	105	97	93
33	9	121	128	129	136	141	140	124	122	121
34	9	129	130	131	137	143	142	141	136	129
35	9	131	132	133	138	145	144	143	137	131
36	9	133	134	135	139	147	146	145	138	133
37	9	124	140	141	143	153	152	127	125	124
38	9	141	142	143	149	155	154	153	148	141
39	9	143	144	145	150	157	156	155	149	143
40	9	145	146	147	151	159	158	157	150	145
41	9	127	152	153	161	167	166	165	160	127
42	9	153	154	155	162	169	168	167	161	153
43	9	155	156	157	163	171	170	169	162	155
44	9	157	158	159	164	173	172	171	163	157
45	9	165	166	167	175	181	180	179	174	165
46	9	167	168	169	176	183	182	181	175	167
47	9	169	170	171	177	185	184	183	176	169
48	9	171	172	173	178	187	186	185	177	171

1	0.00000000	0.00000000	0.00000000
2	0.00000000	5.00000000	0.00000000
3	0.00000000	10.00000000	0.00000000
4	0.00000000	15.00000000	0.00000000
5	0.00000000	20.00000000	0.00000000
6	0.00000000	25.00000000	0.00000000
7	0.00000000	30.00000000	0.00000000
8	0.00000000	35.00000000	0.00000000
9	0.00000000	40.00000000	0.00000000
10	0.00000000	0.00000000	5.00000000
11	0.00000000	10.00000000	5.00000000
12	0.00000000	20.00000000	5.00000000
13	0.00000000	30.00000000	5.00000000

14	0.00000000	40.00000000	5.00000000
15	0.00000000	0.00000000	10.00000000
16	0.00000000	5.00000000	10.00000000
17	0.00000000	10.00000000	10.00000000
18	0.00000000	15.00000000	10.00000000
19	0.00000000	20.00000000	10.00000000
20	0.00000000	25.00000000	10.00000000
21	0.00000000	30.00000000	10.00000000
22	0.00000000	35.00000000	10.00000000
23	0.00000000	40.00000000	10.00000000
24	0.00000000	0.00000000	15.00000000
25	0.00000000	10.00000000	15.00000000
26	0.00000000	20.00000000	15.00000000
27	0.00000000	30.00000000	15.00000000
28	0.00000000	40.00000000	15.00000000
29	0.00000000	0.00000000	20.00000000
30	0.00000000	5.00000000	20.00000000
31	0.00000000	10.00000000	20.00000000
32	0.00000000	15.00000000	20.00000000
33	0.00000000	20.00000000	20.00000000
34	0.00000000	25.00000000	20.00000000
35	0.00000000	30.00000000	20.00000000
36	0.00000000	35.00000000	20.00000000
37	0.00000000	40.00000000	20.00000000
38	0.00000000	0.00000000	24.37500000
39	0.00000000	10.00000000	24.37500000
40	0.00000000	20.00000000	24.37500000
41	0.00000000	30.00000000	24.37500000
42	0.00000000	40.00000000	24.37500000
43	0.00000000	0.00000000	28.75000000
44	0.00000000	5.00000000	28.75000000
45	0.00000000	10.00000000	28.75000000
46	0.00000000	15.00000000	28.75000000
47	0.00000000	20.00000000	28.75000000
48	0.00000000	25.00000000	28.75000000
49	0.00000000	30.00000000	28.75000000
50	0.00000000	35.00000000	28.75000000
51	0.00000000	40.00000000	28.75000000
52	0.00000000	0.00000000	33.12500000
53	0.00000000	10.00000000	33.12500000
54	0.00000000	20.00000000	33.12500000
55	0.00000000	30.00000000	33.12500000
56	0.00000000	40.00000000	33.12500000
57	0.00000000	0.00000000	37.50000000
58	0.00000000	5.00000000	37.50000000
59	0.00000000	10.00000000	37.50000000
60	0.00000000	15.00000000	37.50000000
61	0.00000000	20.00000000	37.50000000
62	0.00000000	25.00000000	37.50000000
63	0.00000000	30.00000000	37.50000000
64	0.00000000	35.00000000	37.50000000
65	0.00000000	40.00000000	37.50000000
66	0.00000000	41.25000000	0.00000000
67	0.00000000	42.50000000	0.00000000
68	0.00000000	42.50000000	5.00000000
69	0.00000000	41.25000000	10.00000000
70	0.00000000	42.50000000	10.00000000
71	0.00000000	42.50000000	15.00000000
72	0.00000000	41.25000000	20.00000000
73	0.00000000	42.50000000	20.00000000
74	0.00000000	48.12500000	0.00000000
75	0.00000000	53.75000000	0.00000000
76	0.00000000	59.37500000	0.00000000

77	0.00000000	65.00000000	0.00000000
78	0.00000000	70.62500000	0.00000000
79	0.00000000	76.25000000	0.00000000
80	0.00000000	81.87500000	0.00000000
81	0.00000000	87.50000000	0.00000000
82	0.00000000	53.75000000	5.00000000
83	0.00000000	65.00000000	5.00000000
84	0.00000000	76.25000000	5.00000000
85	0.00000000	87.50000000	5.00000000
86	0.00000000	48.12500000	10.00000000
87	0.00000000	53.75000000	10.00000000
88	0.00000000	59.37500000	10.00000000
89	0.00000000	65.00000000	10.00000000
90	0.00000000	70.62500000	10.00000000
91	0.00000000	76.25000000	10.00000000
92	0.00000000	81.87500000	10.00000000
93	0.00000000	87.50000000	10.00000000
94	0.00000000	53.75000000	15.00000000
95	0.00000000	65.00000000	15.00000000
96	0.00000000	76.25000000	15.00000000
97	0.00000000	87.50000000	15.00000000
98	0.00000000	48.12500000	20.00000000
99	0.00000000	53.75000000	20.00000000
100	0.00000000	59.37500000	20.00000000
101	0.00000000	65.00000000	20.00000000
102	0.00000000	70.62500000	20.00000000
103	0.00000000	76.25000000	20.00000000
104	0.00000000	81.87500000	20.00000000
105	0.00000000	87.50000000	20.00000000
106	0.00000000	42.50000000	23.75000000
107	0.00000000	53.75000000	23.75000000
108	0.00000000	65.00000000	23.75000000
109	0.00000000	76.25000000	23.75000000
110	0.00000000	87.50000000	23.75000000
111	0.00000000	42.50000000	27.50000000
112	0.00000000	48.12500000	27.50000000
113	0.00000000	53.75000000	27.50000000
114	0.00000000	59.37500000	27.50000000
115	0.00000000	65.00000000	27.50000000
116	0.00000000	70.62500000	27.50000000
117	0.00000000	76.25000000	27.50000000
118	0.00000000	81.87500000	27.50000000
119	0.00000000	87.50000000	27.50000000
120	0.00000000	88.75000000	0.00000000
121	0.00000000	90.00000000	0.00000000
122	0.00000000	90.00000000	5.00000000
123	0.00000000	88.75000000	10.00000000
124	0.00000000	90.00000000	10.00000000
125	0.00000000	90.00000000	15.00000000
126	0.00000000	88.75000000	20.00000000
127	0.00000000	90.00000000	20.00000000
128	0.00000000	95.00000000	0.00000000
129	0.00000000	100.00000000	0.00000000
130	0.00000000	105.00000000	0.00000000
131	0.00000000	110.00000000	0.00000000
132	0.00000000	115.00000000	0.00000000
133	0.00000000	120.00000000	0.00000000
134	0.00000000	125.00000000	0.00000000
135	0.00000000	130.00000000	0.00000000
136	0.00000000	100.00000000	5.00000000
137	0.00000000	110.00000000	5.00000000
138	0.00000000	120.00000000	5.00000000
139	0.00000000	130.00000000	5.00000000
140	0.00000000	95.00000000	10.00000000

141	0.00000000	100.00000000	10.00000000
142	0.00000000	105.00000000	10.00000000
143	0.00000000	110.00000000	10.00000000
144	0.00000000	115.00000000	10.00000000
145	0.00000000	120.00000000	10.00000000
146	0.00000000	125.00000000	10.00000000
147	0.00000000	130.00000000	10.00000000
148	0.00000000	100.00000000	15.00000000
149	0.00000000	110.00000000	15.00000000
150	0.00000000	120.00000000	15.00000000
151	0.00000000	130.00000000	15.00000000
152	0.00000000	95.00000000	20.00000000
153	0.00000000	100.00000000	20.00000000
154	0.00000000	105.00000000	20.00000000
155	0.00000000	110.00000000	20.00000000
156	0.00000000	115.00000000	20.00000000
157	0.00000000	120.00000000	20.00000000
158	0.00000000	125.00000000	20.00000000
159	0.00000000	130.00000000	20.00000000
160	0.00000000	90.00000000	23.75000000
161	0.00000000	100.00000000	23.75000000
162	0.00000000	110.00000000	23.75000000
163	0.00000000	120.00000000	23.75000000
164	0.00000000	130.00000000	23.75000000
165	0.00000000	90.00000000	27.50000000
166	0.00000000	95.00000000	27.50000000
167	0.00000000	100.00000000	27.50000000
168	0.00000000	105.00000000	27.50000000
169	0.00000000	110.00000000	27.50000000
170	0.00000000	115.00000000	27.50000000
171	0.00000000	120.00000000	27.50000000
172	0.00000000	125.00000000	27.50000000
173	0.00000000	130.00000000	27.50000000
174	0.00000000	90.00000000	31.25000000
175	0.00000000	100.00000000	31.25000000
176	0.00000000	110.00000000	31.25000000
177	0.00000000	120.00000000	31.25000000
178	0.00000000	130.00000000	31.25000000
179	0.00000000	90.00000000	35.00000000
180	0.00000000	95.00000000	35.00000000
181	0.00000000	100.00000000	35.00000000
182	0.00000000	105.00000000	35.00000000
183	0.00000000	110.00000000	35.00000000
184	0.00000000	115.00000000	35.00000000
185	0.00000000	120.00000000	35.00000000
186	0.00000000	125.00000000	35.00000000
187	0.00000000	130.00000000	35.00000000

1	57
2	58
3	59
4	60
5	61
6	62
7	63
8	64
9	65
10	179
11	180
12	181
13	182
14	183
15	184
16	185
17	186

18 187

```
*****************************************************************************
***************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "QUASAR" [versão 4.00] ****
***************  Ficheiro de dados :       crestuma.dat  ****   12-07-92   ****
***************  Ficheiro de resultados : crestuma.res  ****   14:06:08   ****
*****************************************************************************
```

ESTUDO SOBRE CRESTUMA

```
*****************************************************************************
```

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Nº. total de nós	(NPOIN) =	187
Nº. total de elementos	(NELEM) =	48
Nº. de nós com valores fixos	(NVFIX) =	18
Nº. de materiais	(NMATS) =	1
Nº. de nós/elemento	(NNODE) =	8
Tipo de problema	(NTYPE) =	1
Nº de pontos de integração	(NGAUS) =	2
Nº. de graus de liberdade/nó	(NDOFN) =	1
Nº. de coordenadas/nó	(NDIME) =	2
Nº. de propriedades/material	(NPROP) =	4
Nº. de variáveis/elemento	(NEVAB) =	8
Nº. total de variáveis	(NTOTV) =	187
Nº. total de pontos de Gauss	(NTOTG) =	192

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "QCHEK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle

***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

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

27	1	73	98	99	107	113	112	111	106
28	1	99	100	101	108	115	114	113	107
29	1	101	102	103	109	117	116	115	108
30	1	103	104	105	110	119	118	117	109
31	1	81	120	121	122	124	123	93	85
32	1	93	123	124	125	127	126	105	97
33	1	121	128	129	136	141	140	124	122
34	1	129	130	131	137	143	142	141	136
35	1	131	132	133	138	145	144	143	137
36	1	133	134	135	139	147	146	145	138
37	1	124	140	141	148	153	152	127	125
38	1	141	142	143	149	155	154	153	148
39	1	143	144	145	150	157	156	155	149
40	1	145	146	147	151	159	158	157	150
41	1	127	152	153	161	167	166	165	160
42	1	153	154	155	162	169	168	167	161
43	1	155	156	157	163	171	170	169	162
44	1	157	158	159	164	173	172	171	163
45	1	165	166	167	175	181	180	179	174
46	1	167	168	169	176	183	182	181	175
47	1	169	170	171	177	185	184	183	176
48	1	171	172	173	178	187	186	185	177

SEMIBANDA VARIAVEL ARMAZENADA EM VECTOR POR LINHAS

número de linhas	=	187
largura máxima	=	62
banda inicial — comprimento	=	2602
banda inicial — % de zeros	=	40.23
banda efectiva — comprimento	=	5032
banda efectiva — % de zeros	=	69.12

Economia de espaço em relação a outras técnicas

banda constante	*	56.60 %
triângulo superior em vector	*	71.37 %
armazenamento completo	*	85.61 %

*** COORDENADAS NODAIS

Nó	X(m)	Y(m)	Nó	X(m)	Y(m)
1	.00000	.00000	95	65.00000	15.00000
2	5.00000	.00000	96	76.25000	15.00000
3	10.00000	.00000	97	87.50000	15.00000
4	15.00000	.00000	98	48.12500	20.00000
5	20.00000	.00000	99	53.75000	20.00000
6	25.00000	.00000	100	59.37500	20.00000
7	30.00000	.00000	101	65.00000	20.00000
8	35.00000	.00000	102	70.62500	20.00000
9	40.00000	.00000	103	76.25000	20.00000
10	.00000	5.00000	104	81.87500	20.00000
11	10.00000	5.00000	105	87.50000	20.00000
12	20.00000	5.00000	106	42.50000	23.75000
13	30.00000	5.00000	107	53.75000	23.75000
14	40.00000	5.00000	108	65.00000	23.75000
15	.00000	10.00000	109	76.25000	23.75000
16	5.00000	10.00000	110	87.50000	23.75000
17	10.00000	10.00000	111	42.50000	27.50000
18	15.00000	10.00000	112	48.12500	27.50000
19	20.00000	10.00000	113	53.75000	27.50000
20	25.00000	10.00000	114	59.37500	27.50000
21	30.00000	10.00000	115	65.00000	27.50000
22	35.00000	10.00000	116	70.62500	27.50000

23	40.00000	10.00000
24	.00000	15.00000
25	10.00000	15.00000
26	20.00000	15.00000
27	30.00000	15.00000
28	40.00000	15.00000
29	.00000	20.00000
30	5.00000	20.00000
31	10.00000	20.00000
32	15.00000	20.00000
33	20.00000	20.00000
34	25.00000	20.00000
35	30.00000	20.00000
36	35.00000	20.00000
37	40.00000	20.00000
38	.00000	24.37500
39	10.00000	24.37500
40	20.00000	24.37500
41	30.00000	24.37500
42	40.00000	24.37500
43	.00000	28.75000
44	5.00000	28.75000
45	10.00000	28.75000
46	15.00000	28.75000
47	20.00000	28.75000
48	25.00000	28.75000
49	30.00000	28.75000
50	35.00000	28.75000
51	40.00000	28.75000
52	.00000	33.12500
53	10.00000	33.12500
54	20.00000	33.12500
55	30.00000	33.12500
56	40.00000	33.12500
57	.00000	37.50000
58	5.00000	37.50000
59	10.00000	37.50000
60	15.00000	37.50000
61	20.00000	37.50000
62	25.00000	37.50000
63	30.00000	37.50000
64	35.00000	37.50000
65	40.00000	37.50000
66	41.25000	.00000
67	42.50000	.00000
68	42.50000	5.00000
69	41.25000	10.00000
70	42.50000	10.00000
71	42.50000	15.00000
72	41.25000	20.00000
73	42.50000	20.00000
74	48.12500	.00000
75	53.75000	.00000
76	59.37500	.00000
77	65.00000	.00000
78	70.62500	.00000
79	76.25000	.00000
80	81.87500	.00000
81	87.50000	.00000
82	53.75000	5.00000
83	65.00000	5.00000
84	76.25000	5.00000
85	87.50000	5.00000
86	48.12500	10.00000
117	76.25000	27.50000
118	81.87500	27.50000
119	87.50000	27.50000
120	88.75000	.00000
121	90.00000	.00000
122	90.00000	5.00000
123	88.75000	10.00000
124	90.00000	10.00000
125	90.00000	15.00000
126	88.75000	20.00000
127	90.00000	20.00000
128	95.00000	.00000
129	100.00000	.00000
130	105.00000	.00000
131	110.00000	.00000
132	115.00000	.00000
133	120.00000	.00000
134	125.00000	.00000
135	130.00000	.00000
136	100.00000	5.00000
137	110.00000	5.00000
138	120.00000	5.00000
139	130.00000	5.00000
140	95.00000	10.00000
141	100.00000	10.00000
142	105.00000	10.00000
143	110.00000	10.00000
144	115.00000	10.00000
145	120.00000	10.00000
146	125.00000	10.00000
147	130.00000	10.00000
148	100.00000	15.00000
149	110.00000	15.00000
150	120.00000	15.00000
151	130.00000	15.00000
152	95.00000	20.00000
153	100.00000	20.00000
154	105.00000	20.00000
155	110.00000	20.00000
156	115.00000	20.00000
157	120.00000	20.00000
158	125.00000	20.00000
159	130.00000	20.00000
160	90.00000	23.75000
161	100.00000	23.75000
162	110.00000	23.75000
163	120.00000	23.75000
164	130.00000	23.75000
165	90.00000	27.50000
166	95.00000	27.50000
167	100.00000	27.50000
168	105.00000	27.50000
169	110.00000	27.50000
170	115.00000	27.50000
171	120.00000	27.50000
172	125.00000	27.50000
173	130.00000	27.50000
174	90.00000	31.25000
175	100.00000	31.25000
176	110.00000	31.25000
177	120.00000	31.25000
178	130.00000	31.25000
179	90.00000	35.00000
180	95.00000	35.00000

87	53.75000	10.00000	181	100.00000	35.00000
88	59.37500	10.00000	182	105.00000	35.00000
89	65.00000	10.00000	183	110.00000	35.00000
90	70.62500	10.00000	184	115.00000	35.00000
91	76.25000	10.00000	185	120.00000	35.00000
92	81.87500	10.00000	186	125.00000	35.00000
93	87.50000	10.00000	187	130.00000	35.00000
94	53.75000	15.00000			

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "QCHEK2" :
*** Não foram detectados erros na topologia da malha

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Mat.	kx' m/s	ky' m/s	θ °	Q -
1	1.00000E-04	1.00000E-04	.00	.00000E+00

*** CONDICOES-FRONTEIRA DE DIRICHLET

Nó	Valor
57	50.50000
58	50.50000
59	50.50000
60	50.50000
61	50.50000
62	50.50000
63	50.50000
64	50.50000
65	50.50000
179	37.00000
180	37.00000
181	37.00000
182	37.00000
183	37.00000
184	37.00000
185	37.00000
186	37.00000
187	37.00000

********** Potenciais **********

Nó	ø(m)	Nó	ø(m)	Nó	ø(m)
1	4.909832E+01	64	5.050000E+01	127	3.966515E+01
2	4.906214E+01	65	5.050000E+01	128	3.989807E+01
3	4.897358E+01	66	4.666179E+01	129	3.941666E+01
4	4.881492E+01	67	4.649702E+01	130	3.902144E+01
5	4.858256E+01	68	4.653012E+01	131	3.870787E+01
6	4.826507E+01	69	4.675566E+01	132	3.847900E+01
7	4.786742E+01	70	4.654009E+01	133	3.832330E+01
8	4.738215E+01	71	4.667932E+01	134	3.823070E+01
9	4.682610E+01	72	4.701046E+01	135	3.820074E+01
10	4.912951E+01	73	4.642487E+01	136	3.937059E+01
11	4.900800E+01	74	4.579362E+01	137	3.966980E+01
12	4.862051E+01	75	4.507221E+01	138	3.928940E+01
13	4.791198E+01	76	4.435560E+01	139	3.817071E+01
14	4.683633E+01	77	4.363887E+01	140	3.972083E+01
15	4.921976E+01	78	4.292214E+01	141	3.923807E+01
16	4.919179E+01	79	4.220564E+01	142	3.884231E+01

17	4.910485E+01	80	4.148441E+01	143	3.854719E+01
18	4.895886E+01	81	4.078200E+01	144	3.833631E+01
19	4.874329E+01	82	4.507058E+01	145	3.819423E+01
20	4.844351E+01	83	4.363885E+01	146	3.810975E+01
21	4.804182E+01	84	4.220720E+01	147	3.808269E+01
22	4.755952E+01	85	4.074802E+01	148	3.895316E+01
23	4.696345E+01	86	4.578878E+01	149	3.835126E+01
24	4.936654E+01	87	4.506749E+01	150	3.803643E+01
25	4.926556E+01	88	4.434656E+01	151	3.793987E+01
26	4.893973E+01	89	4.363884E+01	152	3.896402E+01
27	4.832757E+01	90	4.293111E+01	153	3.857942E+01
28	4.704028E+01	91	4.221015E+01	154	3.828647E+01
29	4.956210E+01	92	4.148888E+01	155	3.808217E+01
30	4.954216E+01	93	4.073711E+01	156	3.792931E+01
31	4.947916E+01	94	4.500940E+01	157	3.782780E+01
32	4.937052E+01	95	4.363882E+01	158	3.776905E+01
33	4.920909E+01	96	4.226821E+01	159	3.775059E+01
34	4.899643E+01	97	4.059787E+01	160	3.868395E+01
35	4.869986E+01	98	4.560370E+01	161	3.822653E+01
36	4.829790E+01	99	4.498368E+01	162	3.783307E+01
37	4.761207E+01	100	4.430361E+01	163	3.764334E+01
38	4.976854E+01	101	4.363881E+01	164	3.758185E+01
39	4.970264E+01	102	4.297399E+01	165	3.796669E+01
40	4.950225E+01	103	4.229390E+01	166	3.796353E+01
41	4.910303E+01	104	4.167382E+01	167	3.778175E+01
42	4.869433E+01	105	4.085269E+01	168	3.767252E+01
43	4.999777E+01	106	4.583007E+01	169	3.757233E+01
44	4.998752E+01	107	4.493192E+01	170	3.749288E+01
45	4.995505E+01	108	4.363830E+01	171	3.743799E+01
46	4.989679E+01	109	4.234565E+01	172	3.740759E+01
47	4.981441E+01	110	4.144743E+01	173	3.739802E+01
48	4.971540E+01	111	4.556901E+01	174	3.746587E+01
49	4.961121E+01	112	4.547305E+01	175	3.739207E+01
50	4.944585E+01	113	4.485169E+01	176	3.728889E+01
51	4.944790E+01	114	4.423058E+01	177	3.722252E+01
52	5.024503E+01	115	4.363830E+01	178	3.720159E+01
53	5.022253E+01	116	4.299701E+01	179	3.700000E+01
54	5.015405E+01	117	4.242586E+01	180	3.700000E+01
55	5.005588E+01	118	4.180451E+01	181	3.700000E+01
56	4.999356E+01	119	4.170851E+01	182	3.700000E+01
57	5.050000E+01	120	4.061750E+01	183	3.700000E+01
58	5.050000E+01	121	4.045367E+01	184	3.700000E+01
59	5.050000E+01	122	4.044224E+01	185	3.700000E+01
60	5.050000E+01	123	4.052096E+01	186	3.700000E+01
61	5.050000E+01	124	4.031243E+01	187	3.700000E+01
62	5.050000E+01	125	4.023705E+01		
63	5.050000E+01	126	4.026837E+01		

****** Reacções *****

Nó	Q(m3/s)
57	9.649032E-06
58	4.019241E-05
59	2.090620E-05
60	4.720313E-05
61	2.622813E-05
62	6.004580E-05
63	3.699809E-05
64	7.167974E-05
65	3.954054E-05
179	-2.393735E-05
180	-7.704654E-05

181	-3.809282E-05
182	-6.021486E-05
183	-2.554816E-05
184	-4.499430E-05
185	-1.950972E-05
186	-3.723300E-05
187	-8.866504E-06

********** Velocidade **********

p.G.	x(m)	y(m)	vx(m/s)	vy(m/s)
1	2.113	2.113	5.145743E-07	-5.201826E-07
2	2.113	7.887	4.875966E-07	-1.909663E-06
3	7.887	2.113	1.965687E-06	-5.607446E-07
4	7.887	7.887	1.873378E-06	-1.988387E-06
5	12.113	2.113	3.081796E-06	-5.857510E-07
6	12.113	7.887	2.939201E-06	-2.136734E-06
7	17.887	2.113	4.763425E-06	-6.064160E-07
8	17.887	7.887	4.565882E-06	-2.456208E-06
9	22.113	2.113	6.145399E-06	-7.279486E-07
10	22.113	7.887	5.921570E-06	-2.689339E-06
11	27.887	2.113	8.102662E-06	-8.037978E-07
12	27.887	7.887	8.168708E-06	-2.771274E-06
13	32.113	2.113	9.674732E-06	-7.470697E-07
14	32.113	7.887	9.601907E-06	-2.870947E-06
15	37.887	2.113	1.151895E-05	-3.225941E-07
16	37.887	7.887	1.201951E-05	-2.867684E-06
17	2.113	12.113	4.531710E-07	-2.864617E-06
18	2.113	17.887	3.746214E-07	-4.011154E-06
19	7.887	12.113	1.737406E-06	-3.021736E-06
20	7.887	17.887	1.446756E-06	-4.223235E-06
21	12.113	12.113	2.726621E-06	-3.220861E-06
22	12.113	17.887	2.310194E-06	-4.540191E-06
23	17.887	12.113	4.251361E-06	-3.615590E-06
24	17.887	17.887	3.611375E-06	-5.201876E-06
25	22.113	12.113	5.521095E-06	-4.129085E-06
26	22.113	17.887	4.531040E-06	-5.879494E-06
27	27.887	12.113	7.786603E-06	-5.148265E-06
28	27.887	17.887	6.556861E-06	-7.080111E-06
29	32.113	12.113	1.043625E-05	-5.131664E-06
30	32.113	17.887	9.356598E-06	-9.123272E-06
31	37.887	12.113	1.389387E-05	-2.354355E-06
32	37.887	17.887	1.508221E-05	-1.179190E-05
33	2.113	21.849	3.184843E-07	-4.678994E-06
34	2.113	26.901	2.252688E-07	-5.314737E-06
35	7.887	21.849	1.211271E-06	-4.897520E-06
36	7.887	26.901	8.401697E-07	-5.626858E-06
37	12.113	21.849	1.854415E-06	-5.287914E-06
38	12.113	26.901	1.298328E-06	-5.996169E-06
39	17.887	21.849	2.933785E-06	-6.217578E-06
40	17.887	26.901	1.995257E-06	-6.774635E-06
41	22.113	21.849	3.955424E-06	-6.866376E-06
42	22.113	26.901	2.713586E-06	-7.847766E-06
43	27.887	21.849	5.509146E-06	-8.230432E-06
44	27.887	26.901	3.217199E-06	-1.052232E-05
45	32.113	21.849	5.301844E-06	-1.075276E-05
46	32.113	26.901	2.973018E-06	-1.110534E-05
47	37.887	21.849	9.655156E-06	-2.015707E-05
48	37.887	26.901	1.309154E-06	-1.390083E-05
49	2.113	30.599	1.421698E-07	-5.650180E-06
50	2.113	35.651	4.363025E-08	-5.866364E-06
51	7.887	30.599	5.469081E-07	-5.914820E-06
52	7.887	35.651	1.520796E-07	-6.165574E-06

53	12.113	30.599	8.773044E-07	-6.354332E-06
54	12.113	35.651	2.261338E-07	-6.597307E-06
55	17.887	30.599	1.316554E-06	-7.310183E-06
56	17.887	35.651	3.438305E-07	-7.497336E-06
57	22.113	30.599	1.532685E-06	-8.242142E-06
58	22.113	35.651	3.939369E-07	-8.370589E-06
59	27.887	30.599	1.626732E-06	-9.635193E-06
60	27.887	35.651	4.191366E-07	-9.659073E-06
61	32.113	30.599	2.683745E-06	-1.130480E-05
62	32.113	35.651	6.247477E-07	-1.107472E-05
63	37.887	30.599	-3.655132E-07	-1.267701E-05
64	37.887	35.651	-1.922985E-07	-1.185769E-05
65	40.528	2.113	1.200076E-05	-1.907415E-07
66	40.528	7.887	1.398252E-05	-2.206698E-06
67	41.972	2.113	1.218554E-05	-5.798077E-07
68	41.972	7.887	1.455859E-05	-7.289307E-07
69	40.528	12.113	1.141512E-05	-1.245712E-06
70	40.528	17.887	2.969025E-05	-8.339654E-06
71	41.972	12.113	1.166961E-05	-2.760045E-06
72	41.972	17.887	2.867492E-05	1.994791E-06
73	44.877	2.113	1.273831E-05	-3.837958E-07
74	44.877	7.887	1.326819E-05	4.463939E-08
75	51.373	2.113	1.289966E-05	3.659497E-08
76	51.373	7.887	1.286033E-05	1.761154E-07
77	56.127	2.113	1.276394E-05	6.844119E-08
78	56.127	7.887	1.281881E-05	9.506674E-08
79	62.623	2.113	1.270872E-05	5.109467E-08
80	62.623	7.887	1.260567E-05	5.820055E-08
81	67.377	2.113	1.270858E-05	-5.077133E-08
82	67.377	7.887	1.260547E-05	-5.756551E-08
83	73.873	2.113	1.276227E-05	-6.777948E-08
84	73.873	7.887	1.281873E-05	-9.302969E-08
85	78.627	2.113	1.289769E-05	-3.620780E-08
86	78.627	7.887	1.285899E-05	-1.740179E-07
87	85.123	2.113	1.272545E-05	3.935573E-07
88	85.123	7.887	1.327124E-05	-3.331612E-08
89	44.877	12.113	1.497249E-05	-1.850001E-06
90	44.877	17.887	1.582540E-05	5.162527E-06
91	51.373	12.113	1.361388E-05	3.089426E-07
92	51.373	17.887	1.243852E-05	2.140819E-06
93	56.127	12.113	1.258583E-05	9.626712E-07
94	56.127	17.887	1.216820E-05	3.731707E-07
95	62.623	12.113	1.230589E-05	2.633248E-07
96	62.623	17.887	1.186366E-05	1.051768E-07
97	67.377	12.113	1.230587E-05	-2.624623E-07
98	67.377	17.887	1.186378E-05	-1.046937E-07
99	73.873	12.113	1.258643E-05	-9.620160E-07
100	73.873	17.887	1.216864E-05	-3.724996E-07
101	78.627	12.113	1.361440E-05	-8.063984E-07
102	78.627	17.887	1.244039E-05	-2.140023E-06
103	85.123	12.113	1.498040E-05	1.852717E-06
104	85.123	17.887	1.582762E-05	-5.166773E-06
105	44.877	21.585	1.086637E-05	1.010255E-05
106	44.877	25.915	2.845989E-06	2.182979E-06
107	51.373	21.585	9.888909E-06	1.310631E-06
108	51.373	25.915	1.047944E-05	-1.698727E-07
109	56.127	21.585	1.176122E-05	6.604465E-07
110	56.127	25.915	1.057462E-05	1.351564E-06
111	62.623	21.585	1.182049E-05	-1.024780E-07
112	62.623	25.915	1.165247E-05	8.255014E-08
113	67.377	21.585	1.182068E-05	1.028412E-07
114	67.377	25.915	1.165258E-05	-8.249587E-08
115	73.873	21.585	1.176166E-05	-6.602487E-07
116	73.873	25.915	1.057512E-05	-1.351353E-06

117	78.627	21.585	9.889869E-06	-1.310996E-06
118	78.627	25.915	1.047971E-05	1.696457E-07
119	85.123	21.585	1.086569E-05	-1.010275E-05
120	85.123	25.915	2.846240E-06	-2.183018E-06
121	88.028	2.113	1.216026E-05	5.968948E-07
122	88.028	7.887	1.457090E-05	7.545401E-07
123	89.472	2.113	1.196339E-05	2.101337E-07
124	89.472	7.887	1.400265E-05	2.253777E-06
125	88.028	12.113	1.168365E-05	2.755011E-06
126	88.028	17.887	2.867385E-05	-1.999302E-06
127	89.472	12.113	1.143878E-05	1.222195E-06
128	89.472	17.887	2.968383E-05	8.342325E-06
129	92.113	2.113	1.149655E-05	3.177481E-07
130	92.113	7.887	1.194333E-05	2.895924E-06
131	97.887	2.113	9.614269E-06	7.462592E-07
132	97.887	7.887	9.598879E-06	2.898809E-06
133	102.113	2.113	8.045611E-06	8.176145E-07
134	102.113	7.887	8.068661E-06	2.805034E-06
135	107.887	2.113	6.067256E-06	7.269321E-07
136	107.887	7.887	5.837326E-06	2.688836E-06
137	112.113	2.113	4.690683E-06	6.060006E-07
138	112.113	7.887	4.479160E-06	2.444919E-06
139	117.887	2.113	3.022284E-06	5.787940E-07
140	117.887	7.887	2.868906E-06	2.107225E-06
141	122.113	2.113	1.923957E-06	5.506258E-07
142	122.113	7.887	1.825379E-06	1.949378E-06
143	127.887	2.113	5.025581E-07	5.088849E-07
144	127.887	7.887	4.738513E-07	1.863834E-06
145	92.113	12.113	1.389023E-05	2.450712E-06
146	92.113	17.887	1.534043E-05	1.192754E-05
147	97.887	12.113	1.036300E-05	5.234216E-06
148	97.887	17.887	9.043989E-06	9.275235E-06
149	102.113	12.113	7.684559E-06	5.149886E-06
150	102.113	17.887	6.486829E-06	7.124773E-06
151	107.887	12.113	5.419103E-06	4.136514E-06
152	107.887	17.887	4.381130E-06	5.902441E-06
153	112.113	12.113	4.147577E-06	3.593456E-06
154	112.113	17.887	3.461922E-06	5.173927E-06
155	117.887	12.113	2.643827E-06	3.173073E-06
156	117.887	17.887	2.191003E-06	4.455830E-06
157	122.113	12.113	1.678582E-06	2.958452E-06
158	122.113	17.887	1.366241E-06	4.110921E-06
159	127.887	12.113	4.361890E-07	2.789377E-06
160	127.887	17.887	3.521396E-07	3.883605E-06
161	92.113	21.585	1.021428E-05	2.081319E-05
162	92.113	25.915	1.712466E-06	1.500141E-05
163	97.887	21.585	5.320826E-06	1.071593E-05
164	97.887	25.915	3.421266E-06	1.123017E-05
165	102.113	21.585	5.461207E-06	8.317131E-06
166	102.113	25.915	3.268629E-06	1.062455E-05
167	107.887	21.585	3.802480E-06	6.814774E-06
168	107.887	25.915	2.671294E-06	7.695220E-06
169	112.113	21.585	2.786632E-06	6.131283E-06
170	112.113	25.915	1.915101E-06	6.549725E-06
171	117.887	21.585	1.731661E-06	5.124964E-06
172	117.887	25.915	1.217278E-06	5.708157E-06
173	122.113	21.585	1.130553E-06	4.703172E-06
174	122.113	25.915	7.858354E-07	5.308852E-06
175	127.887	21.585	2.949944E-07	4.468206E-06
176	127.887	25.915	2.097744E-07	4.970568E-06
177	92.113	29.085	-2.926697E-07	1.357865E-05
178	92.113	33.415	-1.695291E-07	1.274534E-05
179	97.887	29.085	2.960926E-06	1.182308E-05
180	97.887	33.415	7.022692E-07	1.165355E-05

181	102.113	29.085	1.723694E-06	9.746341E-06
182	102.113	33.415	4.543703E-07	9.839737E-06
183	107.887	29.085	1.558988E-06	8.107000E-06
184	107.887	33.415	4.102375E-07	8.254980E-06
185	112.113	29.085	1.277841E-06	7.054279E-06
186	112.113	33.415	3.384985E-07	7.232632E-06
187	117.887	29.085	8.305848E-07	6.005898E-06
188	117.887	33.415	2.186565E-07	6.212651E-06
189	122.113	29.085	5.112503E-07	5.532204E-06
190	122.113	33.415	1.415799E-07	5.737109E-06
191	127.887	29.085	1.318358E-07	5.241200E-06
192	127.887	33.415	3.991605E-08	5.412660E-06

6 - ALTERAÇÕES NO PROGRAMA PLANE

6.1. Introdução da subrotina SMBDV

A primeira alteração a este programa, com vista a economizar memória no armazenamento dos coeficientes de rigidez, foi a introdução da subrotina SMBDV, criada para o programa PORTIC, já suficientemente descrita no trabalho n.º 1.

Esta alteração implicou alterações no programa principal e na subrotina GAUSS.

6.2. Consideração de elementos semi-infinitos

A modelação por Elementos Finitos de domínios não finitos implica o seu truncamento em zonas suficientemente afastadas da região de interesse. Foi este o procedimento adoptado nos pontos 5.1. e 5.2., aquando da aplicação do programa PLANE aos problemas da barragem de Crestuma e da estaca-prancha.

A dificuldade reside em saber-se a que distância se pode truncar o domínio em estudo, sem que os resultados venham significativamente afectados.

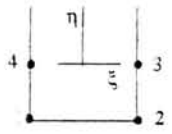
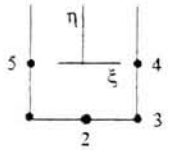
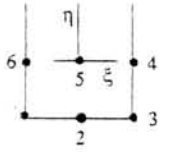
Em alternativa a este procedimento, um tanto ou quanto subjectivo e arbitrário, poder-se-ão utilizar elementos infinitos colocados na periferia, associados às malhas convencionais de Elementos Finitos (José M. M. Couto Marques e Francisco F. Martins). Assim, consegue-se simular de modo mais preciso a continuação para infinito do domínio em estudo, reduz-se o número de elementos da malha necessários para uma correcta modelação e conseguem-se soluções rigorosas com economia substancial do espaço de memória e tempo de CPU.

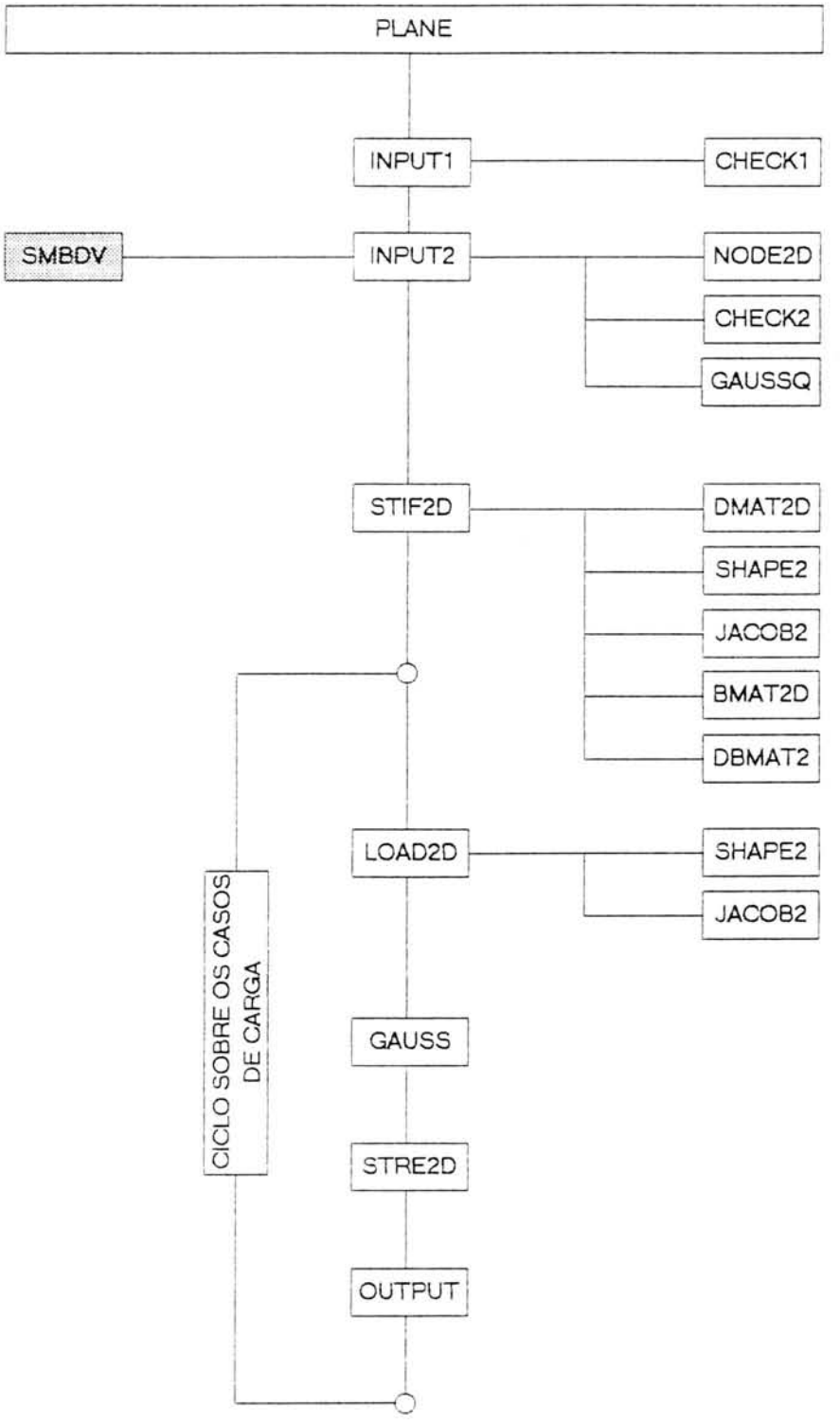
A ideia foi desenvolvida de forma a facilmente se poderem incorporar os elementos infinitos em programas de elementos finitos convencionais:

i) A modelação da geometria é realizada com funções especiais de "Mapping" , adaptadas à natureza não finita do domínio do elemento.

ii) A interpolação da variável de campo é efectuada utilizando as funções de forma habituais.

No quadro seguinte são apresentadas as funções de "Mapping" bem como as funções de forma para elementos planos infinitos, na direcção η positivo, com quatro, cinco e seis nós.

Elemento	Funções de "mapping"	Funções de forma
Lagrangiano de 4 nós 	M1 = (1-ξ) (-η) / (1-η) M2 = (1+ξ) (-η) / (1-η) M3 = (1+ξ) (1+η) / [2(1-η)] M4 = (1-ξ) (1+η) / [2(1-η)]	N1 = (1-ξ) (η ^2 - η) / 4 N2 = (1+ξ) (η^2 -η) / 4 N3 = (1+ξ) (1-η^2) / 2 N4 = (1-ξ) (1- η^2) / 2
"Serendipity" de 5 nós 	M1 = (1-ξ) (-1- ξ - η) / (1-η) M2 = (1-ξ^2) 2 / (1-η) M3 = (1+ξ) (-1+ξ - η) / (1-η) M4 = (1+ξ) (1+η) / [2(1-η)] M5 = (1-ξ) (1+η) / [2(1-η)]	N1 = (1- ξ) (1-η) (-1 -ξ - η) / 4 N2 = (1-ξ^2) (1- η) / 2 N3 = (1+ξ) (1-η) (-1+ ξ - η) / 4 N4 = (1+ξ) (1-η^2) / 2 N5 = (1-ξ) (1- η^2) / 2
Lagrangiano de 6 nós 	M1 = (ξ ^2-ξ) (- η) / (1- η) M2 = (1-ξ^2) (-2η) / (1-η) M3 = (ξ ^2+ ξ) (- η) / (1- η) M4 = (ξ ^2+ ξ) (1+η) / [2(1- η)] M5 = (1-ξ ^2) (1+η) / (1- η) M6 = (ξ ^2-ξ) (1+η) / [2(1-η)]	N1 = (ξ ^2- ξ) (η ^2- η) / 4 N2 = (1-ξ ^2) (η ^2- η) / 2 N3 = (ξ ^2+ ξ) (η ^2-η) / 4 N4 = (ξ ^2+ ξ) (1- η ^2) / 2 N5 = (1-ξ ^2) (1- η ^2) N6 = (ξ ^2- ξ) (1-η ^2) / 2



- Subrotina introduzida

A matriz de rigidez de um elemento é dada por $K^e = \int \underline{B}^T \underline{D}\, \underline{B}\, dv$, sendo $\underline{B}$ a matriz de deformação - deslocamento ($\underline{\varepsilon} = \underline{B}\, \underline{d}$) e $\underline{D}$ a matriz das constantes elásticas ($\underline{\sigma} = \underline{D}\, \underline{\varepsilon}$). O integral estendido ao volume do elemento é calculado numericamente pelo método de Gauss-Legendre. No caso do elemento infinito, recorre-se às funções de "mapping" para relacionar as coordenadas locais do elemento com as globais no cálculo da matriz Jacobiana $\underline{J}$, cuja inversa é depois usada na obtenção das derivadas cartesianas das funções de forma que vão integrar a matriz $\underline{B}$. São realizadas as seguintes operações:

- Calcular a posição (ξ_i, η_j) e os pesos w_i, w_j do ponto de integração;
- Calcular nesse ponto as funções de "mapping" $M(\xi_i, \eta_j)$ e as suas derivadas $\partial M/\partial \xi$, $\partial M/\partial \eta$;
- Formar a matriz Jacobiana J a partir das derivadas $\partial x/\partial \xi$, $\partial y/\partial \xi$, $\partial x/\partial \eta$, $\partial y/\partial \eta$, onde $x = \sum M_k x_k$ e $y = \sum M_k y_k$, sendo k o número de nós utilizados para a interpolação da geometria;
- Calcular o determinante da matriz $\underline{J}$ bem como a sua inversa;
- Calcular as funções de interpolação $N(\xi i, \eta i)$ e suas derivadas $\partial N/\partial \xi$, $\partial N/\partial \eta$;
- Calcular as derivadas cartesianas $[\ \partial N/\partial x \quad \partial N/\partial y\ ] = [\ \partial N/\partial \xi \quad \partial N/\partial \eta\ ] \,.\, J^{-1}$
- Formar a matriz $\underline{B}$ utilizando estas derivadas cartesianas;
- Formar a matriz $\underline{D}$;
- Calcular a contribuição do ponto de Gauss corrente para a matriz de rigidez do elemento, dada por $\underline{B}^T\, \underline{D}\, \underline{B} \,.\, w_i\, w_j \,.\, \det \underline{J}$

No ponto 6.4. são apresentadas as listagens do programa alterado. As alterações efectuadas estão sublinhadas.

No ponto 7.1. é corrido um exemplo de aplicação a fim de testar estas mesmas alterações.

6.3. Consideração de tensões iniciais

Esta alteração feita no programa base inicialmente fornecido levou à modificação de dois módulos: o programa principal e a subrotina LOAD2D.

Uma vez conhecida a sobrecarga superficial, q, e a lei de variação em profundidade das tensões existentes no solo (aqui foi considerada linear), introduziu-se um estado de tensão inicial dado por: $\sigma'_h = k_0\, \sigma'_v$.

As variáveis introduzidas no programa foram:

BSIGM(IEVAB) - Vector onde se armazenam os produtos de $\underline{B}^T$ pelo valor das tensões iniciais existentes em cada ponto de Gauss.

STRS0(4) - Vector onde se armazenam os valores das tensões iniciais.
INSSS - Parâmetro de controlo para posterior consideração das tensões iniciais (0 - desligado ; 1 - ligado).
A - Valor inicial da tensão vertical.
B - Variação em profundidade da tensão vertical.
C0 - Razão entre as tensões horizontal e vertical.

A consideração das tensões iniciais existentes no solo foi conseguida através da soma ao vector solicitação, f, da parcela correspondente: $-\int \underline{B}^T \underline{\sigma}_0 \, dv$.

Para cada elemento e cada ponto de Gauss é introduzida na posição 2 do vector STRS0 o valor da tensão vertical e na posição 1 o valor da tensão horizontal. Estes valores são posteriormente introduzidos na matriz STRSG atrás referida. De notar que, nesta alteração, apenas foi considerado o estado plano de tensão. São portanto nulos os valores das componentes de tensão fora desse plano.

Em seguida procede-se ao cálculo das forças nodais equivalentes e ao respectivo espalhamento no vector de solicitação global GLOAD.

No ponto 6.5. são apresentadas as listagens do programa principal e da subrotina LOAD2D já alteradas.

No ponto 7.2. é apresentado um exemplo de aplicação.

6.4. Listagens do programa PLANE alterado para consideração de ELEMENTOS INFINITOS.

```
C***  INTERFACES PARA ACEDER AOS COMANDOS "DATE" E "TIME" DO MS-DOS ***
C
                interface to subroutine time (n,str)
                character*10 str [near,reference]
                integer*2 n [value]
                end
C
                interface to subroutine date (n,str)
                character*10 str [near,reference]
                integer*2 n [value]
                end
C
      PROGRAM PLANE
C*********************************************************************
C
C***  PROGRAMA PARA A SOLUCAO DE PROBLEMAS PLANOS ELASTICOS PELO
C     METODO DOS ELEMENTOS FINITOS
C
C     * MATRIZ DE RIGIDEZ SIMETRICA ARMAZENADA EM VECTOR POR COLUNAS
C     * RESOLUCAO DO SISTEMA PELO METODO DE GAUSS TIRANDO PARTIDO DA
C       SIMETRIA
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ******************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER*12 FILEI, FILEO
      character*10 stime, sdate
C
C***  DEFINICAO DE VARIAVEIS ASSOCIADAS COM O DIMENSIONAMENTO DINAMICO
C
      PARAMETER (MPOIN = 100, MELEM =  70, MMATS =  10, MGAUS =   3,
     .           MNODE =   9, NDOFN =   2, NDIME =   2, MPROP =   7,
     .           MSTRE =   4, MTOTG = MELEM*MGAUS*MGAUS,
     .           MEVAB = MNODE*NDOFN,      MTOTV = MPOIN*NDOFN,
     .           MESTI = MEVAB*(MEVAB+1)/2,
     .           MTCR  = 15 * MTOTV * MTOTV / 100)
C
      DIMENSION MATNO(MELEM), LNODS(MNODE,MELEM)
C
      DIMENSION ESTIF(MESTI), GSTIF(MTCR)
C
      DIMENSION COORD(NDIME,MPOIN)
C
      DIMENSION IFFIX(MTOTV), GLOAD(MTOTV),
     .          DDISP(MTOTV), REACT(MTOTV), FIXED(MTOTV)
C
      DIMENSION STRSG(MSTRE,MTOTG)
C
      DIMENSION PROPS(MPROP,MMATS)
C
      DIMENSION POSGP(MGAUS), WEIGP(MGAUS)
C
      DIMENSION NLMAX(MPOIN), LSMBDV(MTOTV)
C
      DIMENSION NONOD(MELEM)
C
      DIMENSION NTMAT(MMATS)
C
C***  ABERTURA DE CANAIS DE LEITURA E ESCRITA
C
1000  WRITE (*,'(A\)') ' NOME DO FICHEIRO DE DADOS ?       '
      READ  (*,'(A)') FILEI
      WRITE (*,'(A\)') ' NOME DO FICHEIRO DE RESULTADOS ? '
```

```
      READ  (*,'(A)') FILEO
C
      OPEN  (5, FILE= FILEI, STATUS='OLD', ERR=1000)
      OPEN  (6, FILE= FILEO, STATUS='NEW')
C
C***  ESCRITA DO CABEÇALHO DO FICHEIRO DE RESULTADOS
C
      call date ( 10, sdate)
      call time ( 10, stime)
C
      WRITE (6,9000) FILEI,sdate,FILEO,stime
9000  FORMAT(1X,78('*'),/1X,15('*'),'  Resultados obtidos com o',
     .       ' PROGRAMA "PLANE"  [versão 4.10] ',4('*'),
     .            /1X,15('*'),'  Ficheiro de dados :      ',A12,
     .             T58,4('*'),3X,A10,1X,4('*'),
     .            /1X,15('*'),'  Ficheiro de resultados : ',A12,
     .             T58,4('*'),3X,A10,1X,4('*'))
C
C***  INTRODUCAO DA TOPOLOGIA DA MALHA
C
      WRITE (*,*) ' *** Leitura dos parametros de controle'
      CALL INPUT1 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NTYPE, NGAUS,
     .             NCASE, NSTRE, NTOTV, NDOFN, NDIME, NNODM,
     .             NEVAB, NPROP, NTOTG, MPOIN, MELEM, MMATS,
     .             NESTI, NTOTV1,MPROP)
C
      WRITE (*,*) ' *** Leitura da topologia da malha'
C
      CALL INPUT2 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, COORD, NDIME,
     .             NNODM, NDOFN, LNODS, MATNO, NPROP, PROPS,
     .             NTOTV, IFFIX, POSGP, WEIGP, NGAUS, NTYPE,
     .             MTCR , LSMBDV,NTCR , NLMAX, NONOD, NTMAT)
C
C***  CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA
C
      WRITE (*,*) ' *** Formacao do vector de rigidez global'
      CALL STIF2D (MATNO, PROPS, COORD, NDIME, LNODS, GSTIF,
     .             NMATS, NPROP,        NELEM, NNODM, NDOFN,
     .             POSGP, WEIGP, NGAUS, NEVAB, NSTRE, NTYPE,
     .             ESTIF, NPOIN, NESTI, NTCR, LSMBDV, NTOTV,
     .             NONOD)
C
C***  INTRODUCAO DAS CARGAS
C
      DO 100 ICASE = 1,NCASE
         WRITE (*,*) ' *** Formacao do vector de solicitacao global'
         CALL LOAD2D (COORD, LNODS, MATNO, NELEM, NNODM, NGAUS,
     .                NPOIN, NTYPE, POSGP, PROPS, NMATS, WEIGP,
     .                NDOFN, NPROP, NTOTV, ICASE, STRSG, NTOTG,
     .                NDIME, MSTRE, GLOAD, FIXED, IFFIX, REACT,
     .                NONOD)
C
C***  RESOLUCAO DO SISTEMA DE EQUACOES
C
         WRITE (*,*) ' *** Resolucao do sistema de equacoes'
         CALL  GAUSS (GSTIF, GLOAD, NTOTV, DDISP, REACT,
     .                IFFIX, FIXED, ICASE, NTCR, LSMBDV, NTOTV1)
C
C***  CALCULO DAS TENSOES NOS ELEMENTOS
C
         WRITE (*,*) ' *** Calculo das tensoes nos pontos de Gauss'
         CALL STRE2D (NELEM, MATNO, PROPS, NPROP, NMATS, NNODM,
     .                DDISP, NTOTV, LNODS, NEVAB, NDOFN, NSTRE,
```

```
     .                MSTRE, STRSG, NTYPE, NGAUS, NTOTG)
C
C***  ESCRITA DOS RESULTADOS FINAIS
C
         WRITE (*,*) ' *** Escrita dos resultados finais'
         CALL OUTPUT (NPOIN, NDOFN, DDISP, NTOTV, IFFIX, REACT,
     .                NELEM, NGAUS, MSTRE, STRSG, NTOTG, NTYPE)
100   CONTINUE
C
C***  FECHO DE CANAIS DE LEITURA E ESCRITA
C
      CLOSE (1)
      CLOSE (2)
      CLOSE (5)
      CLOSE (6)
C
      STOP ' *** STOP - fim de execucao.'
      END
```

```
      SUBROUTINE INPUT1 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NTYPE, NGAUS,
     .                   NCASE, NSTRE, NTOTV, NDOFN, NDIME, NNODM,
     .                   NEVAB, NPROP, NTOTG, MPOIN, MELEM, MMATS,
     .                   NESTI, NTOTV1,MPROP)
C*****************************************************************
C
C***  LE OS PARAMETROS DE CONTROLE, VERIFICA AS DIMENSOES DO PROBLEMA
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ****************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER TITLE(3)*78
C
C***  TITULO DO PROBLEMA
C
      WRITE (6,'(1X,78(''*'')/)')
      READ  (5,'(A)') (TITLE(I),I=1,3)
      WRITE (6,'(1X,A)') (TITLE(I),I=1,3)
      WRITE (6,'(1X,78(''*''))')
C
C***  PARAMETROS DE CONTROLE
C
      READ  (5,*) NPOIN,NELEM,NVFIX,NMATS,NPROP,NNODM,NTYPE,NGAUS,NCASE
C
      NSTRE = 3
      IF (NTYPE.EQ.3) NSTRE = 4
      NEVAB = NNODM*NDOFN
      NTOTV = NPOIN*NDOFN
      NTOTV1 = NTOTV + 1
      NTOTG = NELEM*NGAUS*NGAUS
      NESTI = NEVAB*(NEVAB+1)/2
C
      WRITE (6,901) NPOIN,NELEM,NVFIX,NMATS,NNODM,NTYPE,NGAUS,NCASE,
     .              NDOFN,NDIME,NPROP,NSTRE,NEVAB,NTOTV,NTOTG
901   FORMAT(//' *** PARAMETROS DE CONTROLE',
     .       //'     Nº. total de nós                  (NPOIN) =',I5,
     .        /'     Nº. total de elementos            (NELEM) =',I5,
     .        /'     Nº. de nós ligados ao exterior    (NVFIX) =',I5,
     .        /'     Nº. de materiais                  (NMATS) =',I5,
     .        /'     Nº. máximo de nós/elemento        (NNODM) =',I5,
     .        /'     Tipo de problema                  (NTYPE) =',I5,
     .        /'     Nº  de pontos de integração       (NGAUS) =',I5,
     .        /'     Nº. de casos de carga             (NCASE) =',I5,
     .       //'     Nº. de graus de liberdade/nó      (NDOFN) =',I5,
     .        /'     Nº. de coordenadas/nó             (NDIME) =',I5,
     .        /'     Nº. de propriedades/material      (NPROP) =',I5,
     .       //'     Nº  de componentes da tensão      (NSTRE) =',I5,
     .        /'     Nº. de variáveis/elemento         (NEVAB) =',I5,
     .        /'     Nº. total de variáveis            (NTOTV) =',I5,
     .        /'     Nº. total de pontos de Gauss      (NTOTG) =',I5)
C
C***  VERIFICACAO DOS DADOS
C
      CALL CHECK1 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NNODM, NTYPE,
     .             NGAUS, NCASE, MPOIN, MELEM, MMATS, MPROP,NPROP)
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE CHECK1 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NNODM, NTYPE,
     .                   NGAUS, NCASE, MPOIN, MELEM, MMATS,MPROP,NPROP)
C*****************************************************************************
C
C***  VERIFICA OS PARAMETROS DE CONTROLE
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ******************************
$debug
$large
      WRITE (6,800)
800   FORMAT(//' *** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :')
C
      NERRO = 0
      IF (MPROP.LT.NPROP)                    NERRO = 1
      IF (NPOIN.LE.0)                        NERRO = 1
      IF (NELEM.LE.0)                        NERRO = 1
      IF (NELEM*NNODM.LT.NPOIN)              NERRO = 1
      IF (NVFIX.LT.1.OR.NVFIX.GT.NPOIN)      NERRO = 1
      IF (NMATS.LT.1.OR.NMATS.GT.NELEM)      NERRO = 1
      IF (NTYPE.LT.1.OR.NTYPE.GT.3)          NERRO = 1
      IF (NGAUS.LT.2.OR.NGAUS.GT.3)          NERRO = 1
      IF (NCASE.LE.0)                        NERRO = 1
C
      IF (NERRO.EQ.1) WRITE (6,810)
810   FORMAT(' *** Há erros nos parâmetros de controle !')
C
      JERRO = 0
      IF (NELEM.GT.MELEM) THEN
          WRITE (6,910) NELEM,MELEM
          JERRO = JERRO+1
      ENDIF
910   FORMAT(' *** NELEM (= ',I3,')  >  MELEM (= ',I3,')')
C
      IF (NPOIN.GT.MPOIN) THEN
          WRITE (6,920) NPOIN,MPOIN
          JERRO = JERRO+1
      ENDIF
920   FORMAT(' *** NPOIN (= ',I3,')  >  MPOIN (= ',I3,')')
C
      IF (NMATS.GT.MMATS) THEN
          WRITE (6,940) NMATS,MMATS
          JERRO = JERRO+1
      ENDIF
940   FORMAT(' *** NMATS (= ',I3,')  >  MMATS (= ',I3,')')
C
      IF (JERRO.NE.0) WRITE (6,960) JERRO
960   FORMAT(' *** Foram excedidas ',I3,' dimensöes máximas !')
C
      IF (NERRO.EQ.0.AND.JERRO.EQ.0) THEN
          WRITE (6,970)
      ELSE
          STOP ' *** STOP na subrotina CHECK1'
      ENDIF
970   FORMAT(' *** Não foram detectados erros nos parâmetros de',
     .       ' controle')
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE INPUT2 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, COORD, NDIME,
     .                   NNODM, NDOFN, LNODS, MATNO, NPROP, PROPS,
     .                   NTOTV, IFFIX, POSGP, WEIGP, NGAUS, NTYPE,
     .                   MTCR , LSMBDV,NTCR , NLMAX, NONOD, NTMAT)
C*********************************************************************
C
C***  LE A TOPOLOGIA DA MALHA E AS CARACTERISTICAS DOS MATERIAIS
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ******************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION MATNO(NELEM), LNODS(NNODM,NELEM),
     .          POSGP(NGAUS), COORD(NDIME,NPOIN),
     .          WEIGP(NGAUS), PROPS(NPROP,NMATS),
     .          IFFIX(NTOTV), LSMBDV(NTOTV), NLMAX(NPOIN)
      DIMENSION ICODE(2)
C
      DIMENSION NONOD(NELEM)
C
      DIMENSION NTMAT(NMATS)
C
C***  LEITURA DAS LIGACOES NODAIS DOS ELEMENTOS E DO NUMERO DO MATERIAL
C
      WRITE (6,902)
902   FORMAT(//' ***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS',
     .       //' Elem.   Mat.  Tipo      Nós/Elem',
     .         '                        Nós',
     .        /1X,20('-'),3X,10('-'),3X,33('-'))
C
      ISOT=0
      IORT=0
      DO 100 IELEM = 1,NELEM
         READ  (5, * ) J,MATNO(J),NTMAT(MATNO(J)),NONOD(J),
     .                 (LNODS(I,J),I=1,NONOD(J))
         WRITE (6,903) J,MATNO(J),NTMAT(MATNO(J)),NONOD(J),
     .                 (LNODS(I,J),I=1,NONOD(J))
       IF (NTMAT(MATNO(J)).EQ.2) THEN
       IORT=2
       ELSE
       ISOT=1
       ENDIF
100   CONTINUE
903   FORMAT(I4,4X,I4,2X,I4,7X,I4,9X,9I4)
C
C
      CALL SMBDV (NPOIN, NELEM, NONOD, NNODM, NDOFN, LNODS, NTOTV,
     .            MTCR, LSMBDV, NTCR, NLMAX) .
C
C***  LEITURA (E INTERPOLACAO) DAS COORDENADAS DOS NOS
C
      DO 150 IPOIN = 1,NPOIN
      DO 150 IDIME = 1,NDIME
         COORD(IDIME,IPOIN) = 1.E+30
150   CONTINUE
C
      IF (NTYPE.NE.3) WRITE (6,904)
      IF (NTYPE.EQ.3) WRITE (6,905)
904   FORMAT(//'  *** COORDENADAS NODAIS',
     .      //3X,'Nó',9X,'X(m)',8X,'Y(m)',17X,'Nó',9X,'X(m)',8X,'Y(m)',
     .       /1X,29('-'),15X,29('-'))
905   FORMAT(//'  *** COORDENADAS NODAIS',
```

```
     .       //3X,'Nó',9X,'R(m)',8X,'Z(m)',17X,'Nó',9X,'R(m)',8X,'Z(m)',
     .        /1X,29('-'),15X,29('-'))
C
      KOUNT = 0
200   READ(5,*) IPOIN,(COORD(IDIME,IPOIN),IDIME=1,NDIME)
      KOUNT = KOUNT +1
      IF (IPOIN.NE.NPOIN) GO TO 200
C
      IF (NNODM.NE.4.AND.KOUNT.NE.NPOIN)
     .CALL NODE2D (COORD, LNODS, NDIME, NPOIN, NELEM, NNODM)
C
      NROWS = (NPOIN+1)/2
      DO 210 IROWS = 1,NROWS
         ICOL1 = IROWS
         ICOL2 = MIN(ICOL1+NROWS,NPOIN)
         WRITE (6,906)(J,(COORD(I,J),I=1,NDIME),J=ICOL1,ICOL2,NROWS)
210   CONTINUE
906   FORMAT(I5,3X,F10.5,2X,F10.5,14X,I5,3X,F10.5,2X,F10.5)
C
C***  LEITURA DAS LIGACOES AO EXTERIOR
C
      WRITE (6,907)
907   FORMAT(//'   *** LIGAÇOES AO EXTERIOR',
     .        //'    Nó       Cód.',/1X,14('-'))
C
      DO 300 ITOTV = 1,NTOTV
         IFFIX(ITOTV) = 0
300   CONTINUE
      DO 320 IVFIX = 1,NVFIX
         READ  (5, * ) IPOIN,JCODE
         ICODE(1) = JCODE/10
         ICODE(2) = JCODE-ICODE(1)*10
         ITOTV =(IPOIN-1)*NDOFN
         DO 315 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            IFFIX(ITOTV) = ICODE(IDOFN)
315      CONTINUE
         WRITE (6,909) IPOIN,(ICODE(I),I=1,NDOFN)
909   FORMAT(I5,7X,2I1)
320   CONTINUE
C
C***  VERIFICACAO DA MALHA
C
      CALL CHECK2 (COORD, LNODS, MATNO, NELEM, NPOIN, NMATS,
     .             NNODM, NDIME, NONOD)
C
C***  LEITURA DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS
C
      DO 350 IMATS = 1,NMATS
         READ  (5, * ) NUMAT
         NPROP = 7
         K = 5
            IF (NTMAT(NUMAT).EQ.1) THEN
               NPROP = 5
               K = 3
            ENDIF
         READ  (5, * )(PROPS(I,NUMAT),I=1,NPROP)
         THICK = PROPS(K,NUMAT)
         IF (THICK.EQ.0.0.OR.NTYPE.EQ.3) PROPS(K,NUMAT) = 1.0
350   CONTINUE
C
C
C***  ESCRITA DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS
```

```
C
      IF (ISOT.EQ.1) THEN
         NPROP = 5
         WRITE (6,910)
910      FORMAT(//' **** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS',
     .           ////'                    MATERIAIS  ISOTROPICOS          ',
     .           //' Mat.     E          v          t          Γ          α',
     .           /'          KPa        -          m        kg/m3      /°C',
     .           /1x,48('_'))
         DO 450 IMATS = 1,NMATS
            IF (NTMAT(IMATS).EQ.1)THEN
               WRITE (6,940) IMATS,(PROPS(I,IMATS),I=1,NPROP)
940            FORMAT(I4,2F9.2,F9.3,F9.2,F9.6)
            ENDIF
450      CONTINUE
      ENDIF
      NPROP = 7
C
      IF(IORT.EQ.2) THEN
         WRITE (6,950)
950      FORMAT(////'                    MATERIAIS  ORTOTROPICOS          ',
     .           //' Mat.     Ex         Ey         Vxy        Gxy      ',
     .           '     t          Γ          α',
     .           /'          KPa        KPa        -          KPa      ',
     .           '   m        kg/m3      /ºC',
     .           /1x,68('_'))
         DO 550 IMATS = 1,NMATS
            IF (NTMAT(IMATS).EQ.2)THEN
               WRITE (6,960) IMATS,(PROPS(I,IMATS),I=1,NPROP)
960            FORMAT(I4,2F9.2,F9.3,2X,F9.2,F9.3,F9.3,F9.6)
            ENDIF
550      CONTINUE
      ENDIF
C***  DEFINICAO DAS CONSTANTES DE INTEGRACAO NUMERICA
C
      CALL GAUSSQ (NGAUS, POSGP, WEIGP)
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE SMBDV (NPOIN, NELEM, NONOD, NNODM, NDOFN, LNODS, NTOTV,
     .                  MTCR, LSMBDV, NTCR, NLMAX)
C*****************************************************************
C
C***  DETERMINACAO DAS LARGURAS CORRIGIDAS DA SEMIBANDA VARIAVEL
C
C**** 1992.10.22 * JR , AG , JL ** (SEMG1) ***************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION LNODS(NNODM,NELEM), LSMBDV(NTOTV),
     .          NLMAX (NPOIN)
C
      DIMENSION NONOD(NELEM)
C
C     INICIALIZACAO DO VECTOR NLMAX
C
      DO 50 IPOIN = 1,NPOIN
        NLMAX(IPOIN) = 0
50    CONTINUE
C
C *** DETERMINACAO DO VECTOR NLMAX QUE CONTEM, PARA CADA NO, O MAIOR
C     NUMERO DE ENTRE AS NUMERACOES ATRIBUIDAS AS OUTRAS EXTREMIDADES
C     DOS ELEMENTOS QUE NELE CONFLUEM
C
      DO 200 IELEM = 1,NELEM
         LLL = 0
         DO 100 INODE = 1,NONOD(IELEM)
            IF (LNODS(INODE,IELEM).GT.LLL) THEN
            LLL = LNODS(INODE,IELEM)
            ENDIF
100      CONTINUE
         DO 150 INODE = 1,NONOD(IELEM)
            LLNG = LNODS(INODE,IELEM)
            IF (LLL.GT.NLMAX(LLNG)) THEN
              NLMAX(LLNG) = LLL
            ENDIF
150      CONTINUE
200   CONTINUE
C
C *** DETERMINACAO DA LARGURA NAO CORRIGIDA DA SEMIBANDA\NO, ARMAZENADA
C     NO VECTOR NLMAX
C *** EXPANSAO PARA O VECTOR LSMBDV --» NLMAX * NDOFN «--, CORRECCAO
C     E TRANSFORMACAO PARA VALORES DIAGONAIS DAS RESPECTIVAS LARGURAS
C *** CALCULO DO NUMERO TOTAL DE COEFICIENTES RIGIDOS
C
      LNL = 0
      KCONT = 0
      LINHAM = 0
      KDIAG = 1
      DO 400 IPOIN = 1,NPOIN
         NLMAX(IPOIN) = NLMAX(IPOIN) - IPOIN + 1
      DO 400 IDOFN = 1,NDOFN
         KCONT = KCONT + 1
         LSMBDV(KCONT) = NLMAX(IPOIN) * NDOFN - IDOFN + 1
         IF (LSMBDV(KCONT).LT.LNL) THEN
            LSMBDV(KCONT) = LNL
         ENDIF
         LNL = LSMBDV(KCONT) - 1
         LINHA = LSMBDV(KCONT)
         IF (LINHA.GE.LINHAM) THEN
            LINHAM = LINHA
         ENDIF
         LSMBDV(KCONT) = KDIAG
```

```
         KDIAG = KDIAG + LINHA
400    CONTINUE
       NTCR = LSMBDV(NTOTV)
       IF (MTCR.LT.NTCR) THEN
          LTCR = NTCR - MTCR
          WRITE (6,500) LTCR
500       FORMAT('*** Foi excedido em ',I9,' a dimensao maxima do vector',
      .    ' de rigidez'/'Alterar capacidade em portic.for')
          STOP ' *** stop na subrotina smbdv '
       ELSE
          KSEMAT = NTOTV * NTOTV
          KPOUP1 = 100 * (KSEMAT - NTCR) / KSEMAT
          KSETS = (KSEMAT - NTOTV) / 2 + NTOTV
          KPOUP2 = 100 * (KSETS - NTCR) / KSETS
          KSESC = LINHAM * NTOTV
          KPOUP3 = 100 * (KSESC - NTCR) / KSESC
          WRITE (6,600) KPOUP1,KPOUP2,KPOUP3
600       FORMAT(//' *** Economia de MEMORIA,armazenando apenas a Semi',
      .    'banda Variavel,',/'     relativamente a outras formas de ar',
      .    'mazenar :',//15X,'Matriz de rigidez completa',5X,I2,'%',/15X,
      .    'Triangulo superior',13X,I2,'%',/15X,'Semibanda constante',12X,
      .    I2,'%')
       ENDIF
       RETURN
       END
```

```
      SUBROUTINE CHECK2 (COORD, LNODS, MATNO, NELEM, NPOIN, NMATS,
     .                   NNODM, NDIME, NONOD)
C*****************************************************************************
C
C***  VERIFICA A TOPOLOGIA DA MALHA
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ****************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION MATNO(NELEM), COORD(NDIME,NPOIN), LNODS(NNODM,NELEM)
C
      DIMENSION NONOD(NELEM)
C
      IERRO = 0
      WRITE (6,800)
800   FORMAT(//' *** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK2" :')
C
C***  VERIFICA SE HA NOS DIFERENTES COM COORDENADAS IDENTICAS
C
      DO 130 IPOIN = 2,NPOIN
         DO 120 JPOIN = 1,IPOIN-1
            DO 110 IDIME = 1,NDIME
               IF (COORD(IDIME,IPOIN).NE.COORD(IDIME,JPOIN)) GO TO 120
110         CONTINUE
            IERRO = 1
            WRITE (6,910) IPOIN,JPOIN
120      CONTINUE
130   CONTINUE
910   FORMAT(' *** Os nós ',I3,' e ',I3,' têm coordenadas idênticas')
C
C***  VERIFICA O NUMERO DO MATERIAL DE CADA ELEMENTO
C
      DO 200 IELEM = 1,NELEM
         NUMAT = MATNO(IELEM)
         IF (NUMAT.LE.0.OR.NUMAT.GT.NMATS) THEN
            IERRO = 1
            WRITE (6,920) IELEM
         ENDIF
200   CONTINUE
920   FORMAT(' *** O nº do material do elemento ',I3,' está incorrecto')
C
C***  VERIFICA OS NUMEROS DAS LIGACOES NODAIS DOS ELEMENTOS
C
      DO 320 IELEM = 1,NELEM
         JERRO = 0
         DO 310 INODE = 1,NONOD(IELEM)
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            IF (IPOIN.LE.0.OR.IPOIN.GT.NPOIN) JERRO = JERRO+1
310      CONTINUE
         IF (JERRO.NE.0) THEN
            IERRO = 1
            WRITE (6,930) IELEM,JERRO
         ENDIF
320   CONTINUE
930   FORMAT(' *** O elemento ',I3,' tem ',I2,' erros na lista de nós')
C
C***  DETECTA REPETICAO DE NOS NUM ELEMENTO
C
      DO 420 IELEM = 1,NELEM
         DO 410 INODE = 1,NONOD(IELEM)-1
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            DO 400 JNODE = INODE+1,NONOD(IELEM)
               IF (IPOIN.EQ.LNODS(JNODE,IELEM)) THEN
```

```
                  IERRO = 1
                  WRITE (6,940) IPOIN,IELEM
                  GO TO 410
               ENDIF
400         CONTINUE
410      CONTINUE
420   CONTINUE
940   FORMAT(' *** O nó ',I3,' está repetido no elemento ',I3)
C
C***  VERIFICA SE CADA NO APARECE EM PELO MENOS UM ELEMENTO
C
      DO 530 IPOIN = 1,NPOIN
         DO 520 IELEM = 1,NELEM
            DO 510 INODE = 1,NONOD(IELEM)
               JPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
               IF (JPOIN.EQ.IPOIN) GO TO 530
510         CONTINUE
520      CONTINUE
         IERRO = 1
         WRITE (6,950) IPOIN
530   CONTINUE
950   FORMAT(' *** O nó ',I3,' näo aparece em nenhum elemento')
C
      IF (IERRO.EQ.0) THEN
          WRITE (6,1000)
      ELSE
          STOP ' *** STOP na subrotina CHECK2'
      ENDIF
1000  FORMAT(' *** Näo foram detectados erros na topologia da malha')
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE NODE2D (COORD, LNODS, NDIME, NPOIN, NELEM, NNODM)
C*****************************************************************************
C
C***  GERA AS COORDENADAS DE:
C     * NOS SITUADOS A MEIO DOS LADOS RECTILINEOS DE ELEMENTOS PLANOS
C       DE 8 E 9 NOS
C     * NO CENTRAL DE ELEMENTOS DE 9 NOS
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ******************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION COORD(NDIME,NPOIN), LNODS(NNODM,NELEM)
      DIMENSION NODES(9)
C
C***  CICLO SOBRE OS ELEMENTOS
C
      DO 190 IELEM = 1,NELEM
         DO 100 INODE = 1,NNODM
            NODES(INODE) = LNODS(INODE,IELEM)
100      CONTINUE
C
C***  NOS SITUADOS A MEIO DE LADOS RECTILINEOS (elementos de 8 e 9 nos)
C
         DO 120 INOD2 = 2,8,2
            IPOI2 = NODES(INOD2)
            TOTAL = ABS(COORD(1,IPOI2))+ABS(COORD(2,IPOI2))
            IF (TOTAL.GT.1.E+29) THEN
               INOD1 = INOD2-1
               INOD3 = INOD2+1
               IF (INOD3.EQ.9) INOD3 = 1
               IPOI1 = NODES(INOD1)
               IPOI3 = NODES(INOD3)
               DO 110 I = 1,NDIME
                  COORD(I,IPOI2) = (COORD(I,IPOI1)+COORD(I,IPOI3))*0.5
110            CONTINUE
            ENDIF
120      CONTINUE
C
C***  NO CENTRAL (elementos de 9 nos)
C
         IF (NNODM.EQ.9) THEN
            IPOI9 = NODES(9)
            TOTAL = ABS(COORD(1,IPOI9))+ABS(COORD(2,IPOI9))
            IF (TOTAL.GT.1.E+29) THEN
               DO 140 INODE = 1,7,2
                  NCORN = NODES(INODE)
                  NMIDS = NODES(INODE+1)
                  DO 130 IDIME = 1,NDIME
                     COORD(IDIME,IPOI9) =
     .               COORD(IDIME,IPOI9) - COORD(IDIME,NCORN)/4.
     .                                  + COORD(IDIME,NMIDS)/2.
130               CONTINUE
140            CONTINUE
            ENDIF
         ENDIF
190   CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE GAUSSQ (NGAUS, POSGP, WEIGP)
C*****************************************************************************
C
C***  DEFINE AS CONSTANTES DE INTEGRACAO DE GAUSS-LEGENDRE
C
C**** 1990.01.01 * JCM ***************************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
C
      DIMENSION POSGP(NGAUS), WEIGP(NGAUS)
C
C***  2 PONTOS DE GAUSS
C
      IF (NGAUS.EQ.2) THEN
         POSGP(1) = -0.577350269189626
         POSGP(2) = +0.577350269189626
         WEIGP(1) = +1.0
         WEIGP(2) = +1.0
C
C***  3 PONTOS DE GAUSS
C
      ELSEIF (NGAUS.EQ.3) THEN
         POSGP(1) = -0.774596669241483
         POSGP(2) = +0.0
         POSGP(3) = +0.774596669241483
         WEIGP(1) = +0.555555555555556
         WEIGP(2) = +0.888888888888889
         WEIGP(3) = +0.555555555555556
      ENDIF
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE STIF2D (MATNO, PROPS, COORD, NDIME, LNODS, GSTIF,
     .                   NMATS, NPROP,        NELEM, NNODM, NDOFN,
     .                   POSGP, WEIGP, NGAUS, NEVAB, NSTRE, NTYPE,
     .                   ESTIF, NPOIN, NESTI, NTCR, LSMBDV, NTOTV,
     .                   NONOD)
C*****************************************************************************
C
C***  CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ "ESTIF" DE CADA ELEMENTO E PROCEDE
C     AO RESPECTIVO ESPALHAMENTO NA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL "GSTIF"
C     * armazenamento do triangulo superior de "ESTIF" e "GSTIF" em
C       vector por colunas
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ****************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION MATNO(NELEM), PROPS(NPROP,NMATS), ESTIF(NESTI),
     .          POSGP(NGAUS), LNODS(NNODM,NELEM), GSTIF(NTCR),
     .          WEIGP(NGAUS), COORD(NDIME,NPOIN)
      DIMENSION ELCOD(2,9), BMATX(4,18), GPCOD(2,9), LVABS(18),
     .          CARTD(2,9), DBMAT(4,18), DMATX(4,4), SHAPE( 9),
     .          DERIV(2,9)
C
      DIMENSION LSMBDV(NTOTV)
C
      DIMENSION NONOD(NELEM)
C
      KADRESS(I,J) = LSMBDV(MIN(I,J)) + ABS(J-I)
C
      TWOPI = 6.283185307179586
C
C***  INICIALIZACAO DO VECTOR DE RIGIDEZ GLOBAL
C
      DO 100 ITCR  = 1,NTCR
         GSTIF(ITCR) = 0.0
100   CONTINUE
C
C***  ABERTURA DE FICHEIROS AUXILIARES
C
      OPEN  (1, FORM='UNFORMATTED',STATUS='NEW')
      OPEN  (2, FORM='UNFORMATTED',STATUS='NEW')
C
C***  CICLO SOBRE OS ELEMENTOS
C
      DO 500 IELEM = 1,NELEM
C
         NONO = NONOD(IELEM)
C
         NEVAB = NONO * NDOFN
C
C***  INICIALIZACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO
C
         DO 110 ISTIF = 1,NESTI
            ESTIF(ISTIF) = 0.0
110      CONTINUE
C
C***  CARACTERISTICAS GEOMETRICAS E MATERIAIS DO ELEMENTO
C
         LPROP = MATNO(IELEM)
         YOUNG = PROPS(1,LPROP)
         POISS = PROPS(2,LPROP)
         THICK = PROPS(3,LPROP)
C
```

```
C***  No. DOS GDL E COORDENADAS DOS NOS DO ELEMENTO
C
          IEVAB = 0
          DO 150 INODE = 1,NONO
             IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
             ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
             DO 130 IDOFN = 1,NDOFN
                IEVAB = IEVAB+1
                ITOTV = ITOTV+1
                LVABS(IEVAB) = ITOTV
130          CONTINUE
             DO 140 IDIME = 1,NDIME
                ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(IDIME,IPOIN)
140          CONTINUE
150       CONTINUE
C
C***  CALCULO DA MATRIZ D
C
          CALL DMAT2D (DMATX, NTYPE, POISS, YOUNG)
C
C***  CICLOS SOBRE OS PONTOS DE GAUSS
C
          KGASP = 0
          DO 300 IGAUS = 1,NGAUS
             EXISP = POSGP(IGAUS)
          DO 300 JGAUS = 1,NGAUS
             KGASP = KGASP+1
             ETASP = POSGP(JGAUS)
C
C*** DETERMINACAO DAS FUNCOES DE FORMA, ELEMENTO DE VOLUME E MATRIZ B
C
             CALL SHAP2I (DERIV, ETASP, EXISP, NONO, SHAPE)
             CALL JACOB2 (CARTD, DERIV, DJACB, ELCOD, KGASP, IELEM,
                          NONO, SHAPE, NDIME, GPCOD(1,KGASP))
             DVOLU = DJACB*WEIGP(IGAUS)*WEIGP(JGAUS)*THICK
             IF (NTYPE.EQ.3) DVOLU = DVOLU*TWOPI*GPCOD(1,KGASP)
             CALL BMAT2D (BMATX, CARTD, NONO, SHAPE, NTYPE,
                          GPCOD(1,KGASP))
C
C***  CALCULO DE [D][B]  E SEU ARMAZENAMENTO (PARA POSTERIOR USO NO
C     CALCULO DAS TENSOES NOS PONTOS DE GAUSS DE CADA ELEMENTO)
C
             CALL DBMAT2 (DBMAT, DMATX, BMATX, NSTRE, NEVAB)
             WRITE (1) DBMAT
C
C*** CALCULO DO TRIANGULO SUPERIOR DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO
C
             ISTIF = 0
             DO 210 JEVAB = 1,NEVAB
             DO 210 IEVAB = 1,JEVAB
                ISTIF = ISTIF+1
                EIJ = 0.0
                DO 200 ISTRE = 1,NSTRE
                   EIJ = EIJ+ BMATX(ISTRE,IEVAB)*DBMAT(ISTRE,JEVAB)*DVOLU
200             CONTINUE
             ESTIF(ISTIF) = ESTIF(ISTIF)+EIJ
210          CONTINUE
300       CONTINUE
C
C***  ARMAZENAMENTO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE GAUSS DO ELEMENTO
C
          WRITE (2) GPCOD
C
```

```
C***  ESPALHAMENTO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO
C
          IESTI = 0
          DO 420 JEVAB = 1,NEVAB
             JTOTV = LVABS(JEVAB)
             DO 410 IEVAB = 1,JEVAB
                ITOTV = LVABS(IEVAB)
                IESTI = IESTI+1
                   IJTOTV =  KADRESS (ITOTV,JTOTV)
                   GSTIF(IJTOTV) = GSTIF(IJTOTV)+ESTIF(IESTI)
410          CONTINUE
420       CONTINUE
500    CONTINUE
C
       RETURN
       END
```

```
      SUBROUTINE DMAT2D (DMATX, NTYPE, POISS, YOUNG)
C*********************************************************************
C
C***  CALCULA A MATRIZ D PARA PROBLEMAS PLANOS
C
C**** 1990.01.01 * JCM ***************************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION DMATX(4,4)
C
C***  ESTADO PLANO DE TENSAO
C
      IF (NTYPE.EQ.1) THEN
         CONS1 = YOUNG/(1.0-POISS*POISS)
         CONS2 = CONS1*POISS
C
         DMATX(1,1) =  CONS1
         DMATX(2,1) =  CONS2
         DMATX(3,1) =  0.0
         DMATX(1,2) =  CONS2
         DMATX(2,2) =  CONS1
         DMATX(3,2) =  0.0
         DMATX(1,3) =  0.0
         DMATX(2,3) =  0.0
         DMATX(3,3) = (CONS1-CONS2)*0.5
C
C***  ESTADO PLANO DE DEFORMACAO OU AXISSIMETRIA
C
      ELSE
         CONS1 = YOUNG*(1.-POISS)/(1.+POISS)/(1.-2.*POISS)
         CONS2 = CONS1*POISS/(1.-POISS)
         CONS3 =(CONS1-CONS2)*0.5
C
         DMATX(1,1) =  CONS1
         DMATX(2,1) =  CONS2
         DMATX(3,1) =  0.0
         DMATX(1,2) =  CONS2
         DMATX(2,2) =  CONS1
         DMATX(3,2) =  0.0
         DMATX(1,3) =  0.0
         DMATX(2,3) =  0.0
         DMATX(3,3) =  CONS3
         IF (NTYPE.EQ.3) THEN
            DMATX(4,1) =  CONS2
            DMATX(4,2) =  CONS2
            DMATX(4,3) =  0.0
            DMATX(1,4) =  CONS2
            DMATX(2,4) =  CONS2
            DMATX(3,4) =  0.0
            DMATX(4,4) =  CONS1
         ENDIF
      ENDIF
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE SHAP2I (DERIV, ETASP, EXISP, NONO, SHAPE)
C*****************************************************************************
C
C***  CALCULA AS FUNCOES DE FORMA E SUAS DERIVADAS PARA ELEMENTOS PLANOS
C     DE 4, 8 E 9 NOS
C***  CALCULA AS FUNCOES DE FORMA E SUAS DERIVADAS PARA ELEMENTOS PLANOS
C     SEMI-INFINITOS DE 5 E 6 NOS
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ******************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION DERIV(2,9), SHAPE(9)
C
      S = EXISP
      T = ETASP
C
C***  ELEMENTOS DE 4 NOS
C
      IF (NONO.EQ.4) THEN
C
         SM = (1.-S)/2.
         SP = (1.+S)/2.
         TM = (1.-T)/2.
         TP = (1.+T)/2.
         DM = -0.5
         DP = +0.5
C
         SHAPE(   1) = SM*TM
         DERIV(1, 1) = DM*TM
         DERIV(2, 1) = SM*DM
C
         SHAPE(   2) = SP*TM
         DERIV(1, 2) = DP*TM
         DERIV(2, 2) = SP*DM
C
         SHAPE(   3) = SP*TP
         DERIV(1, 3) = DP*TP
         DERIV(2, 3) = SP*DP
C
         SHAPE(   4) = SM*TP
         DERIV(1, 4) = DM*TP
         DERIV(2, 4) = SM*DP
C
C***  ELEMENTOS DE 8 NOS
C
      ELSEIF (NONO.EQ.8) THEN
C
         SM = 0.5*(1.-S)
         TM = 0.5*(1.-T)
         SP = 0.5*(1.+S)
         TP = 0.5*(1.+T)
         SS = 0.5*(1.-S*S)
         TT = 0.5*(1.-T*T)
         S2 = -2.*S
         T2 = -2.*T
C
         AA           = +SM+TM-   1.5
         SHAPE(   1) = +SM*TM*(AA+AA)
         DERIV(1, 1) = -   TM*(AA+SM)
         DERIV(2, 1) = -SM   *(AA+TM)
C
         SHAPE(   2) = +SS*TM*2.
         DERIV(1, 2) = +S2*TM
```

```
          DERIV(2, 2) = -SS
C
          AA          = +SP+TM-   1.5
          SHAPE(   3) = +SP*TM*(AA+AA)
          DERIV(1, 3) = +   TM*(AA+SP)
          DERIV(2, 3) = -SP   *(AA+TM)
C
          SHAPE(   4) = +SP*TT*2.
          DERIV(1, 4) = +   TT
          DERIV(2, 4) = +SP*T2
C
          AA          = +SP+TP-   1.5
          SHAPE(   5) = +SP*TP*(AA+AA)
          DERIV(1, 5) = +   TP*(AA+SP)
          DERIV(2, 5) = +SP   *(AA+TP)
C
          SHAPE(   6) = +SS*TP*2.
          DERIV(1, 6) = +S2*TP
          DERIV(2, 6) = +SS
C
          AA          = +SM+TP-   1.5
          SHAPE(   7) = +SM*TP*(AA+AA)
          DERIV(1, 7) = -   TP*(AA+SM)
          DERIV(2, 7) = +SM   *(AA+TP)
C
          SHAPE(   8) = +SM*TT*2.
          DERIV(1, 8) = -   TT
          DERIV(2, 8) = +SM*T2
C
C***  ELEMENTOS DE 9 NOS
C
      ELSEIF (NONO.EQ.9) THEN
C
          SSM = (S*S-S)/2.
          SSP = (S*S+S)/2.
          SSO = -S*S+1.
          TTM = (T*T-T)/2.
          TTP = (T*T+T)/2.
          TTO = -T*T+1.
          DSM = -.5+S
          DSP = +.5+S
          DSO = -2.*S
          DTM = -.5+T
          DTP = +.5+T
          DTO = -2.*T
C
          SHAPE(   1) = SSM*TTM
          DERIV(1, 1) = DSM*TTM
          DERIV(2, 1) = SSM*DTM
C
          SHAPE(   2) = SSO*TTM
          DERIV(1, 2) = DSO*TTM
          DERIV(2, 2) = SSO*DTM
C
          SHAPE(   3) = SSP*TTM
          DERIV(1, 3) = DSP*TTM
          DERIV(2, 3) = SSP*DTM
C
          SHAPE(   4) = SSP*TTO
          DERIV(1, 4) = DSP*TTO
          DERIV(2, 4) = SSP*DTO
C
          SHAPE(   5) = SSP*TTP
```

```
          DERIV(1, 5) = DSP*TTP
          DERIV(2, 5) = SSP*DTP
C
          SHAPE(   6) = SSO*TTP
          DERIV(1, 6) = DSO*TTP
          DERIV(2, 6) = SSO*DTP
C
          SHAPE(   7) = SSM*TTP
          DERIV(1, 7) = DSM*TTP
          DERIV(2, 7) = SSM*DTP
C
          SHAPE(   8) = SSM*TTO
          DERIV(1, 8) = DSM*TTO
          DERIV(2, 8) = SSM*DTO
C
          SHAPE(   9) = SSO*TTO
          DERIV(1, 9) = DSO*TTO
          DERIV(2, 9) = SSO*DTO
C
C***  ELEMENTOS SEMI-INFINITOS DE 5 NOS
C
      ELSEIF (NONO.EQ.5) THEN
C
          SM  = 1.+S
          TM  = 1.+T
          STN = -1.-S-T
          SN  = 1.-S
          TN  = 1.-T
          TNS = -1.+S-T
          SSN = 1.-S*S
C
          SHAPE(   1) = SN*STN/TN
          DERIV(1, 1) = (2*S+T)/TN
          DERIV(2, 1) = (-SN*TN+SN*STN)/TN/TN
C
          SHAPE(   2) = SSN*2/TN
          DERIV(1, 2) = -4*S/TN
          DERIV(2, 2) = 2*SSN/TN/TN
C
          SHAPE(   3) = SM*TNS/TN
          DERIV(1, 3) = (2*S-T)/TN
          DERIV(2, 3) = (-SM*TN+SM*TNS)/TN/TN
C
          SHAPE(   4) = SM*TM/2/TN
          DERIV(1, 4) = TM/2/TN
          DERIV(2, 4) = (SM*TN+SM*TM)/2/TN/TN
C
          SHAPE(   5) = SM*TM/2/TN
          DERIV(1, 5) = -TM/2/TN
          DERIV(2, 5) = (SN*TN+SN*TM)/2/TN/TN
C
C***  ELEMENTOS SEMI-INFINITOS DE 6 NOS
C
      ELSEIF (NONO.EQ.6) THEN
C
          SM  = 1.+S
          TM  = 1.+T
          STN = -1.-S-T
          SN  = 1.-S
          TN  = 1.-T
          TNS = -1.+S-T
          SSN = 1.-S*S
C
```

```
            SHAPE(    1) = S*SN*T/TN
            DERIV(1,  1) = -(2*S-1)*T/TN
            DERIV(2,  1) = (S*SN*TN+S*SN*T)/TN/TN
C
            SHAPE(    2) = -SSN*2*T/TN
            DERIV(1,  2) = 4*S*T/TN
            DERIV(2,  2) = (-2*SSN*TN+SSN*(-2)*T)/TN/TN
C
            SHAPE(    3) = -S*SM*T/TN
            DERIV(1,  3) = (2*S+1)*(-T)/TN
            DERIV(2,  3) = (-S*SM*TN-S*SM*T)/TN/TN
C
            SHAPE(    4) = S*SM*TM/2/TN
            DERIV(1,  4) = (2*S+1)*TM/2/TN
            DERIV(2,  4) = (S*SM*TN+S*SM*TM)/2/TN/TN
C
            SHAPE(    5) = SSN*TM/TN
            DERIV(1,  5) = -2*S*TM/TN
            DERIV(2,  5) = (SSN*TN+SSN*TM)/TN/TN
C
            SHAPE(    6) = -S*SN*TM/2/TN
            DERIV(1,  6) = (2*S-1)*TM/2/TN
            DERIV(2,  6) = (-S*SN*TN-S*SN*TM)/2/TN/TN
C
        ENDIF
C
        RETURN
        END
```

```
      SUBROUTINE JACOB2 (CARTD, DERIV, DJACB, ELCOD, KGASP,IELEM,
     .                   NONO, SHAPE, NDIME, GPCOD)
C*****************************************************************
C                                                                 ┘
C***  CALCULA E INVERTE A MATRIZ JACOBIANA E AS DERIVADAS CARTESIANAS
C     DAS FUNCOES DE FORMA
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ****************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION CARTD(2,9), SHAPE(9), XJACI(2,2), DERIV(2,9),
     .          ELCOD(2,9), GPCOD(2), XJACM(2,2)
C
C***  CALCULO DAS COORDENADAS DO PONTO DE GAUSS
C
      DO 120 IDIME = 1,NDIME
         GCORD = 0.0
         DO 110 INODE = 1,NONO
            GCORD = GCORD + ELCOD(IDIME,INODE)*SHAPE(INODE)
110      CONTINUE
         GPCOD(IDIME) = GCORD
120   CONTINUE
C
C***  DETERMINACAO DA MATRIZ JACOBIANA
C
      DO 210 IDIME = 1,NDIME
      DO 210 JDIME = 1,NDIME
         XJACO = 0.0
         DO 200 INODE = 1,NONO
            XJACO = XJACO + DERIV(IDIME,INODE)*ELCOD(JDIME,INODE)
200      CONTINUE
         XJACM(IDIME,JDIME) = XJACO
210   CONTINUE
C
C***  CALCULO DO DETERMINANTE E INVERSA DA MATRIZ JACOBIANA
C
      DJACB = XJACM(1,1)*XJACM(2,2)-XJACM(1,2)*XJACM(2,1)
C
      IF (DJACB.LE.0.0) THEN
         WRITE (6,900) KGASP,IELEM,DJACB
         STOP ' *** STOP na subrotina JACOB2'
      ENDIF
900   FORMAT(/' *** STOP na subrotina JACOB2 - o ponto de Gauss nº ',I2,
     .       ' do elemento ',I3,' tem área ',E10.3)
C
      XJACI(1,1) = +XJACM(2,2)/DJACB
      XJACI(2,2) = +XJACM(1,1)/DJACB
      XJACI(1,2) = -XJACM(1,2)/DJACB
      XJACI(2,1) = -XJACM(2,1)/DJACB
C
C
      IF (NONO.EQ.5) THEN
         NONO = 8
         CALL SHAP2I(DERIV, ETASP, EXISP, NONO, SHAPE)
         DO 250 JDIME = 1,NDIME
            DERIV(JDIME,5) = DERIV(JDIME,8)
            SHAPE (5) = SHAPE (8)
250      CONTINUE
         NONO = 5
      ENDIF
C
      IF (NONO.EQ.6) THEN
```

```
            NONO = 9
            CALL SHAP2I(DERIV, ETASP, EXISP, NONO, SHAPE)
            DO 260 JDIME = 1,NDIME
               DERIV(JDIME,5) = DERIV(JDIME,8)
               DERIV(JDIME,6) = DERIV(JDIME,9)
               SHAPE (5) = SHAPE (8)
               SHAPE (6) = SHAPE (9)
260         CONTINUE
            NONO = 6
         ENDIF
C
C***  CALCULO DAS DERIVADAS CARTESIANAS
C
         DO 310 IDIME = 1,NDIME
         DO 310 INODE = 1,NONO
            DCART = 0.0
            DO 300 JDIME = 1,NDIME
               DCART = DCART + XJACI(IDIME,JDIME)*DERIV(JDIME,INODE)
300         CONTINUE
            CARTD(IDIME,INODE) = DCART
310      CONTINUE
C
         RETURN
         END
```

```
      SUBROUTINE BMAT2D (BMATX, CARTD, NONO, SHAPE, NTYPE, GPCOD)
C*****************************************************************************
C
C***  CALCULA A MATRIZ B PARA PROBLEMAS PLANOS
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ****************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION BMATX(4,18), CARTD(2,9), GPCOD(2), SHAPE(9)
C
      NCOL2 = 0
      DO 100 INODE = 1,NONO
         NCOL1 = NCOL2+1
         NCOL2 = NCOL1+1
         CART1 = CARTD(1,INODE)
         CART2 = CARTD(2,INODE)
C
         BMATX(1,NCOL1) = CART1
         BMATX(1,NCOL2) = 0.0
         BMATX(2,NCOL1) = 0.0
         BMATX(2,NCOL2) = CART2
         BMATX(3,NCOL1) = CART2
         BMATX(3,NCOL2) = CART1
C
         IF (NTYPE.EQ.3) THEN
            BMATX(4,NCOL1) = SHAPE(INODE)/GPCOD(1)
            BMATX(4,NCOL2) = 0.0
         ENDIF
100   CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE DBMAT2 (DBMAT, DMATX, BMATX, NSTRE, NEVAB)
C*********************************************************************
C
C***  EFECTUA O PRODUTO DAS MATRIZES [D] E [B]
C
C**** 1990.01.01 * JCM ***************************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION DBMAT(4,18), BMATX(4,18), DMATX(4,4)
C
      DO 200 J = 1,NEVAB
      DO 200 I = 1,NSTRE
         DBIJ = 0.0
         DO 100 K = 1,NSTRE
            DBIJ = DBIJ+DMATX(I,K)*BMATX(K,J)
100      CONTINUE
         DBMAT(I,J) = DBIJ
200   CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE LOAD2D (COORD, LNODS, MATNO, NELEM, NNODM, NGAUS,
     .                   NPOIN, NTYPE, POSGP, PROPS, NMATS, WEIGP,
     .                   NDOFN, NPROP, NTOTV, ICASE, STRSG, NTOTG,
     .                   NDIME, MSTRE, GLOAD, FIXED, IFFIX, REACT,
     .                   NONOD)
C*****************************************************************
C
C***  CALCULA O VECTOR DE SOLICITACAO
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ***************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER TITLE*78
      DIMENSION MATNO(NELEM), FIXED(NTOTV), LNODS(NNODM,NELEM),
     .          GLOAD(NTOTV), REACT(NTOTV), COORD(NDIME,NPOIN),
     .          POSGP(NGAUS), IFFIX(NTOTV), PROPS(NPROP,NMATS),
     .          WEIGP(NGAUS),               STRSG(MSTRE,NTOTG)
      DIMENSION CARTD(2,9), DERIV(2,9), DGAUS(2), NODES(9),
     .          ELCOD(2,9), GPCOD(2,9), PGAUS(2), FVECT(9),
     .          PRESS(2,3), SHAPE(9)
C
      DIMENSION NONOD(NELEM)
C
C***  INICIALIZACAO
C
      TWOPI = 6.283185307179586
      DO 110 ITOTV = 1,NTOTV
         GLOAD(ITOTV) = 0.0
110   CONTINUE
C
      DO 120 ITOTG = 1,NTOTG
      DO 120 ISTRE = 1,MSTRE
         STRSG(ISTRE,ITOTG) = 0.0
120   CONTINUE
C
C***  TITULO DO CASO DE CARGA
C
      READ  (5,'(A)') TITLE
      WRITE (6, 1010) ICASE,TITLE
1010  FORMAT(//1X,78('*'),/51X,2('*'),' Caso de carga nº.',I5,1X,2('*'),
     .       /51X,28('*'),/A78,//1X,78('*'))
C
C***  PARAMETROS DEFINIDORES DOS TIPOS DE CARGA
C
      READ  (5,  * ) IPNOD,IGRAV,IEDGE,ITEMP,ISETL,IWRIT
      WRITE (6,1030) IPNOD,IGRAV,IEDGE,ITEMP,ISETL,IWRIT
1030  FORMAT(//' *** PARAMETROS DE CONTROLE',
     .       //'     Carga concentrada nodal                (IPNOD)=',I5,
     .        /'     Carga gravítica                        (IGRAV)=',I5,
     .        /'     Carga distribuida lateral              (IEDGE)=',I5,
     .        /'     Carga térmica                          (ITEMP)=',I5,
     .        /'     Assentamento de apoio                  (ISETL)=',I5,
     .        /'     Flag de escrita do vector de carga     (IWRIT)=',I5)
C
C***  CARGAS CONCENTRADAS APLICADAS NOS NOS
C
      IF (IPNOD.EQ.0) GO TO 200
      READ  (5,  * ) NPNOD
      WRITE (6,1100) NPNOD
1100  FORMAT(//' *** CARGAS CONCENTRADAS NODAIS',
     .       /'     Nº.de nós carregados =',I4)
      IF (NTYPE.NE.3) WRITE (6,1110)
      IF (NTYPE.EQ.3) WRITE (6,1120)
```

```
1110  FORMAT(/'      Nó',10X,'Fx(kN)',10X,'Fy(kN)',/3X,36('_'))
1120  FORMAT(/'      Nó',10X,'Fr(kN)',10X,'Fz(kN)',/3X,36('_'))
C
      DO 190 JPNOD = 1,NPNOD
         READ  (5,  * ) IPOIN,(FVECT(IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
         WRITE (6,1130) IPOIN,(FVECT(IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
1130  FORMAT(2X,I5,2X,F13.3,3X,F13.3)
C
         ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
         DO 180 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            IF (NTYPE.EQ.3)
     .      FVECT(IDOFN) = FVECT(IDOFN)*TWOPI*COORD(1,IPOIN)
            GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV)+FVECT(IDOFN)
180      CONTINUE
190   CONTINUE
C
C***  CARGA GRAVITICA
C
200   IF (IGRAV.EQ.0) GO TO 300
      READ  (5,  * ) THETA,GVALU
      WRITE (6,1210) THETA,GVALU
1210  FORMAT(//' *** CARGA GRAVITICA',
     .       //'     Angulo da gravidade com a vertical =',F6.2,
     .        /'     Aceleração da gravidade   (m/s2)   =',F6.2)
C
      IF (GVALU.EQ.0.0) GO TO 300
      IF (NTYPE.EQ.3.AND.THETA.NE.0.0) THEN
         WRITE (6,1215)
         STOP ' *** STOP na subrotina LOAD2D'
      ENDIF
1215  FORMAT(//' *** STOP na subrotina "LOAD2D" - acção gravítica não ',
     .          'axissimétrica !')
C
      THETA = THETA/57.2957795130833
C
C***  CICLO SOBRE OS ELEMENTOS
C
      DO 290 IELEM = 1,NELEM
         NONO = NONOD(IELEM)
         LPROP = MATNO(IELEM)
         THICK = PROPS(3,LPROP)
         DENSE = PROPS(4,LPROP)
         IF (DENSE.EQ.0.0) GO TO 290
         FVECT(1) = +DENSE*GVALU*SIN(THETA)
         FVECT(2) = -DENSE*GVALU*COS(THETA)
C
C***  COORDENADAS DOS NOS DO ELEMENTO
C
         DO 210 INODE = 1,NNODM
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            NODES(INODE) = IPOIN
            DO 205 IDIME = 1,NDIME
               ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(IDIME,IPOIN)
205         CONTINUE
210      CONTINUE
C
C***  CICLOS SOBRE OS PONTOS DE GAUSS
C
         KGASP = 0
         DO 270 IGAUS = 1,NGAUS
            EXISP = POSGP(IGAUS)
         DO 270 JGAUS = 1,NGAUS
```

```
            ETASP = POSGP(JGAUS)
            KGASP = KGASP+1
            CALL SHAP2I (DERIV, ETASP, EXISP, NONO, SHAPE)
            CALL JACOB2 (CARTD, DERIV, DJACB, ELCOD, KGASP, IELEM,
     .                   NONO, SHAPE, NDIME, GPCOD(1,KGASP))
            DVOLU = DJACB*WEIGP(IGAUS)*WEIGP(JGAUS)*THICK
            IF (NTYPE.EQ.3) DVOLU = DVOLU*TWOPI*GPCOD(1,KGASP)
C
C***  CALCULO E ESPALHAMENTO DAS CARGAS
C
            DO 260 INODE = 1,NNODM
               IPOIN = NODES(INODE)
               ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
               SHVOL = SHAPE(INODE)*DVOLU
               DO 250 IDOFN = 1,NDOFN
                  ITOTV = ITOTV+1
                  GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV)+FVECT(IDOFN)*SHVOL
250            CONTINUE
260         CONTINUE
270      CONTINUE
290   CONTINUE
C
C***  CARGAS DISTRIBUIDAS APLICADAS EM LADOS DE ELEMENTOS
C
300   IF (IEDGE.EQ.0) GO TO 600
      READ  (5,  * ) NEDGE
      WRITE (6,1310) NEDGE
1310  FORMAT(//' *** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL',
     .        /'     Nº.de lados carregados =',I4,
     .       //'     Elem.       Nó                pn                pt',
     .        /5X,48('-'))
C
      NODEG = 3
      IF (NNODM.EQ.4) NODEG = 2
      DO 390 JEDGE = 1,NEDGE
         READ  (5, *  )JELEM,(NODES(J),(PRESS(I,J),I=1,NDOFN),J=1,NODEG)
         WRITE (6,1320)JELEM,(NODES(J),(PRESS(I,J),I=1,NDOFN),J=1,NODEG)
         NONO = NONOD(JELEM)
         DO 310 INODE = 1,NODEG
            IPOIN = NODES(INODE)
            DO 305 IDIME = 1,NDIME
               ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(IDIME,IPOIN)
305         CONTINUE
310      CONTINUE
1320  FORMAT(4X,I5,5X,I5,2(5X,F12.3),2(/14X,I5,2(5X,F12.3)))
C
C***  INTEGRACAO NUMERICA AO LONGO DO LADO CARREGADO
C
         ETASP = -1.0
         DO 380 IGAUS = 1,NGAUS
            EXISP = POSGP(IGAUS)
            CALL SHAP2I (DERIV, ETASP, EXISP, NONO, SHAPE)
            DVOLU = WEIGP(IGAUS)
            IF (NTYPE.EQ.3) THEN
               RADUS = 0.0
               DO 320 INODE = 1,NODEG
                  RADUS = RADUS+SHAPE(INODE)*ELCOD(1,INODE)
320            CONTINUE
               DVOLU = DVOLU*TWOPI*RADUS
            ENDIF
C
C***  CALCULO DAS COMPONENTES LOCAIS DAS CARGAS EQUIVALENTES NODAIS
C     NO PONTO DE GAUSS CORRENTE
C
```

```
            DO 340 IDIME = 1,NDIME
               PGAUS(IDIME) = 0.0
               DGAUS(IDIME) = 0.0
               DO 330 INODE = 1,NODEG
                  PGAUS(IDIME) =
     .            PGAUS(IDIME) + PRESS(IDIME,INODE)*SHAPE(INODE)
                  DGAUS(IDIME) =
     .            DGAUS(IDIME) + ELCOD(IDIME,INODE)*DERIV(1,INODE)
330            CONTINUE
340         CONTINUE
C
C***  CALCULO DAS COMPONENTES CARTESIANAS
C
            FVECT(1) = DGAUS(1)*PGAUS(2)-DGAUS(2)*PGAUS(1)
            FVECT(2) = DGAUS(1)*PGAUS(1)+DGAUS(2)*PGAUS(2)
C
C***  CALCULO E ESPALHAMENTO DA CARGA NODAL EQUIVALENTE
C
            DO 360 INODE = 1,NODEG
               IPOIN = NODES(INODE)
               ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
               SHVOL = SHAPE(INODE)*DVOLU
               DO 350 IDOFN = 1,NDOFN
                  ITOTV = ITOTV+1
                  GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV)+FVECT(IDOFN)*SHVOL
350            CONTINUE
360         CONTINUE
380      CONTINUE
390   CONTINUE
C
C***  CARGAS TERMICAS
C
600   IF (ITEMP.EQ.0) GO TO 700
      READ  (5,  * ) NTEMP
      WRITE (6,1600) NTEMP
1600  FORMAT(//' *** CARGA TERMICA',
     .        /'     Nº.de nós com variação de temperatura =',I4,
     .       //'     Barra     t (°C)',
     .        /5X,18('-'))
C
      DO 610 IPOIN = 1,NPOIN
         FIXED(IPOIN) = 0.0
610   CONTINUE
      DO 620 JTEMP = 1,NTEMP
         READ  (5,  * ) IPOIN,FIXED(IPOIN)
         WRITE (6,1610) IPOIN,FIXED(IPOIN)
620   CONTINUE
1610  FORMAT(5X,I5,F12.3)
C
C***  CICLO SOBRE OS ELEMENTOS
C
      KGAUS = 0
      DO 690 IELEM = 1,NELEM
         NONO = NONOD(IELEM)
         LPROP = MATNO(IELEM)
         YOUNG = PROPS(1,LPROP)
         POISS = PROPS(2,LPROP)
         THICK = PROPS(3,LPROP)
         ALPHA = PROPS(5,LPROP)
C
C***  COORDENADAS E TEMPERATURAS NODAIS
C
         DO 630 INODE = 1,NNODM
```

```
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            NODES(INODE) = IPOIN
            FVECT(INODE) = FIXED(IPOIN)
            DO 625 IDIME = 1,NDIME
               ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(IDIME,IPOIN)
625         CONTINUE
630      CONTINUE
C
C***  CICLOS SOBRE OS PONTOS DE GAUSS
C
         KGASP = 0
         DO 680 IGAUS = 1,NGAUS
            EXISP = POSGP(IGAUS)
         DO 680 JGAUS = 1,NGAUS
            ETASP = POSGP(JGAUS)
            KGAUS = KGAUS+1
            KGASP = KGASP+1
            CALL SHAP2I (DERIV, ETASP, EXISP, NONO, SHAPE)
            CALL JACOB2 (CARTD, DERIV, DJACB, ELCOD, KGASP, IELEM,
                         NNODM, SHAPE, NDIME, GPCOD(1,KGASP))
            DVOLU = DJACB*WEIGP(IGAUS)*WEIGP(JGAUS)*THICK
            IF (NTYPE.EQ.3) DVOLU = DVOLU*TWOPI*GPCOD(1,KGASP)
C
C***  CALCULO DAS TENSOES TERMICAS INICIAIS
C
            DELTA = 0.0
            DO 640 INODE = 1,NNODM
               DELTA = DELTA+FVECT(INODE)*SHAPE(INODE)
640         CONTINUE
C
            FACTR = 1.-2.*POISS
            IF (NTYPE.EQ.1) FACTR = 1.-POISS
            STRES = -YOUNG*ALPHA*DELTA/FACTR
C
            STRSG(1,KGAUS) = STRES
            STRSG(2,KGAUS) = STRES
            IF (NTYPE.NE.1) STRSG(4,KGAUS) = STRES
C
C***  CALCULO E ESPALHAMENTO DAS FORCAS NODAIS EQUIVALENTES
C
            EXTRA = 0.0
            SVOLU = STRES*DVOLU
            DO 650 INODE = 1,NNODM
               IF (NTYPE.EQ.3) EXTRA = SHAPE(INODE)/GPCOD(1,KGASP)
               IPOIN = NODES(INODE)
               ITOT2 = IPOIN*NDOFN
               ITOT1 = ITOT2-1
               GLOAD(ITOT1) = GLOAD(ITOT1)-SVOLU*(CARTD(1,INODE)+EXTRA)
               GLOAD(ITOT2) = GLOAD(ITOT2)-SVOLU* CARTD(2,INODE)
650         CONTINUE
680      CONTINUE
690   CONTINUE
C
C***  ASSENTAMENTOS DE APOIOS
C
700   DO 705 ITOTV = 1,NTOTV
         REACT(ITOTV) = 0.0
         FIXED(ITOTV) = 0.0
705   CONTINUE
C
      IF (ISETL.EQ.0) GO TO 800
      READ  (5,  * ) NSETL
      WRITE (6,1710) NSETL
1710  FORMAT(//' *** ASSENTAMENTOS DE APOIO',
```

```
     .         /'     Nº.de nós com deslocamentos prescritos =',I4,
     .        //'     Nó',8X,'d1(mm)',7X,'d2(mm)',
     .         /5X,30('-'))
C
      DO 720 JSETL = 1,NSETL
         READ  (5,  * ) JPOIN,(FVECT(I),I=1,NDOFN)
         WRITE (6,1720) JPOIN,FVECT(1)*1000.,FVECT(2)*1000.
1720  FORMAT(2X,I5,2F13.2)
C
         JTOTV = (JPOIN-1)*NDOFN
         DO 710 IDOFN = 1,NDOFN
            JTOTV = JTOTV+1
            SETTL = FVECT(IDOFN)
            IF (SETTL.NE.0.0) THEN
                IF (IFFIX(JTOTV).NE.1) THEN
                    WRITE (6,1730)
1730  FORMAT(//' *** STOP na subrotina "LOAD2D" - assentamento ',
     .              'prescrito em gdl livre !')
                    STOP ' *** STOP na subrotina LOAD2D'
                ELSE
                    FIXED(JTOTV) = SETTL
                ENDIF
            ENDIF
710      CONTINUE
720   CONTINUE
C
C***  ESCRITA DO VECTOR DE SOLICITACAO GLOBAL
C
800   IF (IWRIT.EQ.1) THEN
          WRITE (6,1800)
          WRITE (6,1802) (ITOTV,GLOAD(ITOTV),ITOTV=1,NTOTV)
      ENDIF
1800  FORMAT(//' *** VECTOR DE SOLICITAÇAO',/1X,74('-'))
1802  FORMAT(5(I4,E11.3))
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE GAUSS (A, B, N, X, R, IFFIX, FIXED, ICASE, NTCR,
     .                  LSMBDV, N1)
C*****************************************************************
C
C***  EFECTUA A REDUCAO E RETROSUBSTITUICAO DE GAUSS
C     * MATRIZ DE COEFICIENTES SIMETRICA
C     * ARMAZENAMENTO EM VECTOR (Semibanda Variavel)
C     * SEM ESCOLHA DE PIVOT
C     * VECTOR DAS INCOGNITAS COM COMPONENTES NAO LIVRES
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ******************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION A(NTCR), B(N), X(N), R(N), IFFIX(N), FIXED(N),
     .          LSMBDV(N1)
C
      KADRESS(I,J) = LSMBDV(I) + J - I
      LSMBDV(N1) = NTCR + 1
C..................................................... REDUCAO
C***  CICLO SOBRE AS EQUACOES
C
      DO 500 L = 1,N
         KNN = LSMBDV(L+1) - LSMBDV(L)
C
C***  VARIAVEL LIVRE
C
         IF (IFFIX(L).NE.1) THEN
C
C***  VERIFICACAO DO PIVOT
C
            PIVOT = A(LSMBDV(L))
            IF (PIVOT.LT.1.E-30) THEN
                WRITE (6,900) PIVOT,L
900   FORMAT(//5X,' *** STOP na subrotina GAUSS : PIVOT =',E12.3,
     .                ' na equação nº.',I5)
                STOP ' *** STOP na subrotina GAUSS'
            ENDIF
C
            DO 190 I = L+1,L+KNN-1
               LI = KADRESS(L,I)
               FACTR = A(LI)/PIVOT
               IF (FACTR.NE.0.0) THEN
                   IF (ICASE.EQ.1) THEN
                       DO 180 J = I,L+KNN-1
                          IJ = KADRESS(I,J)
                          LJ = KADRESS(L,J)
                          A(IJ)=A(IJ)-FACTR*A(LJ)
180                    CONTINUE
                   ENDIF
                   B(I) = B(I)-FACTR*B(L)
               ENDIF
190         CONTINUE
C
C***  VARIAVEL NAO LIVRE
C
         ELSE
             DIFIX = FIXED(L)
             IF (DIFIX.NE.0.0) THEN
                 DO 310 I = L,L+KNN-1
                    LI = KADRESS(L,I)
                    B(I) = B(I)-A(LI)*DIFIX
310              CONTINUE
```

```
      SUBROUTINE STRE2D (NELEM, MATNO, PROPS, NPROP, NMATS, NNODM,
     .                   DDISP, NTOTV, LNODS, NEVAB, NDOFN, NSTRE,
     .                   MSTRE, STRSG, NTYPE, NGAUS, NTOTG)
C*****************************************************************
C
C***  CALCULA AS TENSOES NOS PONTOS DE GAUSS EM PROBLEMAS PLANOS
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ***************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION MATNO(NELEM), STRSG(MSTRE,NTOTG), PROPS(NPROP,NMATS),
     .          DDISP(NTOTV), LNODS(NNODM,NELEM)
      DIMENSION ELDIS(18), DBMAT(4,18), STRES(4)
C
C***  CICLO SOBRE OS ELEMENTOS
C
      REWIND 1
      KGAUS = 0
      DO 500 IELEM = 1,NELEM
         LPROP = MATNO(IELEM)
         POISS = PROPS(2,LPROP)
C
C***  DESLOCAMENTOS DOS NOS DO ELEMENTO
C
         IEVAB = 0
         DO 110 INODE = 1,NNODM
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
            DO 100 IDOFN = 1,NDOFN
               IEVAB = IEVAB+1
               ITOTV = ITOTV+1
               ELDIS(IEVAB) = DDISP(ITOTV)
100         CONTINUE
110      CONTINUE
C
C***  CICLOS SOBRE OS PONTOS DE GAUSS
C
         KGASP = 0
         DO 450 IGAUS = 1,NGAUS
         DO 450 JGAUS = 1,NGAUS
            KGAUS = KGAUS+1
            KGASP = KGASP+1
C
C***  CALCULO DE ‡SIGMA† = [D]x[B]x‡d†
C
            READ  (1) DBMAT
            DO 320 ISTRE = 1,NSTRE
               DELTA = 0.0
               DO 310 IEVAB = 1,NEVAB
                  DELTA = DELTA+DBMAT(ISTRE,IEVAB)*ELDIS(IEVAB)
310            CONTINUE
               STRES(ISTRE) = DELTA
               STRSG(ISTRE,KGAUS) = STRSG(ISTRE,KGAUS)+DELTA
320         CONTINUE
            IF (NTYPE.EQ.1) STRSG(4,KGAUS) = 0.0
            IF (NTYPE.EQ.2) STRSG(4,KGAUS) =
                            STRSG(4,KGAUS) +(STRES(1)+STRES(2))*POISS
     .
450      CONTINUE
500   CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE OUTPUT (NPOIN, NDOFN, DDISP, NTOTV, IFFIX, REACT,
     .                   NELEM, NGAUS, MSTRE, STRSG, NTOTG, NTYPE)
C*****************************************************************************
C
C***  ESCREVE DESLOCAMENTOS, REACCOES E TENSOES NOS PONTOS DE GAUSS
C
C**** 1992.11.09 * JR * AG * JL * (SEMG1) ****************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      DIMENSION DDISP(NTOTV), STRSG(MSTRE,NTOTG),
     .          IFFIX(NTOTV), REACT(NTOTV)
      DIMENSION STRSP(3), GPCOD(2,9)
C
C***  DESLOCAMENTOS
C
      IF (NTYPE.NE.3) WRITE (6,900)
      IF (NTYPE.EQ.3) WRITE (6,901)
900   FORMAT(/3X,27('*'),' Deslocamentos ',27('*'),
     .        /'   Nó          dx(m)          dy(m)     ',
     .         '   Nó          dx(m)          dy(m)',
     .        /3X,31('%'),7X,31('%'))
901   FORMAT(/3X,27('*'),' Deslocamentos ',27('*'),
     .        /'   Nó          dr(m)          dz(m)     ',
     .         '   Nó          dr(m)          dz(m)',
     .        /3X,31('%'),7X,31('%'))
C
      NROWS = (NPOIN+1)/2
      DO 110 IROWS = 1,NROWS
         I1 = IROWS
         I2 = MIN(I1+NROWS,NPOIN)
         WRITE (6,910)(J,DDISP(J*NDOFN-1),DDISP(J*NDOFN),J=I1,I2.NROWS)
110   CONTINUE
910   FORMAT(I5,1X,1P,2E14.6,4X,I5,1X,2E14.6)
C
C***  REACCOES
C
      IF (NTYPE.NE.3) WRITE (6,920)
      IF (NTYPE.EQ.3) WRITE (6,921)
920   FORMAT(//'   *********** Reacções **********',
     .        /'   Nó          Rx(kN)         Ry(kN)',/3X,31('%'))
921   FORMAT(//'   *********** Reacções **********',
     .        /'   Nó          Rr(kN)         Rz(kN)',/3X,31('%'))
C
      DO 220 IPOIN = 1,NPOIN
         ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
         DO 200 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            IF (IFFIX(ITOTV).NE.0) GO TO 210
200      CONTINUE
         GO TO 220
210      K1 = ITOTV-IDOFN+1
         K2 = K1+NDOFN-1
         WRITE (6,925) IPOIN,(REACT(I),I=K1,K2)
220   CONTINUE
925   FORMAT(I5,1X,1P,2E14.6)
C
C***  TENSOES NOS PONTOS DE GAUSS
C
      WRITE (6,930)
930   FORMAT(//,25('*'),' Tensöes nos pontos de Gauss ',25('*'))
C
      REWIND 2
      KGAUS = 0
```

```
      DO 350 IELEM = 1,NELEM
         IF (NTYPE.NE.3) WRITE (6,932) IELEM
         IF (NTYPE.EQ.3) WRITE (6,933) IELEM
932   FORMAT(/' Elem.  pG      x¶y     √ xx¶√ max     √ yy¶√ min       ',
     .        ' √ xy¶ang.          √ zz',
     .       /I5,1X,73('%'))
933   FORMAT(/' Elem.  pG      r¶z     √ rr¶√ max     √ zz¶√ min       ',
     .        ' √ rz¶ang.          √ □□',
     .       /I5,1X,73('%'))
         READ (2) GPCOD
         DO 310 IGAUS = 1,NGAUS*NGAUS
            KGAUS = KGAUS+1
C
C*** CALCULO DAS TENSOES PRINCIPAIS
C
            CONS1 = (STRSG(1,KGAUS)+STRSG(2,KGAUS))*0.5
            CONS2 = (STRSG(1,KGAUS)-STRSG(2,KGAUS))*0.5
            CONS3 =  STRSG(3,KGAUS)
            CONS4 = SQRT(CONS2*CONS2+CONS3*CONS3)
            STRSP(1) = CONS1+CONS4
            STRSP(2) = CONS1-CONS4
            CONS2 = CONS2+CONS4
            IF (CONS4.LT.1.E-5) THEN
               STRSP(3) = 0.0
            ELSEIF (ABS(CONS2/CONS4).LT.1.E-5) THEN
               STRSP(3) = 90.0
            ELSE
               STRSP(3) = ATAN(CONS3/CONS2)*57.2957795130833
            ENDIF
C
            WRITE (6,935) IGAUS,GPCOD(1,IGAUS),
     .                   (STRSG(ISTRE,KGAUS),ISTRE=1,MSTRE),
     .                    GPCOD(2,IGAUS),(STRSP(ISTRE),ISTRE=1,3)
310      CONTINUE
350   CONTINUE
935   FORMAT(I10,F9.2,1P,4E15.5,/10X,0P,F9.2,1P,2E15.5,0P,F15.2)
C
      RETURN
      END
```

6.4.1. Ficheiro de Dados após as alterações

Ficheiros em formato livre, com a seguinte estrutura:

1 - Título do problema (3 linhas)

2 - Parâmetros de controlo (1 linha)

NPOIN, NELEM, NVFIX,NMATS,NPROP,NNODM,NTYPE,NGAUS, NCASE

- NPOIN = n.º de nós
- NELEM = n.º de elementos
- NVFIX = n.º de nós ligados ao exterior
- NMATS = n.º de materiais
- NPROP = n.º máximo de propriedades do material
- NNODM = n.º de nós máximo por elemento
- NTYPE = Tipo de problema: 1 = Estado Plano de Tensão
  2 = Estado Plano de Deformação
  3 = Problema Axissimétrico
- NGAUS = n.º de pontos de Gauss
- NCASE = n.º de casos de carga

3 - Características dos elementos (NELEM linhas)

N.º do elem, N.º do mat, Índice do material , Número de nós , N.os dos nós

Nota:

O Índice do material (deve -se impor igual a 1) é pedido, dado que era também objectivo inicial deste trabalho a consideração do caso de ortotropia dos materiais ; porém, devido à indisponibilidade de dados, tal não foi possível.

Os nós devem ser listados em sentido directo, começando num nó de canto e acabando no nó central, se existir.

4 - Coordenadas dos nós (NPOIN linhas, no máximo)

N.º de nó, Coordenada X, Coordenada Y

- As coordenadas de nós situados no meio de lados rectilíneos em elementos de 8 ou 9 nós podem ser interpoladas a partir dos respectivos nós de canto.
- As coordenadas do nó central de elementos de 9 nós podem ser interpoladas a partir das coordenadas dos restantes nós.
- Tem sempre que se terminar a lista de coordenadas nodais com um nó NPOIN, quer este seja nó de canto ou não.

5 - Ligações ao exterior (NVFIX linhas)

N.º de nó, Código 1 (horizontal)-Código 2(vertical)

1 = deslocamento prescrito.
0 = deslocamento livre.

6 - Características geométricas e mecânicas dos materiais (2 x NMATS linhas)

N.º do material
E, ν, t, ρ, α

E = Módulo de Young
ν = Coeficiente de Poisson
t = Espessura
ρ = Massa específica
α = Coeficiente de dilatação térmica linear

7 - Definição das acções

7.1. Título do caso de carga (1linha)

7.2. Parâmetros de controlo

IPNOD, IGRAV, IEDGE, ITEMP, ISETL, IWRIT

Nota : 1 = Sim
0 = Não (e omite-se o bloco correspondente)

7.3. Forças concentradas aplicadas nos nós

N.º de cargas concentradas (NPNOD) (1 linha)
N.º de nó, Fx, Fy (NPNOD linhas)

7.4. Forças gravíticas

θ, g (1 linha)

θ = ângulo da gravidade com a vertical (sentido directo é o positivo)
g = aceleração da gravidade

7.5. Forças distribuídas aplicadas em lados de elementos

N.º de lados carregados (NEDGE) (1linha)
N.º do elemento, N.º do nó, Pn, Pt (repetir NEDGE vezes)

Pn = Componente normal
Pt = Componente tangencial

- A lista dos nós do lado carregado é dada em sentido directo
- A carga normal Pn é positiva se dirigida para o interior do elemento.
- A carga tangencial Pt é positiva quando dirigida em sentido directo.

7.6. Acção Térmica

N.º de nós com variação de temperatura (NTEMP) (1linha)
N.º de nó, Δt (°C) (NTEMP linhas)

7.7. Assentamentos de apoio

N.º de nós com assentamento (NSETL) (1linha)
N.º de nó, Δx, Δy (NSETL linhas)

Δx - positivo para a direita
Δy - positivo para cima

NOTA: O bloco 7 é repetido NCASE vezes.

6.5. Listagens do programa principal e da subrotina LOAD2D alteradas para tensões iniciais

```
C***  INTERFACES PARA ACEDER AOS COMANDOS "DATE" E "TIME" DO MS-DOS ***
C
                interface to subroutine time (n,str)
                character*10 str [near,reference]
                integer*2 n [value]
                end
C
                interface to subroutine date (n,str)
                character*10 str [near,reference]
                integer*2 n [value]
                end
C
      PROGRAM PLANE
C*********************************************************************
C
C***  PROGRAMA PARA A SOLUCAO DE PROBLEMAS PLANOS ELASTICOS PELO
C     METODO DOS ELEMENTOS FINITOS
C
C     * MATRIZ DE RIGIDEZ SIMETRICA ARMAZENADA EM VECTOR POR COLUNAS
C     * RESOLUCAO DO SISTEMA PELO METODO DE GAUSS TIRANDO PARTIDO DA
C       SIMETRIA
C
C**** 1990.04.14 * JCM ***************************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER*12 FILEI, FILEO
      character*10 stime, sdate
C
C***  DEFINICAO DE VARIAVEIS ASSOCIADAS COM O DIMENSIONAMENTO DINAMICO
C
      PARAMETER (MPOIN = 100, MELEM =  70, MMATS =  10, MGAUS =   3,
     .           MNODE =   9, NDOFN =   2, NDIME =   2, NPROP =   5,
     .           MSTRE =   4, MTOTG = MELEM*MGAUS*MGAUS,
     .           MEVAB = MNODE*NDOFN,      MTOTV = MPOIN*NDOFN,
     .           MGSTI = MTOTV*(MTOTV+1)/2,MESTI = MEVAB*(MEVAB+1)/2)
C
      DIMENSION MATNO(MELEM), LNODS(MNODE,MELEM)
C
      DIMENSION ESTIF(MESTI), GSTIF(MGSTI)
C
      DIMENSION COORD(NDIME,MPOIN)
C
      DIMENSION IFFIX(MTOTV), GLOAD(MTOTV),
     .          DDISP(MTOTV), REACT(MTOTV), FIXED(MTOTV)
C
      DIMENSION STRSG(MSTRE,MTOTG)
C
      DIMENSION PROPS(NPROP,MMATS)
C
      DIMENSION POSGP(MGAUS), WEIGP(MGAUS)
C
      DIMENSION BSIGM(MEVAB)
C
C***  ABERTURA DE CANAIS DE LEITURA E ESCRITA
C
1000  WRITE (*,'(A\)') ' NOME DO FICHEIRO DE DADOS ?       '
      READ  (*,'(A)') FILEI
      WRITE (*,'(A\)') ' NOME DO FICHEIRO DE RESULTADOS ? '
      READ  (*,'(A)') FILEO
C
      OPEN  (5, FILE= FILEI, STATUS='OLD', ERR=1000)
      OPEN  (6, FILE= FILEO, STATUS='NEW')
C
```

```
C***  ESCRITA DO CABEÇALHO DO FICHEIRO DE RESULTADOS
C
      call date ( 10, sdate)
      call time ( 10, stime)
C
      WRITE (6,9000) FILEI,sdate,FILEO,stime
9000  FORMAT(1X,78('*'),/1X,15('*'),'  Resultados obtidos com o',
     .       ' PROGRAMA "PLANE"  [versão 4.10] ',4('*'),
     .            /1X,15('*'),'  Ficheiro de dados :      ',A12,
     .             T58,4('*'),3X,A10,1X,4('*'),
     .            /1X,15('*'),'  Ficheiro de resultados : ',A12,
     .             T58,4('*'),3X,A10,1X,4('*'))
C
C***  INTRODUCAO DA TOPOLOGIA DA MALHA
C
      WRITE (*,*) ' *** Leitura dos parametros de controle'
      CALL INPUT1 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, NTYPE, NGAUS,
     .             NCASE, NSTRE, NTOTV, NDOFN, NDIME, NNODE,
     .             NEVAB, NPROP, NTOTG, MPOIN, MELEM, MMATS,
     .             NESTI, NGSTI)
C
      WRITE (*,*) ' *** Leitura da topologia da malha'
      CALL INPUT2 (NPOIN, NELEM, NVFIX, NMATS, COORD, NDIME,
     .             NNODE, NDOFN, LNODS, MATNO, NPROP, PROPS,
     .             NTOTV, IFFIX, POSGP, WEIGP, NGAUS, NTYPE)
C
C***  CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA
C
      WRITE (*,*) ' *** Formacao da matriz de rigidez global'
      CALL STIF2D (MATNO, PROPS, COORD, NDIME, LNODS, GSTIF,
     .             NMATS, NPROP, NGSTI, NELEM, NNODE, NDOFN,
     .             POSGP, WEIGP, NGAUS, NEVAB, NSTRE, NTYPE,
     .             ESTIF, NPOIN, NESTI)
C
C***  INTRODUCAO DAS CARGAS
C
      DO 100 ICASE = 1,NCASE
         WRITE (*,*) ' *** Formacao do vector de solicitacao global'
         CALL LOAD2D (COORD, LNODS, MATNO, NELEM, NNODE, NGAUS,
     .                NPOIN, NTYPE, POSGP, PROPS, NMATS, WEIGP,
     .                NDOFN, NPROP, NTOTV, ICASE, STRSG, NTOTG,
     .                NDIME, MSTRE, GLOAD, FIXED, IFFIX, REACT,
     .                NEVAB, BSIGM)
C
C***  RESOLUCAO DO SISTEMA DE EQUACOES
C
         WRITE (*,*) ' *** Resolucao do sistema de equacoes'
         CALL  GAUSS (GSTIF, GLOAD, NTOTV, NGSTI, DDISP, REACT,
     .                IFFIX, FIXED, ICASE)
C
C***  CALCULO DAS TENSOES NOS ELEMENTOS
C
         WRITE (*,*) ' *** Calculo das tensoes nos pontos de Gauss'
         CALL STRE2D (NELEM, MATNO, PROPS, NPROP, NMATS, NNODE,
     .                DDISP, NTOTV, LNODS, NEVAB, NDOFN, NSTRE,
     .                MSTRE, STRSG, NTYPE, NGAUS, NTOTG)
C
C***  ESCRITA DOS RESULTADOS FINAIS
C
         WRITE (*,*) ' *** Escrita dos resultados finais'
         CALL OUTPUT (NPOIN, NDOFN, DDISP, NTOTV, IFFIX, REACT,
     .                NELEM, NGAUS, MSTRE, STRSG, NTOTG, NTYPE)
100   CONTINUE
C
```

```
C***  FECHO DE CANAIS DE LEITURA E ESCRITA
C
      CLOSE (1)
      CLOSE (2)
      CLOSE (5)
      CLOSE (6)
C
      STOP ' *** STOP - fim de execucao.'
      END
```

```
      SUBROUTINE LOAD2D (COORD, LNODS, MATNO, NELEM, NNODE, NGAUS,
     .                   NPOIN, NTYPE, POSGP, PROPS, NMATS, WEIGP,
     .                   NDOFN, NPROP, NTOTV, ICASE, STRSG, NTOTG,
     .                   NDIME, MSTRE, GLOAD, FIXED, IFFIX, REACT,
     .                   NEVAB, BSIGM)
C*****************************************************************
C
C***  CALCULA O VECTOR DE SOLICITACAO
C
C**** 1990.04.14 * JCM ***************************************************
$debug
$large
      IMPLICIT  REAL*8 (A-H, O-Z)
      CHARACTER TITLE*78
C
      DIMENSION MATNO(NELEM), FIXED(NTOTV), LNODS(NNODE,NELEM),
     .          GLOAD(NTOTV), REACT(NTOTV), COORD(NDIME,NPOIN),
     .          POSGP(NGAUS), IFFIX(NTOTV), PROPS(NPROP,NMATS),
     .          WEIGP(NGAUS), BSIGM(NEVAB), STRSG(MSTRE,NTOTG)
      DIMENSION CARTD(2,9), DERIV(2,9) , DGAUS(2), NODES(9),
     .          ELCOD(2,9), GPCOD(2,9) , PGAUS(2), FVECT(9),
     .          PRESS(2,3), BMATX(4,18), SHAPE(9), STRS0(4)
C
C***  INICIALIZACAO
C
      TWOPI = 6.283185307179586
      DO 110 ITOTV = 1,NTOTV
         GLOAD(ITOTV) = 0.0
110   CONTINUE
C
      DO 120 ITOTG = 1,NTOTG
      DO 120 ISTRE = 1,MSTRE
         STRSG(ISTRE,ITOTG) = 0.0
120   CONTINUE
C
C***  TITULO DO CASO DE CARGA
C
      READ  (5,'(A)') TITLE
      WRITE (6, 1010) ICASE,TITLE
1010  FORMAT(//1X,78('*'),/51X,2('*'),' Caso de carga nº.',I5,1X,2('*'),
     .       /51X,28('*'),/A78,//1X,78('*'))
C
C***  PARAMETROS DEFINIDORES DOS TIPOS DE CARGA
C
      READ  (5,  * ) IPNOD,IGRAV,IEDGE,INSSS,ITEMP,ISETL,IWRIT
      WRITE (6,1030) IPNOD,IGRAV,IEDGE,INSSS,ITEMP,ISETL,IWRIT
1030  FORMAT(//' *** PARAMETROS DE CONTROLE',
     .       //'     Carga concentrada nodal                (IPNOD)=',I5,
     .        /'     Carga gravítica                        (IGRAV)=',I5,
     .        /'     Carga distribuida lateral              (IEDGE)=',I5,
     .        /'     Tensoes iniciais                       (INSSS)=',I5,
     .        /'     Carga térmica                          (ITEMP)=',I5,
     .        /'     Assentamento de apoio                  (ISETL)=',I5,
     .        /'     Flag de escrita do vector de carga     (IWRIT)=',I5)

C
C***  CARGAS CONCENTRADAS APLICADAS NOS NOS
C
      IF (IPNOD.EQ.0) GO TO 200
      READ  (5,  * ) NPNOD
      WRITE (6,1100) NPNOD
1100  FORMAT(//' *** CARGAS CONCENTRADAS NODAIS',
     .        /'     Nº.de nós carregados =',I4)
```

```
      IF (NTYPE.NE.3) WRITE (6,1110)
      IF (NTYPE.EQ.3) WRITE (6,1120)
1110  FORMAT(/'      Nó',10X,'Fx(kN)',10X,'Fy(kN)',/3X,36('-'))
1120  FORMAT(/'      Nó',10X,'Fr(kN)',10X,'Fz(kN)',/3X,36('-'))
C
      DO 190 JPNOD = 1,NPNOD
         READ  (5,  * ) IPOIN,(FVECT(IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
         WRITE (6,1130) IPOIN,(FVECT(IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
1130  FORMAT(2X,I5,2X,F13.3,3X,F13.3)
C
         ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
         DO 180 IDOFN = 1,NDOFN
            ITOTV = ITOTV+1
            IF (NTYPE.EQ.3)
     .      FVECT(IDOFN) = FVECT(IDOFN)*TWOPI*COORD(1,IPOIN)
            GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV)+FVECT(IDOFN)
180      CONTINUE
190   CONTINUE
C
C***  CARGA GRAVITICA ************************************************
C
200   IF (IGRAV.EQ.0) GO TO 300
      READ  (5,  * ) THETA,GVALU
      WRITE (6,1210) THETA,GVALU
1210  FORMAT(//' *** CARGA GRAVITICA',
     .       //'      Angulo da gravidade com a vertical =',F6.2,
     .        /'      Aceleração da gravidade   (m/s2)   =',F6.2)
C
      IF (GVALU.EQ.0.0) GO TO 300
      IF (NTYPE.EQ.3.AND.THETA.NE.0.0) THEN
         WRITE (6,1215)
         STOP ' *** STOP na subrotina LOAD2D'
      ENDIF
1215  FORMAT(//' *** STOP na subrotina "LOAD2D" - acção gravítica não ',
     .              'axissimétrica !')
C
      THETA = THETA/57.2957795130833
C
C***  CICLO SOBRE OS ELEMENTOS
C
      DO 290 IELEM = 1,NELEM
         LPROP = MATNO(IELEM)
         THICK = PROPS(3,LPROP)
         DENSE = PROPS(4,LPROP)
         IF (DENSE.EQ.0.0) GO TO 290
         FVECT(1) = +DENSE*GVALU*SIN(THETA)
         FVECT(2) = -DENSE*GVALU*COS(THETA)
C
C***  COORDENADAS DOS NOS DO ELEMENTO
C
         DO 210 INODE = 1,NNODE
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            NODES(INODE) = IPOIN
            DO 205 IDIME = 1,NDIME
               ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(IDIME,IPOIN)
205         CONTINUE
210      CONTINUE
C
C***  CICLOS SOBRE OS PONTOS DE GAUSS
C
         KGASP = 0
         DO 270 IGAUS = 1,NGAUS
            EXISP = POSGP(IGAUS)
```

```
         DO 270 JGAUS = 1,NGAUS
            ETASP = POSGP(JGAUS)
            KGASP = KGASP+1
            CALL SHAPE2 (DERIV, ETASP, EXISP, NNODE, SHAPE)
            CALL JACOB2 (CARTD, DERIV, DJACB, ELCOD, KGASP, IELEM,
     .                   NNODE, SHAPE, NDIME, GPCOD(1,KGASP))
            DVOLU = DJACB*WEIGP(IGAUS)*WEIGP(JGAUS)*THICK
            IF (NTYPE.EQ.3) DVOLU = DVOLU*TWOPI*GPCOD(1,KGASP)
C
C***  CALCULO E ESPALHAMENTO DAS CARGAS
C
            DO 260 INODE = 1,NNODE
               IPOIN = NODES(INODE)
               ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
               SHVOL = SHAPE(INODE)*DVOLU
               DO 250 IDOFN = 1,NDOFN
                  ITOTV = ITOTV+1
                  GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV)+FVECT(IDOFN)*SHVOL
250            CONTINUE
260         CONTINUE
270      CONTINUE
290   CONTINUE
C
C***  CARGAS DISTRIBUIDAS APLICADAS EM LADOS DE ELEMENTOS ************
C
300   IF (IEDGE.EQ.0) GO TO 500
      READ  (5,  * ) NEDGE
      WRITE (6,1310) NEDGE
1310  FORMAT(//' *** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL',
     .        /'     Nº.de lados carregados =',I4,
     .       //'     Elem.       Nó                pn                pt',
     .        /5X,48('-'))
C
      NODEG = 3
      IF (NNODE.EQ.4) NODEG = 2
      DO 390 JEDGE = 1,NEDGE
         READ  (5, *  )JELEM,(NODES(J),(PRESS(I,J),I=1,NDOFN),J=1,NODEG)
         WRITE (6,1320)JELEM,(NODES(J),(PRESS(I,J),I=1,NDOFN),J=1,NODEG)
         DO 310 INODE = 1,NODEG
            IPOIN = NODES(INODE)
            DO 305 IDIME = 1,NDIME
               ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(IDIME,IPOIN)
305         CONTINUE
310      CONTINUE
1320  FORMAT(4X,I5,5X,I5,2(5X,F12.3),2(/14X,I5,2(5X,F12.3)))
C
C***  INTEGRACAO NUMERICA AO LONGO DO LADO CARREGADO
C
         ETASP = -1.0
         DO 380 IGAUS = 1,NGAUS
            EXISP = POSGP(IGAUS)
            CALL SHAPE2 (DERIV, ETASP, EXISP, NNODE, SHAPE)
            DVOLU = WEIGP(IGAUS)
            IF (NTYPE.EQ.3) THEN
               RADUS = 0.0
               DO 320 INODE = 1,NODEG
                  RADUS = RADUS+SHAPE(INODE)*ELCOD(1,INODE)
320            CONTINUE
               DVOLU = DVOLU*TWOPI*RADUS
            ENDIF
C
C***  CALCULO DAS COMPONENTES LOCAIS DAS CARGAS EQUIVALENTES NODAIS
C     NO PONTO DE GAUSS CORRENTE
```

```
C
            DO 340 IDIME = 1,NDIME
               PGAUS(IDIME) = 0.0
               DGAUS(IDIME) = 0.0
               DO 330 INODE = 1,NODEG
                  PGAUS(IDIME) =
                  PGAUS(IDIME) + PRESS(IDIME,INODE)*SHAPE(INODE)
     .
                  DGAUS(IDIME) =
                  DGAUS(IDIME) + ELCOD(IDIME,INODE)*DERIV(1,INODE)
     .
330            CONTINUE
340         CONTINUE
C
C***  CALCULO DAS COMPONENTES CARTESIANAS
C
            FVECT(1) = DGAUS(1)*PGAUS(2)-DGAUS(2)*PGAUS(1)
            FVECT(2) = DGAUS(1)*PGAUS(1)+DGAUS(2)*PGAUS(2)
C
C***  CALCULO E ESPALHAMENTO DA CARGA NODAL EQUIVALENTE
C
            DO 360 INODE = 1,NODEG
               IPOIN = NODES(INODE)
               ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
               SHVOL = SHAPE(INODE)*DVOLU
               DO 350 IDOFN = 1,NDOFN
                  ITOTV = ITOTV+1
                  GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV)+FVECT(IDOFN)*SHVOL
350            CONTINUE
360         CONTINUE
380      CONTINUE
390   CONTINUE
C
C***  TENSOES INICIAIS ***********************************************
C
500   IF (INSSS.EQ.0) GO TO 600
      READ  (5,  * ) A,B,C0
      WRITE (6,1500) A,B,C0
1500  FORMAT(//' *** TENSOES INICIAIS',
     .       /'     Valor inicial da tensao Tv =',F10.3,
     .       /'     Declive                    =',F10.3,
     .       /'     Relacao das Tensoes Princ. =',F10.3,
     .       /5X,28('-'))
C
      NSTRE = 3
      IF (NTYPE.EQ.3) NSTRE =4
C
C***  CICLO SOBRE OS ELEMENTOS
C
      KGAUS = 0
C
      DO 590 IELEM = 1,NELEM
C
         LPROP = MATNO(IELEM)
         THICK = PROPS(3,LPROP)
C
C***  COORDENADAS NODAIS
C
         DO 510 INODE = 1,NNODE
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            NODES(INODE) = IPOIN
            DO 505 IDIME = 1,NDIME
               ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(IDIME,IPOIN)
505         CONTINUE
510      CONTINUE
```

```
C
C***  CICLOS SOBRE OS PONTOS DE GAUSS
C
          DO 520 IEVAB = 1,NEVAB
             BSIGM (IEVAB) = 0.0
520       CONTINUE
C
          KGASP = 0
          DO 550 IGAUS = 1,NGAUS
             EXISP = POSGP(IGAUS)
          DO 550 JGAUS = 1,NGAUS
             ETASP = POSGP(JGAUS)
             KGAUS = KGAUS+1
             KGASP = KGASP+1
             CALL SHAPE2 (DERIV, ETASP, EXISP, NNODE, SHAPE)
             CALL JACOB2 (CARTD, DERIV, DJACB, ELCOD, KGASP, IELEM,
                          NNODE, SHAPE, NDIME, GPCOD(1,KGASP))
             DVOLU = DJACB*WEIGP(IGAUS)*WEIGP(JGAUS)*THICK
             IF (NTYPE.EQ.3) DVOLU = DVOLU*TWOPI*GPCOD(1,KGASP)
C
             CALL BMAT2D (BMATX, CARTD, NNODE, SHAPE, NTYPE, GPCOD)
C
C***  CALCULO DAS TENSOES INICIAIS
C
             STRS0(2) = A+B*GPCOD(2,KGASP)
             STRS0(1) = C0*STRS0(2)
             STRS0(3) = 0.0
             STRS0(4) = 0.0
C
             STRSG(1,KGAUS) = STRS0(1)
             STRSG(2,KGAUS) = STRS0(2)
             STRSG(3,KGAUS) = STRS0(3)
             STRSG(4,KGAUS) = STRS0(4)
C
C            IF (NTYPE.NE.1) STRSG(4,KGAUS) = STRES
C
C***  CALCULO E ESPALHAMENTO DAS FORCAS NODAIS EQUIVALENTES
C
             DO 540 IEVAB = 1,NEVAB
                AUX = 0.0
                DO 530 ISTRE = 1,NSTRE
                   AUX = AUX + BMATX(ISTRE,IEVAB)
                   *STRS0(ISTRE)
530             CONTINUE
                BSIGM(IEVAB) = BSIGM(IEVAB) + AUX * DVOLU
540          CONTINUE
550       CONTINUE
C
          IEVAB = 0
          DO 570 INODE = 1,NNODE
             IPOIN = NODES(INODE)
             ITOTV = (IPOIN-1)*NDOFN
             DO 560 IDOFN = 1,NDOFN
                IEVAB = IEVAB+1
                ITOTV = ITOTV+1
                GLOAD(ITOTV) = GLOAD(ITOTV) - BSIGM(IEVAB)
560          CONTINUE
570       CONTINUE
590    CONTINUE
C
C***  CARGAS TERMICAS **********************************************
C
600    IF (ITEMP.EQ.0) GO TO 700
```

```
      READ  (5,  * ) NTEMP
      WRITE (6,1600) NTEMP
1600  FORMAT(//' *** CARGA TERMICA',
     .        /'     Nº.de nós com variação de temperatura =',I4,
     .       //'     Barra     t (°C)',
     .        /5X,18('-'))
C
      DO 610 IPOIN = 1,NPOIN
         FIXED(IPOIN) = 0.0
610   CONTINUE
      DO 620 JTEMP = 1,NTEMP
         READ  (5,  * ) IPOIN,FIXED(IPOIN)
         WRITE (6,1610) IPOIN,FIXED(IPOIN)
620   CONTINUE
1610  FORMAT(5X,I5,F12.3)
C
C***  CICLO SOBRE OS ELEMENTOS
C
      KGAUS = 0
      DO 690 IELEM = 1,NELEM
         LPROP = MATNO(IELEM)
         YOUNG = PROPS(1,LPROP)
         POISS = PROPS(2,LPROP)
         THICK = PROPS(3,LPROP)
         ALPHA = PROPS(5,LPROP)
C
C***  COORDENADAS E TEMPERATURAS NODAIS
C
         DO 630 INODE = 1,NNODE
            IPOIN = LNODS(INODE,IELEM)
            NODES(INODE) = IPOIN
            FVECT(INODE) = FIXED(IPOIN)
            DO 625 IDIME = 1,NDIME
               ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(IDIME,IPOIN)
625         CONTINUE
630      CONTINUE
C
C***  CICLOS SOBRE OS PONTOS DE GAUSS
C
         KGASP = 0
         DO 680 IGAUS = 1,NGAUS
            EXISP = POSGP(IGAUS)
         DO 680 JGAUS = 1,NGAUS
            ETASP = POSGP(JGAUS)
            KGAUS = KGAUS+1
            KGASP = KGASP+1
            CALL SHAPE2 (DERIV, ETASP, EXISP, NNODE, SHAPE)
            CALL JACOB2 (CARTD, DERIV, DJACB, ELCOD, KGASP, IELEM,
     .                   NNODE, SHAPE, NDIME, GPCOD(1,KGASP))
            DVOLU = DJACB*WEIGP(IGAUS)*WEIGP(JGAUS)*THICK
            IF (NTYPE.EQ.3) DVOLU = DVOLU*TWOPI*GPCOD(1,KGASP)
C
C***  CALCULO DAS TENSOES TERMICAS INICIAIS
C
            DELTA = 0.0
            DO 640 INODE = 1,NNODE
               DELTA = DELTA+FVECT(INODE)*SHAPE(INODE)
640         CONTINUE
C
            FACTR = 1.-2.*POISS
            IF (NTYPE.EQ.1) FACTR = 1.-POISS
            STRES = -YOUNG*ALPHA*DELTA/FACTR
C
```

```
            STRSG(1,KGAUS) = STRES
            STRSG(2,KGAUS) = STRES
            IF (NTYPE.NE.1) STRSG(4,KGAUS) = STRES
C
C***  CALCULO E ESPALHAMENTO DAS FORCAS NODAIS EQUIVALENTES
C
            EXTRA = 0.0
            SVOLU = STRES*DVOLU
            DO 650 INODE = 1,NNODE
               IF (NTYPE.EQ.3) EXTRA = SHAPE(INODE)/GPCOD(1,KGASP)
               IPOIN = NODES(INODE)
               ITOT2 = IPOIN*NDOFN
               ITOT1 = ITOT2-1
               GLOAD(ITOT1) = GLOAD(ITOT1)-SVOLU*(CARTD(1,INODE)+EXTRA)
               GLOAD(ITOT2) = GLOAD(ITOT2)-SVOLU* CARTD(2,INODE)
650         CONTINUE
680      CONTINUE
690   CONTINUE
C
C***  ASSENTAMENTOS DE APOIOS
C
700   DO 705 ITOTV = 1,NTOTV
         REACT(ITOTV) = 0.0
         FIXED(ITOTV) = 0.0
705   CONTINUE
C
      IF (ISETL.EQ.0) GO TO 800
      READ  (5,  * ) NSETL
      WRITE (6,1710) NSETL
1710  FORMAT(//' *** ASSENTAMENTOS DE APOIO',
     .        /'     Nº.de nós com deslocamentos prescritos =',I4,
     .       //'     Nó',8X,'d1(mm)',7X,'d2(mm)',
     .        /5X,30('-'))
C
      DO 720 JSETL = 1,NSETL
         READ  (5,  * ) JPOIN,(FVECT(I),I=1,NDOFN)
         WRITE (6,1720) JPOIN,FVECT(1)*1000.,FVECT(2)*1000.
1720  FORMAT(2X,I5,2F13.2)
C
         JTOTV = (JPOIN-1)*NDOFN
         DO 710 IDOFN = 1,NDOFN
            JTOTV = JTOTV+1
            SETTL = FVECT(IDOFN)
            IF (SETTL.NE.0.0) THEN
                IF (IFFIX(JTOTV).NE.1) THEN
                    WRITE (6,1730)
1730  FORMAT(//' *** STOP na subrotina "LOAD2D" - assentamento ',
     .              'prescrito em gdl livre !')
     .              STOP ' *** STOP na subrotina LOAD2D'
                ELSE
                    FIXED(JTOTV) = SETTL
                ENDIF
            ENDIF
710      CONTINUE
720   CONTINUE
C
C***  ESCRITA DO VECTOR DE SOLICITACAO GLOBAL
C
800   IF (IWRIT.EQ.1) THEN
          WRITE (6,1800)
          WRITE (6,1802) (ITOTV,GLOAD(ITOTV),ITOTV=1,NTOTV)
      ENDIF
1800  FORMAT(//' *** VECTOR DE SOLICITAÇAO',/1X,74('-'))
```

```
1802  FORMAT(5(I4,E11.3))
C
      RETURN
      END
```

7 - APLICAÇÕES COM O PROGRAMA PLANE ALTERADO

7.1. Cavidade cilíndrica com pressão interior num meio semi-infinito

Pretende-se fazer uma análise dos deslocamentos radiais e das tensões radiais em torno de uma cavidade cilíndrica em meio semi-infinito sujeita a pressão interior ($p = 10\ kN/m^2$).

Tomou-se para módulo de deformabilidade o valor de 100 MPa e para coeficiente de Poisson o valor de 0,3.

Trata-se de um estado axissimétrico de tensão.

Consideramos uma faixa central com quatro metros de altura. É, portanto, aceitável a colocação de apoios simples nos nós superiores e inferiores. Difícil é saber até que distância da cavidade cilindrica existe influência da pressão interior.

Foram consideradas três situações:

i) Truncou-se o meio a vinte metros de distância ao centro da cavidade cilíndrica e foram ai restringidos os deslocamentos radiais, através da colocação de apoios duplos.

ii) Truncou-se o meio a vinte metros de distância do centro, tal como no caso anterior, mas termitindo agora os deslocamentos radiais.

iii) Substituíu-se o elemento exterior por um elemento semi-infinito.

Não custa a aceitar que as situações criadas em i) e ii) correspondem aos extremos, fornecendo a primeira deslocamentos por defeito e a segunda por excesso.

A introdução de um elemento infinito (situação iii)), fornece valores intermédios que se aproximam dos valores reais, praticamente coincidentes com os obtidos por via analítica.

Nas páginas seguintes são apresentadas as malhas de elementos finitos, os ficheiros de dados e resultados e o gráfico de deslocamentos obtidos para as três situações descritas.

CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMÉTRICO, SEM ELEMENTO SEMI-INFINITO, PERMITINDO O DESLOCAMENTO DA FACE EXTERIOR

12
13
14
15
16
17
18
9
9
10
11

```
CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMETRICO SEM ELEMENTO SEMI-INFINITO,
PERMITINDO O DESLOCAMENTO DA FACE EXTERIOR

18    3     14     1     5     8     3     2     1
 1     1     1     8    12     8     1     2     3     9    14    13
 2     1     1     8    14     9     3     4     5    10    16    15
 3     1     1     8    16    10     5     6     7    11    18    17
 1     5     0
 2     6.5   0
 3     8     0
 4    10.5   0
 5    13     0
 6    16.5   0
 7    20     0
 8     5     2
 9     8     2
10    13     2
11    20     2
12     5     4
13     6.5   4
14     8     4
15    10.5   4
16    13     4
17    16.5   4
18    20     4
 1   01
 2   01
 3   01
 4   01
 5   01
 6   01
 7   01
12   01
13   01
14   01
15   01
16   01
17   01
18   01
1
100000.  0.3    1    0   0
****************************  PRESSAO  INTERIOR ***********
0   0   1   0   0   0
1
1   12   10    0
     8   10    0
     1   10    0
```

```
*****************************************************************************
***************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "PLANE"  [versão 4.10] ****
***************  Ficheiro de dados :       CILINF1.DAT    ****   05-20-93   ****
***************  Ficheiro de resultados : CILINF1.RES    ****   20:16:26   ****
*****************************************************************************
```

CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMETRICO SEM ELEMENTO SEMI-INFINITO,
PERMITINDO O DESLOCAMENTO DA FACE EXTERIOR

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Nº. total de nós	(NPOIN)	=	18
Nº. total de elementos	(NELEM)	=	3
Nº. de nós ligados ao exterior	(NVFIX)	=	14
Nº. de materiais	(NMATS)	=	1
Nº. máximo de nós/elemento	(NNODM)	=	8
Tipo de problema	(NTYPE)	=	3
Nº de pontos de integração	(NGAUS)	=	2
Nº. de casos de carga	(NCASE)	=	1
Nº. de graus de liberdade/nó	(NDOFN)	=	2
Nº. de coordenadas/nó	(NDIME)	=	2
Nº. de propriedades/material	(NPROP)	=	5
Nº de componentes da tensão	(NSTRE)	=	4
Nº. de variáveis/elemento	(NEVAB)	=	16
Nº. total de variáveis	(NTOTV)	=	36
Nº. total de pontos de Gauss	(NTOTG)	=	12

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle

***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

Elem.	Mat.	Tipo	Nós/Elem	Nós							
1	1	1	8	12	8	1	2	3	9	14	13
2	1	1	8	14	9	3	4	5	10	16	15
3	1	1	8	16	10	5	6	7	11	18	17

*** Economia de MEMORIA, armazenando apenas a Semibanda Variavel,
relativamente a outras formas de armazenar :

Matriz de rigidez completa	52%
Triangulo superior	7%
Semibanda constante	38%

*** COORDENADAS NODAIS

Nó	R(m)	Z(m)	Nó	R(m)	Z(m)
1	5.00000	.00000	10	13.00000	2.00000
2	6.50000	.00000	11	20.00000	2.00000
3	8.00000	.00000	12	5.00000	4.00000
4	10.50000	.00000	13	6.50000	4.00000
5	13.00000	.00000	14	8.00000	4.00000

6	16.50000	.00000	15	10.50000	4.00000
7	20.00000	.00000	16	13.00000	4.00000
8	5.00000	2.00000	17	16.50000	4.00000
9	8.00000	2.00000	18	20.00000	4.00000

*** LIGAÇOES AO EXTERIOR

Nó	Cód.
1	01
2	01
3	01
4	01
5	01
6	01
7	01
12	01
13	01
14	01
15	01
16	01
17	01
18	01

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK2" :
*** Não foram detectados erros na topologia da malha

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

MATERIAIS ISOTROPICOS

Mat.	E	ν	t	Γ	α
	KPa	-	m	kg/m3	/°C
	1100000.00	.30	1.000	.00	.000000

****

** Caso de carga nº. 1 **

****

********** PRESSAO INTERIOR **********

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL
Nº.de lados carregados = 1

Elem.	Nó	pn	pt

1	12	10.000	.000
	8	10.000	.000
	1	10.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dr(m)	dz(m)	Nó	dr(m)	dz(m)
1	7.106667E-04	.000000E+00	10	3.117333E-04	2.871171E-20
2	5.558667E-04	.000000E+00	11	2.426667E-04	5.875977E-21
3	4.610667E-04	.000000E+00	12	7.106667E-04	.000000E+00
4	3.665587E-04	.000000E+00	13	5.558667E-04	.000000E+00
5	3.117333E-04	.000000E+00	14	4.610667E-04	.000000E+00
6	2.673010E-04	.000000E+00	15	3.665587E-04	.000000E+00
7	2.426667E-04	.000000E+00	16	3.117333E-04	.000000E+00
8	7.106667E-04	3.113504E-19	17	2.673010E-04	.000000E+00
9	4.610667E-04	-2.058123E-19	18	2.426667E-04	.000000E+00

********** Reacções **********

Nó	Rr(kN)	Rz(kN)
1	.000000E+00	-6.283184E+00
2	.000000E+00	-3.267256E+01
3	.000000E+00	-2.680826E+01
4	.000000E+00	-8.796460E+01
5	.000000E+00	-6.534513E+01
6	.000000E+00	-1.935221E+02
7	.000000E+00	-5.864306E+01
12	.000000E+00	6.283184E+00
13	.000000E+00	3.267256E+01
14	.000000E+00	2.680826E+01
15	.000000E+00	8.796460E+01
16	.000000E+00	6.534513E+01
17	.000000E+00	1.935221E+02
18	.000000E+00	5.864306E+01

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
1	1	5.63	-7.77646E+00	4.00000E-01	4.70735E-14	9.10980E+00
		3.15	4.00000E-01	-7.77646E+00	90.00	
	2	7.37	-4.22354E+00	4.00000E-01	1.50990E-14	5.55687E+00
		3.15	4.00000E-01	-4.22354E+00	90.00	
	3	5.63	-7.77646E+00	4.00000E-01	-1.19904E-14	9.10980E+00
		.85	4.00000E-01	-7.77646E+00	90.00	
	4	7.37	-4.22354E+00	4.00000E-01	5.32907E-15	5.55687E+00
		.85	4.00000E-01	-4.22354E+00	90.00	
Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
2	1	9.06	-2.60238E+00	4.00000E-01	2.22045E-15	3.93571E+00
		3.15	4.00000E-01	-2.60238E+00	90.00	
	2	11.94	-1.19249E+00	4.00000E-01	-2.22045E-15	2.52582E+00
		3.15	4.00000E-01	-1.19249E+00	90.00	
	3	9.06	-2.60238E+00	4.00000E-01	8.88178E-15	3.93571E+00
		.85	4.00000E-01	-2.60238E+00	90.00	
	4	11.94	-1.19249E+00	4.00000E-01	-8.88178E-16	2.52582E+00
		.85	4.00000E-01	-1.19249E+00	90.00	
Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
3						

1	14.48	-6.10191E-01	4.00000E-01	-4.44089E-16	1.94352E+00
	3.15	4.00000E-01	-6.10191E-01	90.00	
2	18.52	-1.07757E-01	4.00000E-01	1.77636E-15	1.44109E+00
	3.15	4.00000E-01	-1.07757E-01	90.00	
3	14.48	-6.10191E-01	4.00000E-01	-2.66454E-15	1.94352E+00
	.85	4.00000E-01	-6.10191E-01	90.00	
4	18.52	-1.07757E-01	4.00000E-01	-4.44089E-16	1.44109E+00
	.85	4.00000E-01	-1.07757E-01	90.00	

CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMÉTRICO, SEM ELEMENTO SEMI-INFINITO, DESLOCAMENTO DA FACE EXTERIOR IMPEDIDO

12
13
14
15
16
17
18
8
9
10
11
7
6
5
4
3
2
1

```
CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMETRICO SEM ELEMENTO SEMI-INFINITO,
DESLOCAMENTO DA FACE EXTERIOR IMPEDIDO

 18    3     15     1     5     8     3     2     1
  1    1      1     8    12     8     1     2     3     9    14    13
  2    1      1     8    14     9     3     4     5    10    16    15
  3    1      1     8    16    10     5     6     7    11    18    17
  1    5      0
  2    6.5    0
  3    8      0
  4   10.5    0
  5   13      0
  6   16.5    0
  7   20      0
  8    5      2
  9    8      2
 10   13      2
 11   20      2
 12    5      4
 13    6.5    4
 14    8      4
 15   10.5    4
 16   13      4
 17   16.5    4
 18   20      4
  1   01
  2   01
  3   01
  4   01
  5   01
  6   01
  7   11
 11   11
 12   01
 13   01
 14   01
 15   01
 16   01
 17   01
 18   11
1
100000.  0.3    1    0   0
****************************  PRESSAO  INTERIOR ***********
0   0   1   0   0   0
1
1   12   10    0
     8   10    0
     1   10    0
```

```
*****************************************************************************
***************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "PLANE"  [versão 4.10] ****
***************  Ficheiro de dados :        CILINF2.DAT    ****   05-20-93   ****
***************  Ficheiro de resultados : CILINF2.RES    ****   20:17:04   ****
*****************************************************************************
```

CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMETRICO SEM ELEMENTO SEMI-INFINITO,
DESLOCAMENTO DA FACE EXTERIOR IMPEDIDO

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Nº. total de nós	(NPOIN) =	18
Nº. total de elementos	(NELEM) =	3
Nº. de nós ligados ao exterior	(NVFIX) =	15
Nº. de materiais	(NMATS) =	1
Nº. máximo de nós/elemento	(NNODM) =	8
Tipo de problema	(NTYPE) =	3
Nº de pontos de integração	(NGAUS) =	2
Nº. de casos de carga	(NCASE) =	1
Nº. de graus de liberdade/nó	(NDOFN) =	2
Nº. de coordenadas/nó	(NDIME) =	2
Nº. de propriedades/material	(NPROP) =	5
Nº de componentes da tensão	(NSTRE) =	4
Nº. de variáveis/elemento	(NEVAB) =	16
Nº. total de variáveis	(NTOTV) =	36
Nº. total de pontos de Gauss	(NTOTG) =	12

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle

***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

Elem.	Mat.	Tipo	Nós/Elem	Nós							
1	1	1	8	12	8	1	2	3	9	14	13
2	1	1	8	14	9	3	4	5	10	16	15
3	1	1	8	16	10	5	6	7	11	18	17

*** Economia de MEMORIA, armazenando apenas a Semibanda Variavel,
relativamente a outras formas de armazenar :

Matriz de rigidez completa	52%
Triangulo superior	7%
Semibanda constante	38%

*** COORDENADAS NODAIS

Nó	R(m)	Z(m)	Nó	R(m)	Z(m)
1	5.00000	.00000	10	13.00000	2.00000
2	6.50000	.00000	11	20.00000	2.00000
3	8.00000	.00000	12	5.00000	4.00000
4	10.50000	.00000	13	6.50000	4.00000
5	13.00000	.00000	14	8.00000	4.00000
6	16.50000	.00000	15	10.50000	4.00000

7	20.00000	.00000	16	13.00000	4.00000
8	5.00000	2.00000	17	16.50000	4.00000
9	8.00000	2.00000	18	20.00000	4.00000

*** LIGACOES AO EXTERIOR

Nó	Cód.
1	01
2	01
3	01
4	01
5	01
6	01
7	11
11	11
12	01
13	01
14	01
15	01
16	01
17	01
18	11

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK2" :
*** Não foram detectados erros na topologia da malha

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

MATERIAIS ISOTROPICOS

Mat.	E	ν	t	Γ	α
	KPa	-	m	kg/m3	/°C
	1100000.00	.30	1.000	.00	.000000

****

** Caso de carga nº. 1 **

****

********** PRESSAO INTERIOR **********

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL
Nº.de lados carregados = 1

Elem.	Nó	pn	pt

1	12	10.000	.000
	8	10.000	.000
	1	10.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dr(m)	dz(m)
1	5.270270E-04	.000000E+00
2	3.867568E-04	.000000E+00
3	2.951351E-04	.000000E+00
4	1.939125E-04	.000000E+00
5	1.248649E-04	.000000E+00
6	5.440622E-05	.000000E+00
7	.000000E+00	.000000E+00
8	5.270270E-04	1.051601E-19
9	2.951351E-04	-5.230895E-20
10	1.248649E-04	-2.003637E-21
11	.000000E+00	.000000E+00
12	5.270270E-04	.000000E+00
13	3.867568E-04	.000000E+00
14	2.951351E-04	.000000E+00
15	1.939125E-04	.000000E+00
16	1.248649E-04	.000000E+00
17	5.440622E-05	.000000E+00
18	.000000E+00	.000000E+00

********** Reacções **********

Nó	Rr(kN)	Rz(kN)
1	.000000E+00	1.273619E+01
2	.000000E+00	6.622817E+01
3	.000000E+00	5.434106E+01
4	.000000E+00	1.783066E+02
5	.000000E+00	1.324563E+02
6	.000000E+00	3.922746E+02
7	-1.584948E+02	1.188711E+02
11	-6.339791E+02	-2.273737E-13
12	.000000E+00	-1.273619E+01
13	.000000E+00	-6.622817E+01
14	.000000E+00	-5.434106E+01
15	.000000E+00	-1.783066E+02
16	.000000E+00	-1.324563E+02
17	.000000E+00	-3.922746E+02
18	-1.584948E+02	-1.188711E+02

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem. 1	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	5.63	-8.19713E+00	-8.10811E-01	1.11022E-14	5.49443E+00
		3.15	-8.10811E-01	-8.19713E+00	90.00	
	2	7.37	-5.31638E+00	-8.10811E-01	7.54952E-15	2.61368E+00
		3.15	-8.10811E-01	-5.31638E+00	90.00	
	3	5.63	-8.19713E+00	-8.10811E-01	1.77636E-15	5.49443E+00
		.85	-8.10811E-01	-8.19713E+00	90.00	
	4	7.37	-5.31638E+00	-8.10811E-01	1.33227E-15	2.61368E+00
		.85	-8.10811E-01	-5.31638E+00	90.00	

Elem. 2	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	9.06	-4.00193E+00	-8.10811E-01	5.32907E-15	1.29923E+00
		3.15	-8.10811E-01	-4.00193E+00	90.00	
	2	11.94	-2.85878E+00	-8.10811E-01	6.66134E-16	1.56073E-01
		3.15	-8.10811E-01	-2.85878E+00	90.00	
	3	9.06	-4.00193E+00	-8.10811E-01	1.77636E-15	1.29923E+00
		.85	-8.10811E-01	-4.00193E+00	90.00	
	4	11.94	-2.85878E+00	-8.10811E-01	6.66134E-16	1.56073E-01
		.85	-8.10811E-01	-2.85878E+00	90.00	

Elem.	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ

3

1	14.48	-2.38664E+00	-8.10811E-01	-6.10623E-16	-3.16061E-01
	3.15	-8.10811E-01	-2.38664E+00	90.00	
2	18.52	-1.97926E+00	-8.10811E-01	-5.55112E-17	-7.23440E-01
	3.15	-8.10811E-01	-1.97926E+00	90.00	
3	14.48	-2.38664E+00	-8.10811E-01	7.21645E-16	-3.16061E-01
	.85	-8.10811E-01	-2.38664E+00	90.00	
4	18.52	-1.97926E+00	-8.10811E-01	2.22045E-16	-7.23440E-01
	.85	-8.10811E-01	-1.97926E+00	90.00	

CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMÉTRICO, COM ELEMENTO SEMI-INFINITO

12
13
14
15
16
17
18
8
9
10
11
20
1
2
3
4
5
6
7
19

CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMETRICO COM ELEMENTO SEMI-INFINITO

```
 20      4      16      1      5      8      3      2      1
  1      1       1      8     12      8      1      2      3      9     14     13
  2      1       1      8     14      9      3      4      5     10     16     15
  3      1       1      8     16     10      5      6      7     11     18     17
  4      1       1      5     18     11      7     19     20
  1      5       0
  2    6.5       0
  3      8       0
  4   10.5       0
  5     13       0
  6   16.5       0
  7     20       0
  8      5       2
  9      8       2
 10     13       2
 11     20       2
 12      5       4
 13    6.5       4
 14      8       4
 15   10.5       4
 16     13       4
 17   16.5       4
 18     20       4
 19     40       0
 20     40       4
  1   01
  2   01
  3   01
  4   01
  5   01
  6   01
  7   01
 12   01
 13   01
 14   01
 15   01
 16   01
 17   01
 18   01
 19   01
 20   01
1
100000.  0.3    1    0    0
****************************  PRESSAO  INTERIOR ***********
0   0   1   0   0   0
1
1   12   10    0
     8   10    0
     1   10    0
```

```
*****************************************************************************
***************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "PLANE"  [versão 4.10] ****
***************  Ficheiro de dados :        CILINF3.DAT    ****   05-20-93   ****
***************  Ficheiro de resultados : CILINF3.RES    ****   20:17:57   ****
*****************************************************************************
```

CILINDRO EM PROBLEMA AXISSIMETRICO COM ELEMENTO SEMI-INFINITO

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Nº. total de nós	(NPOIN)	=	20
Nº. total de elementos	(NELEM)	=	4
Nº. de nós ligados ao exterior	(NVFIX)	=	16
Nº. de materiais	(NMATS)	=	1
Nº. máximo de nós/elemento	(NNODM)	=	8
Tipo de problema	(NTYPE)	=	3
Nº de pontos de integração	(NGAUS)	=	2
Nº. de casos de carga	(NCASE)	=	1
Nº. de graus de liberdade/nó	(NDOFN)	=	2
Nº. de coordenadas/nó	(NDIME)	=	2
Nº. de propriedades/material	(NPROP)	=	5
Nº de componentes da tensão	(NSTRE)	=	4
Nº. de variáveis/elemento	(NEVAB)	=	16
Nº. total de variáveis	(NTOTV)	=	40
Nº. total de pontos de Gauss	(NTOTG)	=	16

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle

***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

Elem.	Mat.	Tipo	Nós/Elem	Nós							
1	1	1	8	12	8	1	2	3	9	14	13
2	1	1	8	14	9	3	4	5	10	16	15
3	1	1	8	16	10	5	6	7	11	18	17
4	1	1	5	18	11	7	19	20			

*** Economia de MEMORIA, armazenando apenas a Semibanda Variavel, relativamente a outras formas de armazenar :

Matriz de rigidez completa	54%
Triangulo superior	11%
Semibanda constante	35%

*** COORDENADAS NODAIS

Nó	R(m)	Z(m)	Nó	R(m)	Z(m)
1	5.00000	.00000	11	20.00000	2.00000
2	6.50000	.00000	12	5.00000	4.00000
3	8.00000	.00000	13	6.50000	4.00000
4	10.50000	.00000	14	8.00000	4.00000

5	13.00000	.00000
6	16.50000	.00000
7	20.00000	.00000
8	5.00000	2.00000
9	8.00000	2.00000
10	13.00000	2.00000
15	10.50000	4.00000
16	13.00000	4.00000
17	16.50000	4.00000
18	20.00000	4.00000
19	40.00000	.00000
20	40.00000	4.00000

*** LIGACOES AO EXTERIOR

Nó	Cód.
1	01
2	01
3	01
4	01
5	01
6	01
7	01
12	01
13	01
14	01
15	01
16	01
17	01
18	01
19	01
20	01

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK2" :
*** Não foram detectados erros na topologia da malha

**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

MATERIAIS ISOTROPICOS

Mat.	E KPa	ν -	t m	Γ kg/m3	α /°C
	1100000.00	.30	1.000	.00	.000000

****

** Caso de carga nº. 1 **

****

********** PRESSAO INTERIOR **********

****

*** PARAMETROS DE CONTROLE

Carga concentrada nodal	(IPNOD)=	0
Carga gravítica	(IGRAV)=	0
Carga distribuida lateral	(IEDGE)=	1
Carga térmica	(ITEMP)=	0
Assentamento de apoio	(ISETL)=	0
Flag de escrita do vector de carga	(IWRIT)=	0

*** CARGA DISTRIBUIDA LATERAL
Nº.de lados carregados = 1

Elem.	Nó	pn	pt
1	12	10.000	.000
	8	10.000	.000
	1	10.000	.000

********** Deslocamentos **********

Nó	dr(m)	dz(m)	Nó	dr(m)	dz(m)
1	6.563974E-04	.000000E+00	11	1.688816E-04	1.738093E-20
2	5.065377E-04	.000000E+00	12	6.563974E-04	.000000E+00
3	4.133542E-04	.000000E+00	13	5.065377E-04	.000000E+00
4	3.153990E-04	.000000E+00	14	4.133542E-04	.000000E+00
5	2.549280E-04	.000000E+00	15	3.153990E-04	.000000E+00
6	2.066439E-04	.000000E+00	16	2.549280E-04	.000000E+00
7	1.770610E-04	.000000E+00	17	2.066439E-04	.000000E+00
8	6.571402E-04	2.835668E-20	18	1.770610E-04	.000000E+00
9	4.120399E-04	-6.982163E-20	19	9.068044E-06	.000000E+00
10	2.580567E-04	3.560832E-21	20	9.068044E-06	.000000E+00

********** Reacções **********

Nó	Rr(kN)	Rz(kN)
1	.000000E+00	-1.095920E+00
2	.000000E+00	-2.183835E+00
3	.000000E+00	-3.275990E+00
4	.000000E+00	-1.549191E+01
5	.000000E+00	-6.035926E+00
6	.000000E+00	-4.831157E-02
7	.000000E+00	-2.540764E+01
12	.000000E+00	1.095920E+00
13	.000000E+00	2.183835E+00
14	.000000E+00	3.275990E+00
15	.000000E+00	1.549191E+01
16	.000000E+00	6.035926E+00
17	.000000E+00	4.831157E-02
18	.000000E+00	2.540764E+01
19	.000000E+00	3.239981E+03
20	.000000E+00	-3.239981E+03

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem. 1	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	5.63	-5.57945E+01	-2.19759E+01	-1.80526E+00	-1.74585E+01
		3.15	-2.18798E+01	-5.58906E+01	-86.95	
	2	7.37	-4.90244E+00	-2.44795E+00	-1.44074E+00	-3.25740E+00
		3.15	-1.78261E+00	-5.56778E+00	-65.21	
	3	5.63	-2.54471E+01	-7.99942E+00	-3.71896E+00	-1.21759E+00
		.85	-7.23980E+00	-2.62068E+01	-78.46	
	4	7.37	-9.75603E+00	-3.16913E+00	-8.67290E+00	-8.07743E-01
		.85	2.81459E+00	-1.57398E+01	-55.40	

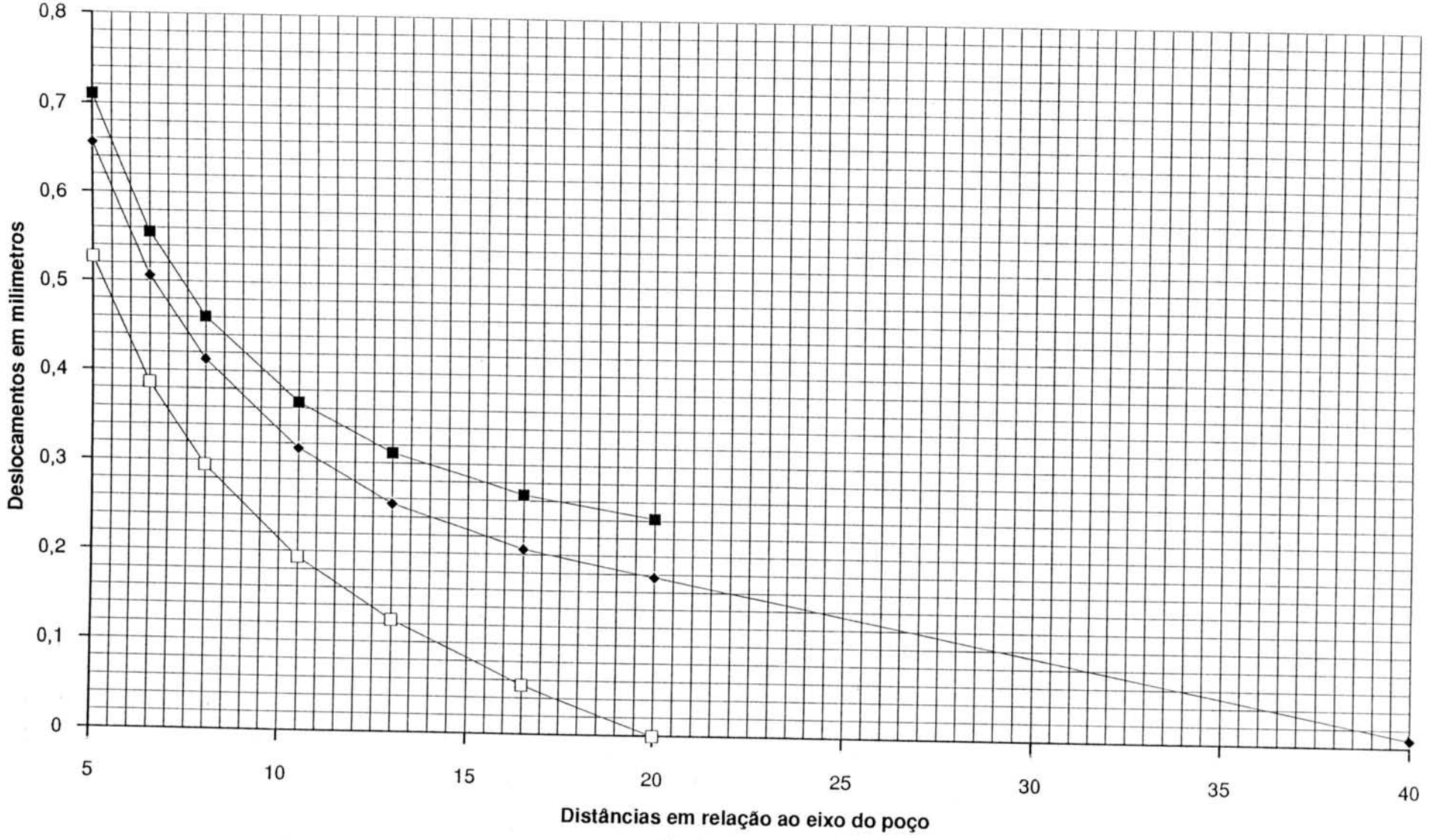
Elem. 2	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	9.06	-2.10022E+01	-8.24590E+00	-1.10156E+00	-6.48407E+00
		3.15	-8.15147E+00	-2.10967E+01	-85.10	
	2	11.94	-1.79664E+00	-9.04334E-01	-8.99473E-01	-1.21781E+00
		3.15	-3.46442E-01	-2.35453E+00	-58.19	

	3	9.06	-9.63432E+00	-2.99740E+00	-2.34388E+00	-3.57002E-01
		.85	-2.25311E+00	-1.03786E+01	-72.38	
	4	11.94	-3.67027E+00	-1.18724E+00	-5.37640E+00	-2.87198E-01
		.85	3.08913E+00	-7.94664E+00	-51.50	

Elem. 3	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	14.48	-9.39318E+00	-3.73012E+00	-7.56273E-01	-3.04054E+00
		3.15	-3.63086E+00	-9.49244E+00	-82.52	
	2	18.52	-9.02418E-01	-4.42038E-01	-5.64099E-01	-5.71041E-01
		3.15	-6.29705E-02	-1.28149E+00	-56.10	
	3	14.48	-4.13153E+00	-1.32242E+00	-1.47757E+00	-2.76558E-01
		.85	-6.88357E-01	-4.76559E+00	-66.77	
	4	18.52	-1.57232E+00	-5.04707E-01	-3.63563E+00	-1.10034E-01
		.85	2.63610E+00	-4.71312E+00	-49.18	

Elem. 4	pG	r|z	σ rr|σ max	σ zz|σ min	τ rz|ang.	σ θθ
	1	19.17	-6.92057E-01	-2.88035E-01	-1.11022E-16	-2.68059E-01
		2.54	-2.88035E-01	-6.92057E-01	90.00	
	2	8.45	-1.67854E-02	1.22221E-02	.00000E+00	5.75258E-02
		-5.46	1.22221E-02	-1.67854E-02	90.00	
	3	31.55	-6.97935E-01	-2.93912E-01	-1.38778E-17	-2.81773E-01
		1.46	-2.93912E-01	-6.97935E-01	90.00	
	4	180.83	-4.91748E-02	-2.01673E-02	.00000E+00	-1.80496E-02
		9.46	-2.01673E-02	-4.91748E-02	90.00	

Comparação dos deslocamentos obtidos em pontos exteriores a um poço submetido a uma pressão interior



7.2. Elementos de solo sujeitos a um estado de tensão inicial

Construiu-se um pequeno ficheiro de dados referente a uma "pilha" de dois elementos de solo. Pretende-se com a aplicação do programa uma análise da sua validade, verificando-se no campo de deslocamentos a análise comparativa dos seus valores face às três situações seguidamente descritas:

i) Elementos sujeitos ao seu peso próprio

ii) Elementos sujeitos ao peso próprio e tensões iniciais

iii) Elementos sujeitos apenas a tensões iniciais

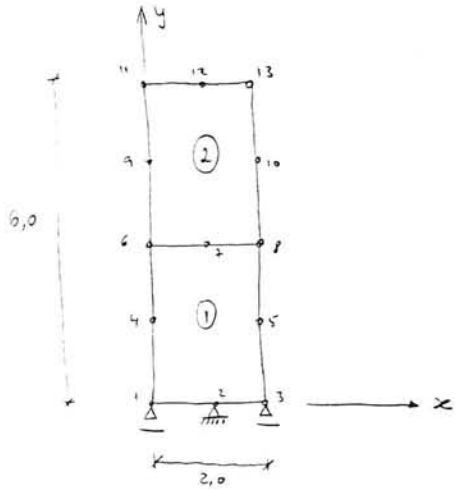
Nestes ficheiros foram considerados os seguintes valores:

- Ângulo $\theta = 0$
- Massa específica, $\rho = 0,1$ kN/m3
- Módulo de Elasticidade, E = 100 MPa
- Coeficiente de Poisson, $\nu = 0,0$
- Coeficiente de dilatação térmica, $\alpha = 0,0$
- Valor da tensão vertical inicial à superfície, A = -0,6 MPa
- Valor da variação em profundidade da tensão vertical, B = 0,1
- Relação das tensões horizontal e vertical, k = 0,5

A seguir são apresentados os três ficheiros de dados com os respectivos resultados, assim como as verificações a estes inerentes.

```
*********  TESTE1 - SO COM PESO PROPRIO  ********

13   2    3    1    8    1    2    1
 1   1    1    2    3    5    6    7    8    4
 2   1    5    7    9   10   13   12   11    9
 1   0.0   0.0
 2   2.0   0.0
 6   0.0   3.0
 8   2.0   3.0
11   0.0   6.0
13   2.0   6.0
 1 21
 2 11
 3 01
 1
100000.0   0.0   1.0   0.1   0.0
FORCA GRAVITICA - PESO PROPRIO
0  1  0  0  0  0  1
  0.0   1.0
```



VERIFICAÇÃO

$$d_{13}^y = d_{11}^y = d_{12}^y = -\frac{\gamma \ell^2}{2E} = -\frac{0,1 \times 6^2}{2 \times 10^5} = -1,8 \times 10^{-5}\ m$$

$$d_9^y = d_{10}^y = -\frac{\gamma \ell^2}{2E} - \frac{NL}{EA} = -\frac{0,1 \times 4,5^2}{2 \times 10^5} - \frac{\overbrace{2 \times 1 \times 1,5}^{N} \times 0,1 \times \overbrace{4,5}^{L}}{10^5 \times 2 \times 1} =$$

$$= 1,6875 \times 10^{-5}\ m$$

$$d_6^y = d_7^y = d_8^y = -\frac{0,1 \times 3^2}{2 \times 10^5} - \frac{2 \times 1 \times 3 \times 0,1 \times 3}{10^5 \times 2 \times 1} = 1,35 \times 10^{-5}\ m$$

$$d_4^y = d_5^y = -\frac{0,1 \times 1,5^2}{2 \times 10^5} - \frac{2 \times 1 \times 4,5 \times 0,1 \times 1,5}{10^5 \times 2 \times 1} = 0,7875 \times 10^{-5}\ m$$

O. K.

```
*****************************************************************
*****************  Resultados obtidos com o PROGRAMA 'PLANE'  [versão 4.10] ****
*****************  Ficheiro de dados :      TESTE1.DAT     ****   04-02-93   ****
*****************  Ficheiro de resultados : TESTE1.RES     ****   10:08:15   ****
*****************************************************************

        ********  TESTE1 - SO COM PESO PROPRIO  ********

*****************************************************************

*** PARAMETROS DE CONTROLO

     Nº. total de nós                    (NPOIN) =    13
     Nº. total de elementos              (NELEM) =     2
     Nº. de nós ligados ao exterior      (NVFIX) =     3
     Nº. de materiais                    (NMATE) =     1
     Nº. de nós/elemento                 (NNODE) =     8
     Tipo de problema                    (NTYPE) =     1
     Nº  de pontos de integração         (NGAUS) =     3
     Nº. de casos de carga               (NCASE) =     1

     Nº. de graus de liberdade/nó        (NDOFN) =     3
     Nº. de coordenadas/nó               (NDIME) =     2
     Nº. de propriedades/material        (NPROP) =     3

     Nº  de componentes da tensão        (NSTRE) =     3
     Nº. de variaveis/elemento           (NEVAB) =    16
     Nº. total de variaveis              (NTOTV) =    26
     Nº. total de pontos de Gauss        (NTOTG) =     6

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controlo

*** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

Elem.   Material          Nós
------  --------  ------------------------------------------------
   1        1        1    2    3    6    5    4    9    8
   2        1        5    4    3   10   11   12   13    7

*** COORDENADAS NODAIS

 Nº          X(m)          Y(m)          Nº          X(m)          Y(m)
------  ------------  ------------  ------  ------------  ------------
   1       .00000        .00000        8      2.00000       3.00000
   2      1.00000        .00000        9       .00000       4.50000
   3      2.00000        .00000       10      1.00000       4.50000
   4       .00000       1.50000       11       .00000       3.00000
   5      2.00000       1.50000       12      1.00000       3.00000
   6       .00000       3.00000       13      2.00000       3.00000
   7      1.00000       3.00000

*** LIGACOES AO EXTERIOR

  Nº       Cod.
```

********** Reacções **********

Nó	Rx(kN)	Ry(kN)
1	.000000E+00	2.000000E-01
2	-2.220446E-16	8.000000E-01
3	.000000E+00	2.000000E-01

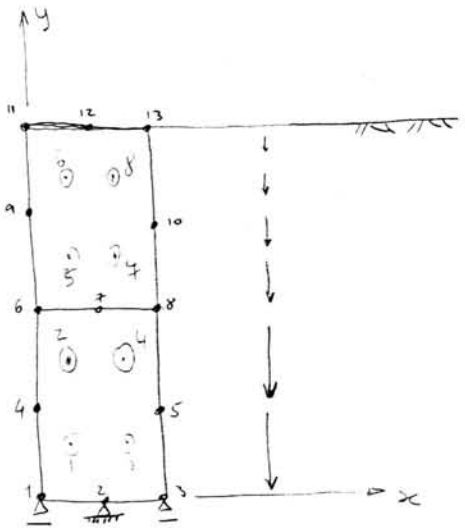
********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	x;y	σ xx|σ max	σ yy|σ min	τ xy|ang.	σ zz
1						
	1	.42	-7.976388E-17	-5.366033E-01	1.110223E-16	.000000E+00
		.63	-1.110223E-16	-5.366033E-01	.00	
	2	.42	-7.527794E-17	-3.633975E-01	3.330669E-16	.000000E+00
		2.37	-5.551115E-17	-3.633975E-01	.00	
	3	1.58	-2.932544E-17	-5.366033E-01	.000000E+00	.000000E+00
		.63	.000000E+00	-5.366033E-01	.00	
	4	1.58	-5.445711E-17	-3.633975E-01	-1.942890E-16	.000000E+00
		2.37	-2.775558E-17	-3.633975E-01	.00	

Elem.	pG	x;y	σ xx|σ max	σ yy|σ min	τ xy|ang.	σ zz
2						
	1	.42	3.219780E-16	-2.366033E-01	1.665335E-16	.000000E+00
		3.63	3.330669E-16	-2.366033E-01	.00	
	2	.42	-1.249794E-16	-6.339756E-02	.000000E+00	.000000E+00
		3.37	-1.249000E-16	-6.339756E-02	.00	
	3	1.58	3.330746E-16	-2.366033E-01	5.551115E-17	.000000E+00
		3.63	3.330669E-16	-2.366033E-01	.00	
	4	1.58	-2.619715E-17	-6.339756E-02	5.551115E-17	.000000E+00
		3.37	-3.330669E-17	-6.339756E-02	.00	

```
********  TESTE - PESO PROPRIO + TENSOES INICIAIS ********

13   2    3    1    5    1    2    1
 1   1    1    2    3    6    8    7    6    4
 2   1    6    7    8   10   13   12   11    9
 1   0.0   0.0
 3   2.0   0.0
 6   0.0   3.0
 8   2.0   3.0
11   0.0   6.0
13   2.0   6.0
 1  01
 2  11
 3  01
 1
100000.0   0.0   1.0   0.1   0.0
 PESO PROPRIO + TENSOES INICIAIS
0 1 0 1 0 0 1
  0.0   1.0
 -0.6   0.1   0.5
```



VERIFICAÇÃO ①

$\gamma = 0,1 \ kg/m^3$ $\quad g = 1,0 \ m/s^2$ $\quad y = 0 \Rightarrow \sigma_y = -\gamma l = -0,6$

$\sigma_y = -0,6 + 0,1\,y$

$y = 6 \longrightarrow \sigma_y = 0$

$y = 0 \longrightarrow \sigma_y = -0,6 \quad (\downarrow)$

O. K.

VERIFICAÇÃO ②

$$d_y^{11} = d_y^{12} = d_y^{13} = -\frac{\gamma l^2}{2E} = -\frac{0,1 \times 6^2}{2 \times 10^5} = 1,8 \times 10^{-5} \ m$$

```
   1        01
   2        11
   3        01


*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK2" :
*** Não foram detectados erros na topologia da malha


**** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

mat.      E          v          t          Z          α
        KPa          -          m       kg/m3       /°C
-------------------------------------------------------------
  1100000.00        .00      1.000        .10    .000000


*****************************************************************************
                                                   ** Caso de carga nº.    1 **
                                                   ***************************
PESO PROPRIO + TENSOES INICIAIS

*****************************************************************************


*** PARAMETROS DE CONTROLE

    Carga concentrada nodal                 (IPNOD)=    0
    Carga gravitica                         (IGRAV)=    1
    Carga distribuida lateral               (IEDGE)=    0
    Tensoes iniciais                        (INSSS)=    1
    Carga térmica                           (ITEMP)=    0
    Assentamento de apoio                   (ISETL)=    0
    Flag de escrita do vector de carga      (IWRIT)=    1


*** CARGA GRAVITICA

    Angulo da gravidade com a vertical =    .00
    Aceleração da gravidade    (m/s2)   =  1.00


*** TENSOES INICIAIS
    Valor inicial da tensao σv =      -.600
    Declive                    =       .100
    Relacao das Tensoes Princ. =       .500
    ____________________________


*** VECTOR DE SOLICITAÇAO
-------------------------------------------------------------------------------
  1  -.150E+00   2  -.200E+00   3   .000E+00   4  -.800E+00   5   .150E+00
  6  -.200E+00   7  -.450E+00   8  -.108E-07   9   .450E+00  10  -.108E-07
 11  -.150E+00  12   .108E-07  13  -.451E-16  14  -.833E-16  15   .150E+00
 16   .108E-07  17  -.150E+00  18  -.108E-07  19   .150E+00  20  -.108E-07
 21   .312E-16  22   .538E-08  23  -.139E-16  24  -.139E-15  25  -.278E-16
 26   .538E-08

 ************************** Deslocamentos ************************
 Nó          dx(m)          dy(m)        Nó          dx(m)          dy(m)
 ------------------------------------------------------------------------
  1  -2.826271E-06   .000000E+00         8   1.478514E-06   2.231638E-07
  2    .000000E+00   .000000E+00         9  -7.288136E-07   1.737288E-07
```

```
*****************************************************************************
*****************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "FLANE"  [versão 4.10] ****
*****************  Ficheiro de dados :      TESTE2.DAT     ****    04-02-93    ****
*****************  Ficheiro de resultados : TESTE2.RES     ****    10:08:27    ****
*****************************************************************************

    *********  TESTE2 - PESO PROPRIO + TENSOES INICIAIS ********

*****************************************************************************

*** PARAMETROS DE CONTROLE

    Nº. total de nós                    (NPOIN) =    13
    Nº. total de elementos              (NELEM) =     2
    Nº. de nós ligados ao exterior      (NVFIX) =     3
    Nº. de materiais                    (NMATS) =     1
    Nº. de nós/elemento                 (NNODE) =     8
    Tipo de problema                    (NTYPE) =     1
    Nº. de pontos de integração         (NGAUS) =     2
    Nº. de casos de carga               (NCASE) =     1

    Nº. de graus de liberdade/nó        (NDOFN) =     2
    Nº. de coordenadas/nó               (NDIME) =     2
    Nº. de propriedades/material        (NPROP) =     3

    Nº. de componentes da tensão        (NSTRE) =     3
    Nº. de variaveis/elemento           (NEVAB) =    16
    Nº. total de variaveis              (NTOTV) =    26
    Nº. total de pontos de Gauss        (NTOTG) =     8

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle

**** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

Elem.   Material          Nós
-------------------------------------------------------------------
  1        1          1   2   3   4   5   6   7   8
  2        1          5   7   9  10  12  13  11   9

*** COORDENADAS NODAIS

  Nº          X(m)          Y(m)          Nº          X(m)          Y(m)
-------------------------------------------------------------------------
   1        .00000        .00000          8       2.00000       3.00000
   2       1.00000        .00000          9        .00000       4.50000
   3       2.00000        .00000         10       2.00000       4.50000
   4        .00000       1.50000         11        .00000       6.00000
   5       2.00000       1.50000         12       1.00000       6.00000
   6        .00000       3.00000         13       2.00000       6.00000
   7       1.00000       3.00000

*** LIGAÇÕES AO EXTERIOR

  Nº        Cod.
-----------------
```

3	2.826271E-06	.000000E+00
4	-2.317797E-06	1.115819E-07
5	2.317797E-06	1.115819E-07
6	-1.478814E-06	2.231638E-07
7	3.196031E-21	-1.115819E-07
10	7.268136E-07	1.737283E-07
11	-2.766101E-08	1.242938E-07
12	3.583203E-21	-6.214689E-08
13	2.766101E-08	1.242938E-07

********** Reacções **********

Nó	Rx(kN)	Ry(kN)
1	.000000E+00	1.723727E-01
2	1.084202E-19	8.131543E-01
3	.000000E+00	1.723729E-01

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	x|y	σ xx|σ max	σ yy|σ min	τ xy|ang.	σ zz
1						
	1	.42	-3.132133E-03	-5.366033E-01	5.209425E-03	.000000E+00
		.63	-3.081473E-03	-5.366633E-01	.56	
	2	.42	5.674716E-03	-5.633975E-01	1.395886E-03	.000000E+00
		2.37	5.679798E-03	-5.634032E-01	.22	
	3	1.58	-3.132133E-03	-5.366033E-01	-5.209425E-03	.000000E+00
		.63	-3.081473E-03	-5.366633E-01	-.56	
	4	1.58	5.674716E-03	-5.633975E-01	-1.395886E-03	.000000E+00
		2.37	5.679798E-03	-5.634032E-01	-.22	

Elem.	pG	x|y	σ xx|σ max	σ yy|σ min	τ xy|ang.	σ zz
2						
	1	.42	-2.739033E-03	-2.366033E-01	-5.007666E-03	.000000E+00
		3.63	-2.700333E-03	-2.366416E-01	-.74	
	2	.42	1.966633E-04	-5.339775E-02	8.059002E-04	.000000E+00
		8.37	2.068664E-04	-5.340776E-02	.73	
	3	1.58	-2.739033E-03	-2.366033E-01	5.007666E-03	.000000E+00
		3.63	-2.700333E-03	-2.366416E-01	.74	
	4	1.58	1.966633E-04	-5.339775E-02	-8.059002E-04	.000000E+00
		8.37	2.068664E-04	-5.340776E-02	-.73	

```
********  TESTES - TENSOES INICIAIS ********

 13   2    3    1    8    1    2    1
  1   1    1    2    5    8    9    7    6    4
  2   1    6    7    8   10   13   12   11    9
  1  0.0  0.0
  3  2.0  0.0
  6  0.0  3.0
  8  2.0  3.0
 11  0.0  6.0
 13  2.0  6.0
  1 01
  2 11
  3 01
  1
100000.0  0.0  1.0  0.1  0.0
 TENSOES INICIAIS
0 0 0 1 0 0 1
 -0.6  0.1  0.5
```

```
*****************************************************************************
**************  Resultados obtidos com o PROGRAMA "PLANE"  [versão 4.10] ****
**************  Ficheiro de dados :        TESTE3.DAT     ****   04-02-93   ****
**************  Ficheiro de resultados : TESTE3.RES     ****   10:08:41   ****
*****************************************************************************

   *********  TESTE3 - TENSOES INICIAIS ********

*****************************************************************************

*** PARAMETROS DE CONTROLE

    Nº. total de nós                    (NPOIN) =   13
    Nº. total de elementos              (NELEM) =    2
    Nº. de nós ligados ao exterior      (NVFIX) =    3
    Nº. de materiais                    (NMATS) =    1
    Nº. de nós/elemento                 (NNODE) =    8
    Tipo de problema                    (NTYPE) =    1
    Nº  de pontos de integração         (NGAUS) =    2
    Nº. de casos de carga               (NCASE) =    1

    Nº. de graus de liberdade/nó        (NDOFN) =    2
    Nº. de coordenadas/nó               (NDIME) =    2
    Nº. de propriedades/material        (NPROP) =    5

    Nº  de componentes da tensão        (NSTRE) =    3
    Nº. de variáveis/elemento           (NEVAB) =   16
    Nº. total de variáveis              (NTOTV) =   26
    Nº. total de pontos de Gauss        (NTOTG) =    8

*** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECK1" :
*** Não foram detectados erros nos parâmetros de controle

***** CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS

Elem.   Material          Nós
-------------------------------------------------------------------------
  1        1          1    2    3    5    8    7    6    4
  2        1          6    7    8   10   13   12   11    9

*** COORDENADAS NODAIS

  Nó        X(m)        Y(m)                  Nó        X(m)        Y(m)
-------------------------------------------------------------------------
  1       .00000      .00000                  8      2.00000     3.00000
  2      1.00000      .00000                  9       .00000     4.50000
  3      2.00000      .00000                 10      2.00000     4.50000
  4       .00000     1.50000                 11       .00000     6.00000
  5      2.00000     1.50000                 12      1.00000     6.00000
  6       .00000     3.00000                 13      2.00000     6.00000
  7      1.00000     3.00000

*** LIGAÇOES AO EXTERIOR

  Nó       Cód.
-------------------
```

```
1         0.
2         11
3         01

** DIAGNOSTICO DA SUBROTINA "CHECKC" :
** Não foram detectados erros na topologia da malha

*** PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

MAT.        E          V          G          I          A
             KPa         -          m        kg/m3      /°C
-------------------------------------------------------------------
  1  30000000.00        .00        .00E+        .10    .000000

*****************************************************************
                                        ** Caso de carga nº.    1 **
                                        *************************

ENSOES INICIAIS

*****************************************************************

** PARAMETROS DE CONTROLE

    Carga concentrada nodal              (IPNOD)=     0
    Carga gravítica                      (IGRAV)=     0
    Carga distribuida lateral            (IEDGE)=     0
    Tensoes iniciais                     (INese)=     1
    Carga termica                        (ITEMP)=     0
    Assentamento de apoio                (ISETL)=     0
    Flag de escrita do vector de carga   (IWR1)=      1

** TENSOES INICIAIS
    Valor inicial da tensao sv =          -.000
    Declive                    =           .100
    Relacao das tensoes Princ. =           .000
    ------------------------------------------------

** VECTOR DE SOLICITAÇAO
-------------------------------------------------------------------
  1  -.150E+00    2  -.250E+00    3   .000E+00    4  -.400E+00    5   .150E+00
  6  -.250E+00    7  -.450E+00    8   .200E+00    9   .450E+00   10   .200E+00
 11  -.150E+00   12  -.100E+00   13  -.451E-16   14   .400E+00   15   .150E+00
 16  -.100E+00   17  -.150E+00   18   .200E+00   19   .150E+00   20   .200E+00
 21   .312E-16   22  -.500E-01   23  -.137E-16   24   .200E+00   25  -.278E-16
 26  -.500E-01

 ********** Deslocamentos **********          ********** Deslocamentos **********
 Nó          dx(m)          dy(m)              Nó          dx(m)          dy(m)
-------------------------------------------  -------------------------------------------
  1  -2.826271E-06   .000002E+00               8   1.478814E-06   1.372516E-05
  2   .000000E+00   .000000E+00               9  -7.288136E-07   1.734873E-05
  3   2.826271E-06   .000002E+00              10   7.238135E-07   1.704873E-05
  4  -2.317797E-06   7.986582E-06              11  -2.665101E-08   1.812429E-05
  5   2.317797E-06   7.986582E-06              12  -4.642946E-10   1.787578E-05
  6  -1.478814E-06   1.372316E-05              13   2.965101E-08   1.812429E-05
  7  -1.477665E-19   1.733842E-05
```

********** Reacções **********

Nó	Rx(kN)	Ry(kN)
1	.000000E+00	-7.627116E-03
2	2.498002E-16	1.525424E-02
3	.000000E+00	-7.627116E-03

********** Tensões nos pontos de Gauss **********

Elem.	pG	x,y	σ xx|σ max	σ yy|σ min	τ xy|ang.	σ zz
1						
	1	.42	-3.133233E-03	-2.442049E-15	5.209422E-03	.000000E+00
		.63	3.873589E-03	-7.005920E-03	53.37	
	2	.42	5.674716E-03	-2.109422E-15	1.396866E-03	.000000E+00
		2.37	5.999476E-03	-3.247666E-04	13.10	
	3	1.58	-3.133233E-03	1.332267E-15	-5.209422E-03	.000000E+00
		.63	3.873589E-03	-7.005920E-03	-53.37	
	4	1.58	3.674716E-03	7.771566E-16	-1.396866E-03	.000000E+00
		2.37	5.999476E-03	-3.247666E-04	-13.10	

Elem.	pG	x|y	σ xx|σ max	σ yy|σ min	τ xy|ang.	σ zz
2						
	1	.42	-2.739031E-03	-1.110223E-15	-3.007666E-03	.000000E+00
		3.63	1.933276E-03	-4.674276E-03	-57.24	
	2	.42	1.966633E-04	-6.661334E-16	8.059006E-04	.000000E+00
		3.37	9.102033E-04	-7.135496E-04	41.52	
	3	1.58	-2.739031E-03	1.666333E-16	3.007666E-03	.000000E+00
		3.63	1.933276E-03	-4.674276E-03	57.24	
	4	1.58	1.966633E-04	-6.106227E-16	-8.059006E-04	.000000E+00
		3.37	9.102033E-04	-7.135496E-04	-41.52	

BIBLIOGRAFIA

(i) ZIENKIEWICZ, O. C., The Finite Elements Method, 3.rd ed., Mc Graw-Hill, London, 1977.

(ii) HINTON, E., OWEN, D. R. J., An Introduction to Finite Element Comportations, Pineridge Press, Swansea, 1979.

(iii) HINTON, E., OWEN, D. R. J., Finite Element Programming, Academic Press, London, 1977.

(iv) MARQUES, J. M. M. C., Textos de Apoio do Seminário "Métodos Numéricos em Geotecnia", FEUP, 1993.

(v) MARQUES, J. M. M. C., Textos de Apoio de "Complementos de Cálculo Numérico", FEUP, 1993.

BIBLIOTECA FE PORTO

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA
0000101651