

CÁLCULO DE ESTRUTURAS
LAMINARES PLANAS UTILIZANDO
MICROCOMPUTADORES

ENG. JOÃO ALEXANDRE MAGRI

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Orientadora
Profa. Dra. Helena M.C. Carmo Antunes

São Carlos, dezembro de 1984.

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Helena M. C. Carmo Antunes pela orientação e apoio.

Ao professor Walter Abrahão Nimir pelo estímulo e interesse demonstrados nos primeiros programas que montei utilizando microcomputadores. Nessa época poucas pessoas acreditavam no uso profissional destes equipamentos.

Ao grande amigo James C. Steadman que teve a "ousadia" de acreditar nos microcomputadores dentro de um país tecnologicamente muito mais evoluído que o Brasil.

À Prof.^a Walkyria Bueno de Camargo Morais e ao arquiteto Marcio Kogan por terem permitido o uso de seus equipamentos.

Aos professores José Roberto Romeu Roque e Érico Rodrigues Bacelar, por me terem estimulado, num momento transitório de desencanto pela carreira universitária, a concluir este trabalho.

Ao Prof. Lauro Modesto dos Santos pelo apoio, orientação e interesse nos trabalhos que desenvolvi para a área de computação.

Ao Sérgio Marcondes pelas discussões e troca de idéias apesar de somente saber falar sobre o microprocessador Z-80.

A Sergio Aragonés, Al Jeffee, Jonhy Winter e Keith Richards pelas suas idéias e bom humor.

À senhora Silvia Moretti pelo trabalho de desenho.

Para Steve Wozniac que projetou
um dos primeiros microcomputador
es e iniciou uma revolução na
informática.

Para minha mãe Antonia que teve
paciência suficiente para me s
uportar nos últimos anos.

You have been polluted so long
You don't need no church house or
books to read
But there is a way for you to get clean
By changing the names of the Lord
and you'll be free

SUMMARY

This work uses the lattice analogy method, employing it for the solution of problems of elastic and isotropic thin plate bending theory and planes stress/strain analysis.

The formulation developed by Herennikoff (B12) is basically used: it has been added the consideration of any value of Poisson's ratio and developed new bars elements.

The listings, written in BASIC language (applesoft version), is showed at the end of the work.

The system runs in an Apple II Plus cones with 64K bytes of RAM memory and using the ProDOS operating system.

RESUMO

O presente trabalho utiliza o processo da equivalência para resolver estruturas correntes compostas por placas delgadas, elásticas e isotópicas e por chapas elásticas.

Emprega-se, em princípio, a formulação desenvolvida por Herennikoff (B12) acrescentando-se a parte que permite resolver estruturas para qualquer valor do coeficiente de Poisson além de serem desenvolvidos novos elementos compostos por barras.

Apresenta-se no final do trabalho, na parte compreendida pelos anexos, as listagens completas dos programas que compõem o sistema para a resolução de estruturas utilizando esse processo.

Os programas foram escritos na linguagem BASIC (versão Applesoft) para os microcomputadores compatíveis com o Apple II Plus, memória de 64K bytes e utilizando o sistema operacional ProDOS.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	3
1. Introdução	3
2. Processo dos deslocamentos	5
3. Matriz de rigidez da estrutura	11
4. Matriz de rigidez de uma barra de pórtico	12
5. Matriz de rigidez de uma barra de grelha	15
6. Rotação da matriz de rigidez da barra	17
7. Solução do sistema de equações	19
CAPÍTULO 2 - PRINCÍPIOS DA TEORIA DE ELASTICIDADE ...	23
1. Introdução	23
2. Energia de deformação	27
3. Teoria de equivalência	29
4. Energia de deformação de uma barra biarticulada.	32
5. Malhas constituídas por barras biarticuladas ...	33
5.1 Estado plano de deformações	33
5.2 Estado plano de tensões	36
6. Resumo	37
7. Estudo das placas esbeltas	38
7.1 Energia específica de deformação de uma barra na flexão e torção	39
7.2 Equivalência utilizando barras biarticuladas	41
7.3 Equivalência utilizando grelha ortogonal ...	42
8. Malhas cujos elementos são válidos para qual quer valor coeficiente de Poisson	44
8.1 Energia de deformação de uma viga em balanço	44
8.2 Estado plano de deformação	46
A.1) Malhas compostas por elementos retangula res	46
A.2) Malhas compostas por elementos forma dos por losangos	52
8.3 Estado plano de tensões	53
8.4 Elementos tridimensionais	54
9. Interpretação dos resultados	55
CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE GRELHA EQUIVALENTE	59
1. Introdução	59
2. Estudo do modelo de placa	60
3. Estudo do elemento de grelha equivalente	62
4. Características elásticas da grelha equivalente.	68
5. Aplicações	70
CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PÓRTICO EQUIVALENTE	72
1. Introdução	72
2. Características do modelo adotado no sistema ...	73
3. Aplicações	80

CAPÍTULO 5 - ESTUDO DAS PLACAS APOIADAS EM FUNDAÇÃO ELÁSTICA	81
1. Introdução	81
2. Matriz de rigidez da grelha equivalente para placas apoiadas em fundação elástica	81
3. Considerações sobre o coeficiente de recalque do solo	86
3.1 Determinação do valor de k	87
CAPÍTULO 6 - SISTEMA PARA O CÁLCULO AUTOMÁTICO DE CHAPAS E LAJES BASEADO NA TEORIA DE EQUIVALÊNCIA	93
1. Introdução	93
2. Sobre os arquivos gerados pelo sistema	101
3. Principais características dos módulos	103
3.1 Módulo SUPERVISOR	103
3.2 Módulo CADASTRAR	103
3.3 Módulo MALHA	105
3.4 Módulo PLOTA	106
3.5 Módulo MODELO	107
3.6 Módulo CARREGAMENTO	109
3.7 Módulo MRIG	110
3.8 Módulo EQSOL	111
3.9 Módulo ESFORÇOS	112
3.10 Módulo DESENHAR	112
3.11 Módulo SUPERPOR	114
3.12 Módulo INSTALAÇÃO	114
4. Características do equipamento "hardware" a ser utilizado	115
5. Limitações do sistema para o cálculo de estruturas pelo processo da equivalência	119
6. Estágio de desenvolvimento atual	120
CAPÍTULO 7 - EXPERIMENTAÇÃO NUMÉRICA	121
1. Introdução	121
2. Exemplo 1	122
3. Exemplo 2	139
4. Exemplo 3	145
5. Considerações finais	152
ANEXO A - LISTAGENS	153
ANEXO B - A LINGUAGEM BASIC NO PROCESSAMENTO CIENTÍFICO	155
BIBLIOGRAFIA	188

CAPÍTULO I

CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar um sistema para o cálculo de placas delgadas e chapas pelo processo de equivalência (analogia com grelha e pórtico respectivamente).

A concepção do projeto começou no ano de 1979 com o desenvolvimento do cálculo estrutural de um depósito de chapas de aço que era composto por um piso de concreto armado apoiado em terreno compressível, entre outras coisas.

A solução "estaqueamento" mostrou que o projeto seria inviável economicamente. Decidiu-se então calcular o piso como sendo uma laje apoiada em meio elástico.

O problema poderia ser resolvido pelo processo dos elementos finitos utilizando pacotes importados tais como: STARDYNE, STRUDL, ESYS, etc... Após analisar o custo do processamento verificou-se que o problema era de porte médio o que não justificava a utilização de tais pacotes desenvolvidos para máquinas grandes que têm um custo de processamento bastante elevado.

A estrutura foi resolvida por um processo aproximado e foi decidida a montagem de um sistema para resolver este problema a um custo reduzido.

Nesta época foi iniciado um projeto de pesquisa

se para a empresa que pretende ter uma capacidade de processamento local e não depender de pacotes importados ou máquinas alugadas de terceiros.

Os capítulos de 1 a 6 deste trabalho correspondem ao desenvolvimento teórico do modelo utilizado no sistema. Os capítulos de 7 a 9 detalham o sistema em si.

O processo da equivalência foi desenvolvido por Herennikoff em 1940. Basicamente consiste na substituição da placa ou chapa por uma grelha ou pórtico cujas barras têm características elásticas equivalentes à estrutura contínua. Resolvida a grelha ou o pórtico tem-se os deslocamentos e com eles pode-se calcular os esforços na placa ou chapa.

2. PROCESSO DOS DESLOCAMENTOS

No método clássico de resolução das estruturas reticuladas admitem-se as seguintes hipóteses:

- a) Validade das equações de equilíbrio da mecânica racional.
- b) Continuidade da estrutura.
- c) Proporcionalidade entre tensões e deformações e conservação das seções planas.
- d) Superposição dos efeitos, isto é, proporcionalidade entre esforços e deslocamentos.

Uma estrutura de resposta linear é aquela que obedece as hipóteses acima.

Para a obtenção dos esforços nas barras, reação dos apoios e os deslocamentos de nós nas estruturas de resposta linear pode-se usar dois processos de cálculo:

- . processo dos esforços
- . processo dos deslocamentos.

Normalmente os sistemas são desenvolvidos baseando

do-se no processo dos deslocamentos porque o processo dos esforços admite várias estruturas básicas para o mesmo problema, isto é, existem várias formas de se transformar uma estrutura estaticamente indeterminada em uma estrutura estaticamente determinada.

Qualquer processo de resolução de problemas é automatizável se puder ser aplicado a vários problemas sem modificações. É o que acontece com o processo dos deslocamentos: o modo de se obter o sistema básico é sempre o mesmo para qualquer estrutura de barra.

Definido o sistema básico aplica-se a superposição dos efeitos para se chegar à estrutura real seguindo sempre a mesma marcha de cálculo.

O sistema foi desenvolvido utilizando-se o processo dos deslocamentos cujos princípios e equações fundamentais se recordam neste capítulo. No processo dos deslocamentos usam-se como incógnitas auxiliares para a determinação dos esforços solicitantes nas extremidades das barras, os deslocamentos de certos pontos da estrutura. Nestes pontos convenientemente escolhidos introduzem-se fixações (e com elas esforços adicionais) de modo a se anularem os referidos deslocamentos e a se transformar a estrutura inicial em uma estrutura cinematicamente determinada.

O princípio da superposição dos efeitos e a condição de serem nulos, na estrutura original, os esforços adicionais, permitem que se escreva para a determinação das incógnitas auxiliares (representada pela matriz $\{\delta\}$), a seguinte equação

$$[K] \cdot \{\delta\} + \{Q^0\} = 0 \quad \dots (1.1)$$

onde $[K]$ é a matriz de rigidez da estrutura e $\{Q^0\}$ a coluna que representa os esforços nas fixações provocados por cargas aplicadas (ou de outras causas (recalques de apoio, temperatura, etc...)).

e desenvolvimento de sistemas utilizando microcomputadores: inicialmente a máquina escolhida foi o HP-9830 com a linguagem BASIC mas depois os planos foram alterados e o trabalho passou a ser desenvolvido com o microcomputador Compurcop 425/33 com 2K bytes de memória RAM. Esta máquina opera com a linguagem ASSEMBLER composta por vários macros que possibilitam executar funções matemáticas, endereçar memórias e alterar indicadores para indexação.

Apesar de sua pequena capacidade de processamento foram desenvolvidos vários programas tais como: cálculo de pilares submetidos à flexão composta pelo processo do Prof. Lauro Modesto dos Santos, cálculo de lajes, vigas e pós-processadores do sistema STRUDL.

O uso dos programas na rotina de serviços de um escritório de cálculo mostrou que os microcomputadores eram viáveis nas empresas de pequeno e médio porte e que nem todos os processamentos deveriam ser feitos utilizando pacotes importados e máquinas de grande porte.

A tecnologia dos microcomputadores evoluiu e alguns anos depois existiam no mercado máquinas com 48K bytes de memória RAM, unidades de disquete e linguagem de alto nível.

O trabalho foi desenvolvido para máquinas "baseadas" no APPLE II utilizando o processo da equivalência. Os fatores que determinaram a escolha do processo de cálculo foram:

- a) Baixo consumo de memória principal e de disco.
- b) Uma ótima relação entre custo e tipos de estruturas que podem ser analisadas pelo sistema.
- c) Parte dos programas já haviam sido escritos para o IBM-1130.

Um sistema que opera em máquinas de baixo custo e permite o cálculo estático de placas, grelhas, chapas, pórticos e lajes sobre apoio elástico é de grande interess

O elemento K_{ij} da matriz de rigidez representa o esforço na direção i , provocado por um deslocamento δ_j suposto unitário.

A solução da equação (1.1) suposta existente, será dada por:

$$\{ \delta \} = - [K]^{-1} \cdot \{ Q^0 \} \quad \dots (1.2)$$

onde $[K]^{-1}$ é a matriz inversa de $[K]$.

No caso das grelhas, as incógnitas δ_j são dois deslocamentos angulares e um linear em cada nó da estrutura que podem ser orientados segundo um sistema de eixos ortogonais sendo que dois deles estão no plano da estrutura.

Os deslocamentos angulares são considerados positivos no sentido sinistrorso e o deslocamento linear na direção e sentido do eixo OZ .

A mesma convenção de sinal é usada para os esforços aplicados diretamente nos nós da estrutura e para os esforços introduzidos pelas fixações (designados por Q_i^0 na Fig. 1.1).

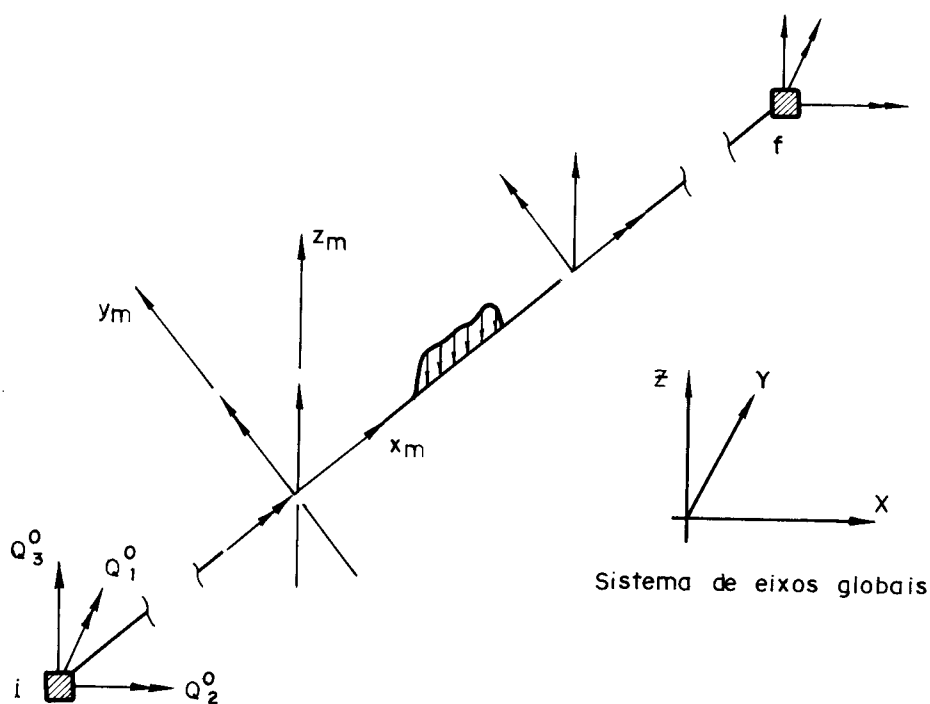


Figura 1.1 - Sistema de eixos globais adotado no cálculo da grelha

No caso dos pórticos as incógnitas δ_j são os deslocamentos angulares e lineares dos nós da estrutura.

Os deslocamentos angulares serão considerados positivos no sentido sinistrorso e os deslocamentos lineares serão considerados positivos na direção e sentido dos eixos ortogonais OX e OY (Fig. 1.2).

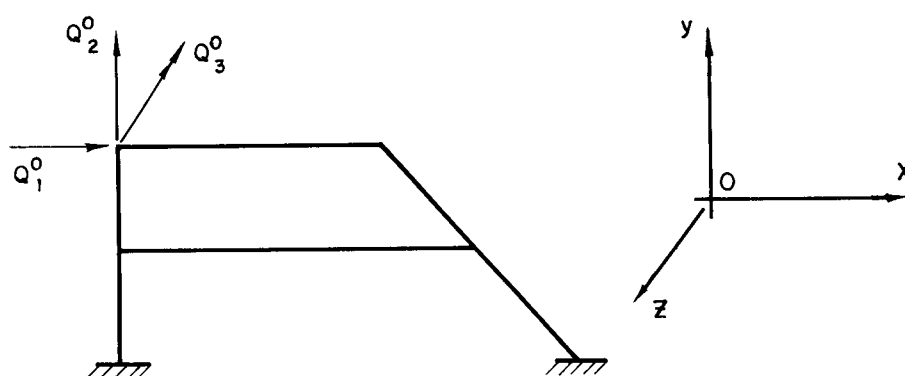


Figura 1.2 — Sistema de eixos globais adotado no cálculo do pórtico

Para a obtenção das matrizes $\{Q^0\}$ e $[K]$ da equação (1.1), começa-se por determinar os esforços atuantes nas extremidades de uma barra tomada isoladamente, em função dos deslocamentos correspondentes.

Para simplificar esse cálculo os esforços e deslocamentos são obtidos em relação a um sistema de coordenadas ligado à barra em estudo, de modo que um de seus eixos coincida com o eixo da barra (Figs. 1.3 e 1.4).

A passagem do sistema local de referência para o sistema global OXY definido anteriormente se faz mediante a introdução de uma matriz de rotação.

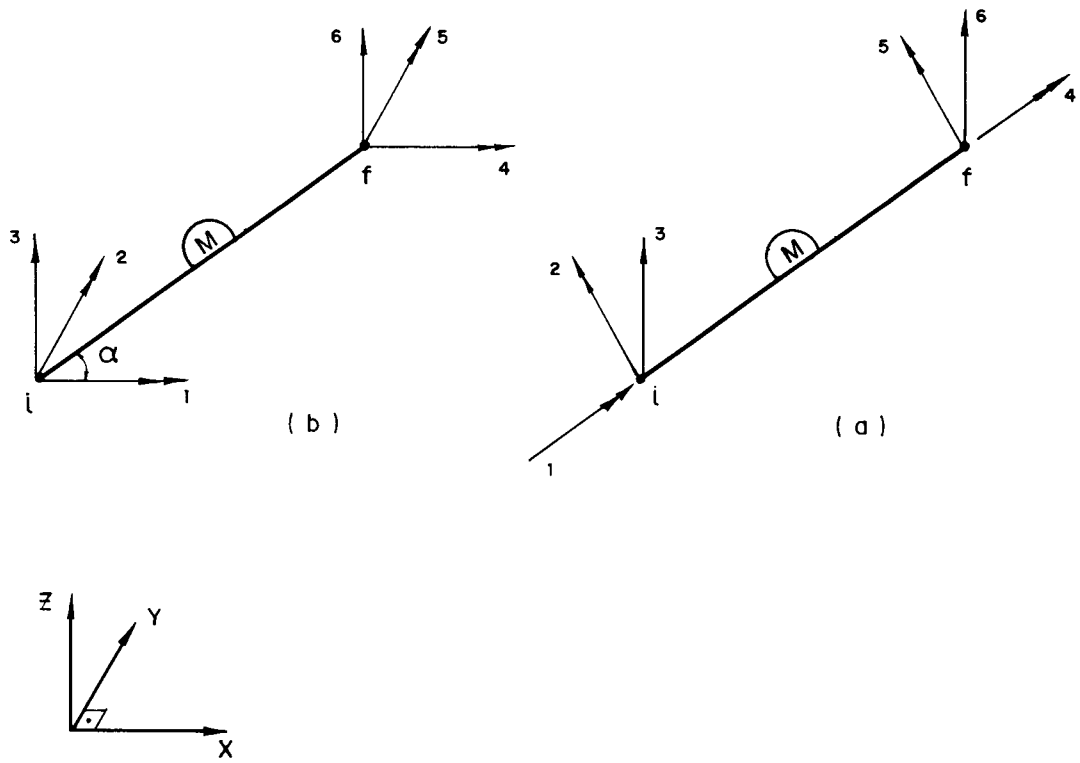


Figura 1.3 - Elemento de grelha: sistema local de eixos (a) e sistema global de eixos (b).

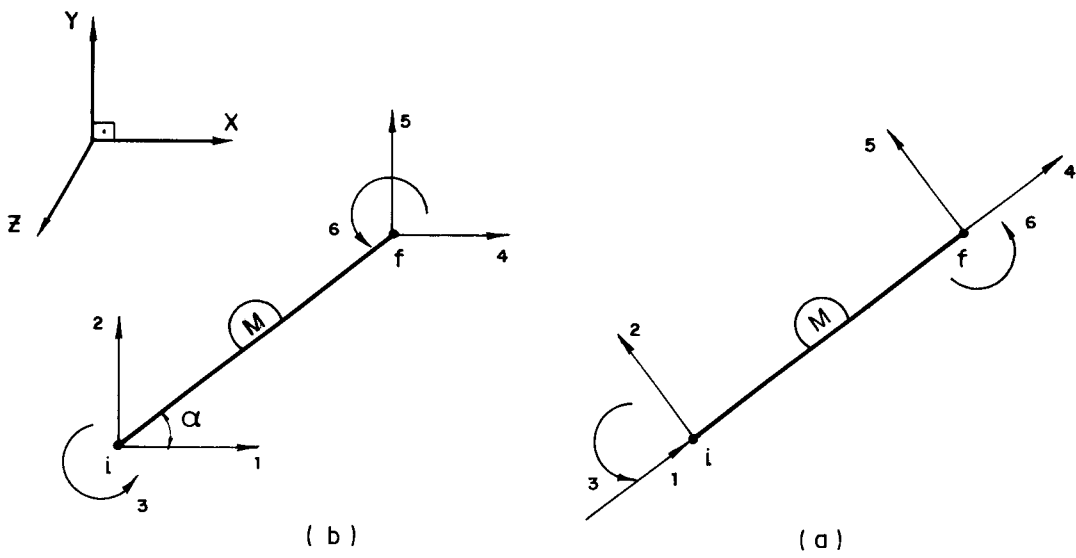


Figura 1.4 - Elemento de pórtico: sistema de eixos locais (a) e sistema de eixos globais (b)

3. MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA

A matriz de rigidez de uma estrutura é a matriz $[K]$ que permite escrever o vetor carregamento da estrutura em função do vetor deslocamento da mesma, pela relação:

$$\{Q^o\} = [K] \cdot \{\delta\} \quad \dots (1.3)$$

O vetor deslocamento da estrutura é o vetor formado pela reunião dos vetores deslocamento de todos os nós da mesma. Assim, na Fig. 1.5 tem-se:

$$\{\delta\} = \left\{ \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_7 \\ \delta_8 \\ \delta_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{10} \\ \delta_{11} \\ \delta_{12} \end{bmatrix} \right\}$$

$$\{\delta\} = \{\delta_1^1, \delta_1^2, \delta_1^3, \delta_2^1, \delta_2^2, \delta_2^3, \delta_3^1, \delta_3^2, \delta_3^3, \delta_4^1, \delta_4^2, \delta_4^3\}$$

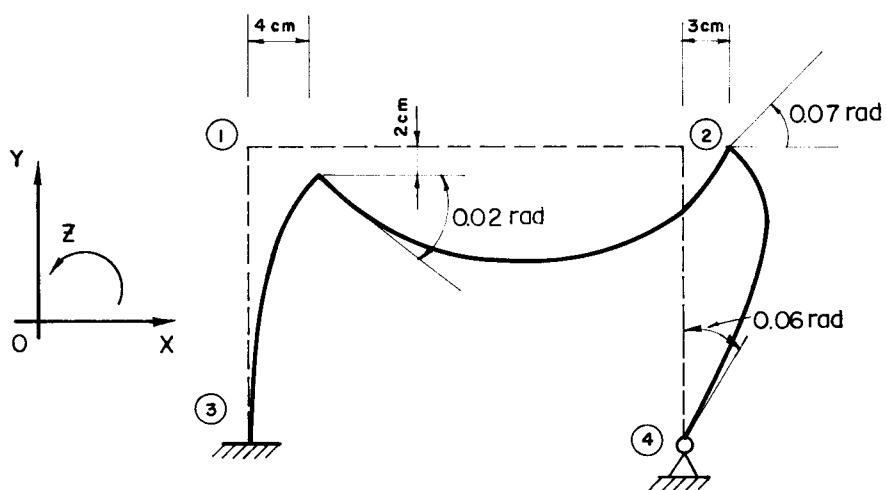


Figura 1.5 — Deslocamentos em um nó de um pórtico

$$\{\delta\} = \{4, -2, -0.02, 3, 0, 0.07, 0, 0, 0, 0, 0, -0.06\}$$

O vetor carregamento da estrutura é o vetor for

mado pelas componentes das cargas externas aplicadas aos nós da mesma na direção e sentido das componentes do vetor deslocamento.

4. MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA BARRA DE PÓRTICO

Seja uma barra M de uma estrutura onde não haja cargas externas aplicadas. Nestas condições os esforços solicitantes na mesma serão função apenas dos deslocamentos dos seus nós extremos. Como a estrutura é de resposta linear, os esforços extremos da barra podem ser calculados com a expressão:

$$\{AE\} = [K]^M \cdot \{\delta\}^M \quad \dots (1.4)$$

ou então:

$$AE_i^M = \sum_{j=1}^6 K_j^i \cdot \delta_j^M \quad \dots (1.5)$$

onde:

K_j^i é o valor do esforço AE_i^M quando a componente $\delta_j^M = 1$ e todas as outras componentes do vetor deslocamento da barra forem nulas.

A matriz $[K]^M$ é chamada de matriz de rigidez da barra M. Para uma determinada barra a ação do resto da estrutura sobre ela é traduzida pelos esforços solicitantes aplicados nos centros de gravidade de suas seções extremas.

Chama-se vetor esforço da barra ao vetor formado pelas componentes destes esforços na direção e sentido das componentes do vetor deslocamento da barra (Fig. 1.6).

Assim, para a barra M tem-se:

$$\{AE\}^M = \{AE_1, AE_2, AE_3, AE_4, AE_5, AE_6\}$$

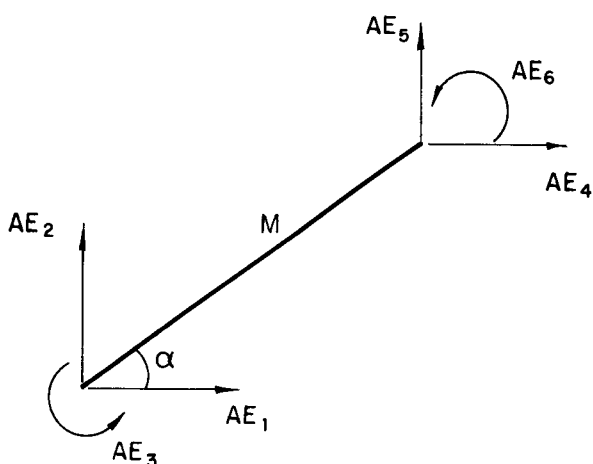


Figura 1.6 — Componentes do vetor esforço da barra

A matriz de rigidez da barra é função apenas das constantes elásticas e geométricas da barra, não dependendo portanto, do carregamento da estrutura.

Para uma barra de um pórtico a matriz de rigidez da barra tem a expressão geral:

$$\left[K \right]^M = \begin{bmatrix} \frac{1}{H} & 0 & 0 & -\frac{1}{H} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{g+g'+2F}{\ell^2(g \cdot g' - F^2)} & \frac{F+g}{\ell(g \cdot g' - F^2)} & 0 & \frac{g+g'+2F}{\ell^2(g \cdot g' + F^2)} & \frac{F+g'}{\ell(g \cdot g' - F^2)} \\ 0 & \frac{F+g}{\ell(g \cdot g' - F^2)} & \frac{g}{g \cdot g' - F^2} & 0 & -\frac{F+g}{\ell(g \cdot g' - F^2)} & \frac{F}{g \cdot g' - F^2} \\ -\frac{1}{H} & 0 & 0 & \frac{1}{H} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{g+g'+2F}{\ell^2(g \cdot g' - F^2)} & -\frac{F+g}{\ell(g \cdot g' - F^2)} & 0 & \frac{g+g'+2F}{\ell^2(g \cdot g' - F^2)} & -\frac{F+g'}{\ell(g \cdot g' - F^2)} \\ 0 & \frac{F+g'}{\ell(g \cdot g' - F^2)} & \frac{F}{g \cdot g' - F^2} & 0 & -\frac{F+g}{\ell(g \cdot g' - F^2)} & \frac{g'}{g \cdot g' - F^2} \end{bmatrix} \dots (1.6)$$

onde F, g e g' são os fatores de forma da barra dados pelas integrais:

$$F = \int_0^{\ell} \frac{x x'}{EJ} \frac{dx}{\ell^2} \quad \dots (1.7)$$

$$g = \int_0^{\ell} \frac{x^2}{EJ} \frac{dx}{\ell^2} \quad \dots (1.8)$$

$$g' = \int_0^{\ell} \frac{x'^2}{EJ} \frac{dx}{\ell^2} \quad \dots (1.9)$$

$$H = \int_0^{\ell} \frac{dx}{EA} \quad \dots (1.10)$$

sendo:

x a abscissa da seção de momento de inércia J medida a partir da extremidade i (Fig. 1.4) da barra.

x' a abscissa medida a partir da extremidade f (Fig. 1.4) da barra.

ℓ é o comprimento da barra.

E é o módulo de elasticidade do material.

A área da seção transversal.

Quando a barra for prismática tem-se:

$$F = \frac{\ell}{6EJ} \quad \dots (1.11)$$

$$g = g' = \frac{\ell}{3EJ} \quad \dots (1.12)$$

$$H = \frac{\ell}{EA} \quad \dots (1.13)$$

Nestas condições a matriz de rigidez da barra de um pórtico tem a expressão geral:

$$\left[K \right]^M = \begin{bmatrix} \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & -\frac{EA}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ}{\ell^3} & \frac{6EJ}{\ell^2} & 0 & -\frac{12EJ}{\ell^3} & \frac{6EJ}{\ell^2} \\ 0 & \frac{6EJ}{\ell^2} & \frac{4EJ}{\ell} & 0 & -\frac{6EJ}{\ell^2} & \frac{2EJ}{\ell} \\ -\frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EJ}{\ell^3} & -\frac{6EJ}{\ell^2} & 0 & \frac{12EJ}{\ell^3} & \frac{6EJ}{\ell^2} \\ 0 & \frac{6EJ}{\ell^2} & \frac{2EJ}{\ell} & 0 & -\frac{6EJ}{\ell^2} & \frac{4EJ}{\ell} \end{bmatrix}$$

..... (1.14)

5. MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA BARRA DE GRELHA

As considerações feitas no ítem 4 podem ser estendidas às grelhas, bastando considerar as expressões apropriadas para a montagem da matriz de rigidez da barra.

Observar que a numeração e os sentidos positivos dos esforços e deslocamentos nas extremidades das barras, indicados nas figuras 1.3 e 1.4 são totalmente análogos. Vê-se que os índices 1 e 4 referem-se aos momentos de torção e os índices 2 e 5 aos momentos fletores (a mesma observação aplica-se aos deslocamentos angulares correspondentes).

As forças cortantes e os deslocamentos transversais são caracterizados nos dois sistemas pelos índices 3 e 6.

No sistema local tem-se a seguinte expressão para a matriz de rigidez da barra:

$$\left[K \right]^M = \begin{bmatrix}
 \frac{1'}{H'} & 0 & 0 & -\frac{1}{H'} & 0 & 0 \\
 0 & \frac{g}{g \cdot g' - F^2} & -\frac{F + g}{\ell (g \cdot g' - F^2)} & 0 & -\frac{K}{g \cdot g' - F^2} & \frac{F + g}{\ell (g \cdot g' - F^2)} \\
 0 & -\frac{F + g}{\ell (g \cdot g' - F^2)} & \frac{2F + g + g'}{\ell^2 (g \cdot g' - F^2)} & 0 & \frac{F + g'}{\ell (g \cdot g' - F^2)} & -\frac{2F + g + g'}{\ell^2 (g \cdot g' - F^2)} \\
 -\frac{1}{H'} & 0 & 0 & \frac{1}{H'} & 0 & 0 \\
 0 & \frac{F}{g \cdot g' - F^2} & -\frac{F + g'}{\ell (g \cdot g' - F^2)} & 0 & \frac{g'}{g \cdot g' - F^2} & \frac{F + g'}{\ell (g \cdot g' - F^2)} \\
 0 & \frac{F + g}{\ell (g \cdot g' - F^2)} & -\frac{2F + g + g'}{\ell (g \cdot g' - F^2)} & 0 & \frac{F + g'}{\ell (g \cdot g' - F^2)} & \frac{2F + g + g'}{\ell^2 (g \cdot g' - F^2)} \\
 & & & & & \dots
 \end{bmatrix} \quad \dots (1.15)$$

onde:

$$H' = \int_0^{\ell} \frac{dx}{G J_t} \quad \dots (1.16)$$

J_t o momento de inércia à torção da seção de abscissa x .
 G módulo de elasticidade transversal do material.

Quando a barra for prismática tem-se:

$$H' = \frac{\ell}{G J_t} \quad \dots (1.17)$$

Utilizando as expressões (1.11) e (1.12) pode-se montar a matriz de rigidez do elemento de grelha:

$$\left[K \right]^M = \begin{bmatrix}
 \frac{G J_t}{\ell} & 0 & 0 & -\frac{G J_t}{\ell} & 0 & 0 \\
 0 & \frac{4 EJ}{\ell} & -\frac{6 EJ}{\ell^2} & 0 & \frac{2 EJ}{\ell} & \frac{6 EJ}{\ell^2} \\
 0 & -\frac{6 EJ}{\ell^2} & \frac{12 EJ}{\ell^3} & 0 & -\frac{6 EJ}{\ell^2} & -\frac{12 EJ}{\ell^3} \\
 -\frac{G EJ_t}{\ell} & 0 & 0 & \frac{G EJ_t}{\ell} & 0 & 0 \\
 0 & \frac{2 EJ}{\ell} & -\frac{6 EJ}{\ell^2} & 0 & \frac{4 EJ}{\ell} & \frac{6 EJ}{\ell^2} \\
 0 & \frac{6 EJ}{\ell^2} & -\frac{12 EJ}{\ell^3} & 0 & \frac{6 EJ}{\ell^2} & \frac{12 EJ}{\ell^3}
 \end{bmatrix} \dots (1.18)$$

6. ROTAÇÃO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA BARRA

As expressões (1.6) e (1.15) representam a matriz de rigidez de uma barra em relação ao sistema de eixos local. Como a matriz de rigidez da estrutura é montada em relação ao sistema de eixos global é necessário criar uma matriz de rotação do sistema global para o sistema local de referência.

Na Fig. 1.4 o sistema de eixos local forma um ângulo α com o sistema de eixos global. A matriz que relaciona o vetor deslocamento do nó (esforço) montado no sistema global com o mesmo vetor no sistema local tem a forma:

$$\begin{Bmatrix} \delta_1^L \\ \delta_2^L \\ \delta_3^L \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \delta_1^G \\ \delta_2^G \\ \delta_3^G \end{Bmatrix} \dots (1.19)$$

Considerando o vetor deslocamento da barra, tem-se:

$$\begin{Bmatrix} \delta_i^L \\ \delta_f^L \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [R_o] & 0 \\ 0 & [R_o] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \delta_i^G \\ \delta_f^G \end{Bmatrix} \quad \dots (1.20)$$

onde:

δ_i^L e δ_f^L são os vetores deslocamentos dos nós inicial e final da barra no sistema de eixos local.

δ_i^G e δ_f^G são os mesmos deslocamentos no sistema de eixos global.

$[R_o]$ é a matriz de rotação.

$[0]$ é a matriz nula de ordem 3 x 3.

A equação (1.20) pode ser escrita assim:

$$\left\{ \delta_M^L \right\} = [R] \cdot \left\{ \delta_M^G \right\} \quad \dots (1.21)$$

onde:

$[R]$ é a matriz de rotação da barra M.

$\left\{ \delta_M^L \right\}$ e $\left\{ \delta_M^G \right\}$ é o vetor deslocamento da barra M nos sistemas de coordenadas local e global, respectivamente.

Os esforços nas extremidades das barras podem ser obtidos com uma expressão análoga.

$$\left\{ Q_M^{oL} \right\} = [R] \cdot \left\{ Q_M^{oG} \right\} \quad \dots (1.22)$$

A equação matricial utilizada para resolver uma estrutura pelo processo dos deslocamentos tem a forma:

$$\left\{ Q^{oG} \right\} = \left[K^G \right] \cdot \left\{ \delta^G \right\} \quad \dots (1.23)$$

Se o sistema de eixos local for considerado, tem-se:

$$\left\{ Q_M^{oL} \right\} = \left[K_M^L \right] \cdot \left\{ \delta_M^L \right\} \quad \dots (1.24)$$

Substituindo as equações (1.21) e (1.22) na (1.24) vem:

$$\left[R \right] \cdot \left\{ Q^{oG} \right\} = \left[K_M^L \right] \cdot \left[R \right] \cdot \left\{ \delta^G \right\}$$

Pré-multiplicando os dois membros por $\left[R \right]^{-1}$ (inversa de $\left[R \right]$) obtêm-se:

$$\left\{ Q^{oG} \right\} = \left[R \right]^{-1} \cdot \left[K_M^L \right] \cdot \left[R \right] \cdot \left\{ \delta^G \right\} \quad \dots (1.25)$$

Comparando as equações (1.23) e (1.25) obtêm-se:

$$\left[K^G \right] = \left[R \right]^t \left[K_M^L \right] \left[R \right] \quad \dots (1.26)$$

porque a matriz de rotação tem a seguinte propriedade:

$$\left[R \right]^{-1} = \left[R \right]^t$$

A equação (1.26) permite calcular a matriz de rigidez da barra em relação ao sistema de eixos global.

7. SOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES

A matriz de rigidez da estrutura definida de acordo com a equação (1.3) nem sempre é inversível. Chama-se matriz reduzida $\left[K_r \right]$ da matriz $\left[K \right]$ a matriz obtida dessa última abaixando-se a sua ordem, de maneira a elimi-

nar suas linhas e colunas totalmente nulas; $\{Q_r^0\}$ e $\{\delta_r^0\}$ são os vetores carregamento e deslocamento correspondentes a $[K_r]$ obtidos de $\{Q^0\}$ e $\{\delta\}$, respectivamente, pela eliminação adequada de seus elementos.

$$\{Q_r^0\} = [K_r] \cdot \{\delta_r\} \quad \dots (1.27)$$

No texto a matriz $[K]$ será chamada de inversível sempre que sua matriz reduzida $[K_r]$ o for. Nestas condições a equação (1.3) poderá ser escrita assim:

$$\{\delta\} = [K]^{-1} \cdot \{Q^0\} \quad \dots (1.28)$$

Os elementos de $\{Q^0\}$ podem ser obtidos calculando-se as ações de extremos de cada barra e fazendo-se as superposições adequadas. No caso dos pórticos e grelhas podem-se calcular os esforços de engastamento perfeito em função dos fatores de forma g , g' e F e das reações fictícias A e B dadas pelas equações:

$$A = \int_0^l \frac{x'}{EJ} M \frac{dx}{l} \quad \dots (1.29)$$

$$B = \int_0^l \frac{x}{EJ} M \frac{dx}{l} \quad \dots (1.30)$$

onde:

$M = M(x)$ é a função que representa o diagrama de momentos reduzidos.

Nestas condições, os momentos de engastamento perfeito serão dados pelas expressões:

$$M_i = \frac{B F - A g}{g \cdot g' - F^2} \quad \dots (1.31)$$

$$M_f = \frac{B g' - A F}{g \cdot g' - F^2} \dots (1.32)$$

As forças cortantes nas extremidades da barra são calculadas em função de M_i e M_f e das cargas aplicadas, por simples equação de equilíbrio.

Havendo carga axial p (positiva no sentido i para f) distribuída ao longo da barra calculam-se as forças normais nas extremidades da barra engastada com as expressões:

$$N_i = -\frac{1}{H} \int_0^l \frac{dx}{EA} \int_0^x p \, dx \dots (1.33)$$

$$N_f = \frac{-1}{H} \int_0^l \frac{dx}{EA} \int_0^l p \, dx \dots (1.34)$$

Os momentos torçores (no caso das grelhas) poderão ser calculados com as fórmulas:

$$M_{t\ell} = \frac{-1}{H'} \int_0^l \frac{dx}{G J_t} \int_0^l \mathcal{M} \, dx \dots (1.35)$$

$$M_{ft} = \frac{-1}{H'} \int_0^l \frac{dx}{G J_t} \int_0^l \mathcal{M} \, dx \dots (1.36)$$

Normalmente o sistema de equações (1.3) é resolvido sem inverter a matriz de rigidez. Utilizando o teorema de Betti pode-se provar que ela é simétrica. Além disso, a matriz de rigidez está disposta em banda cuja largura depende basicamente da sequência de numeração dos nós da estrutura.

Nestas condições o sistema gera os elementos K_{ij} da matriz, tais que:

a) $i \geq j$

b) $j - i \leq f$

onde:

f é a banda da matriz de rigidez.

Os elementos são armazenados por linha em um vetor de dimensão $m \times f$ onde m é o número de graus de liberdade da estrutura.

O armazenamento em um vetor visa diminuir o tempo de processamento utilizado para resolver o sistema de equações. A redução do tempo de processamento é significativa porque a localização de um elemento de uma lista (vetor) é mais rápida do que a de um elemento de uma tabela (matriz) sob o ponto de vista de sistema de computação.

CAPÍTULO II

RELAÇÕES BÁSICAS DA TEORIA DA ELASTICIDADE

1. INTRODUÇÃO

Seja um elemento infinitesimal ω de um sólido Ω com a forma de um cubo e com as faces paralelas aos eixos x_i (Fig. 2.1).

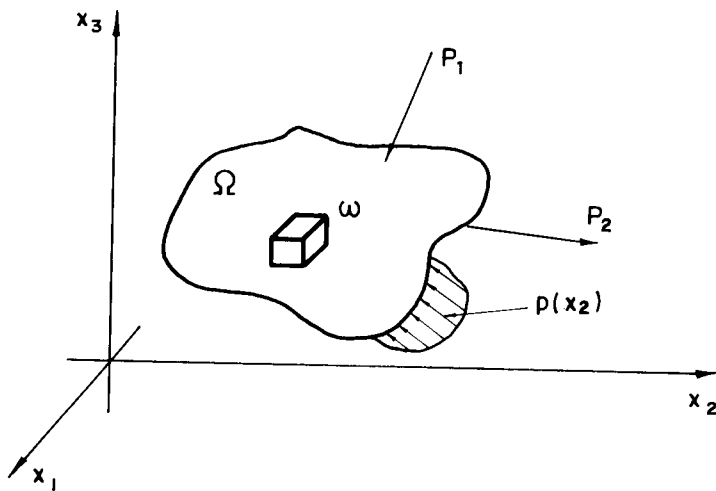


Figura 2.1— Sólido Ω com elemento infinitesimal ω

Nestas condições cada ponto do sólido está submetido a uma tensão cujas componentes são σ_{ij} paralelas aos eixos x_j e aplicada à face i para $i, j = 1, 2, 3$ (Fig. 2.2).

Se $i = j$ σ_{ij} é normal à face do elemento. Quando $i \neq j$ a tensão σ_{ij} é tangencial ou de cisalhamento.

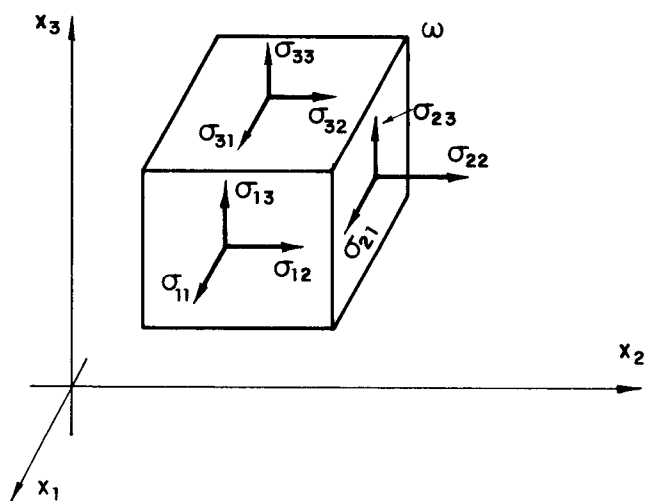


Figura 2.2 — Tensões σ_{ij} aplicadas na face do elemento ω

Considere o vetor deslocamento \vec{u} (u_1, u_2, u_3) de um ponto A do sólido Ω (Fig. 2.3)

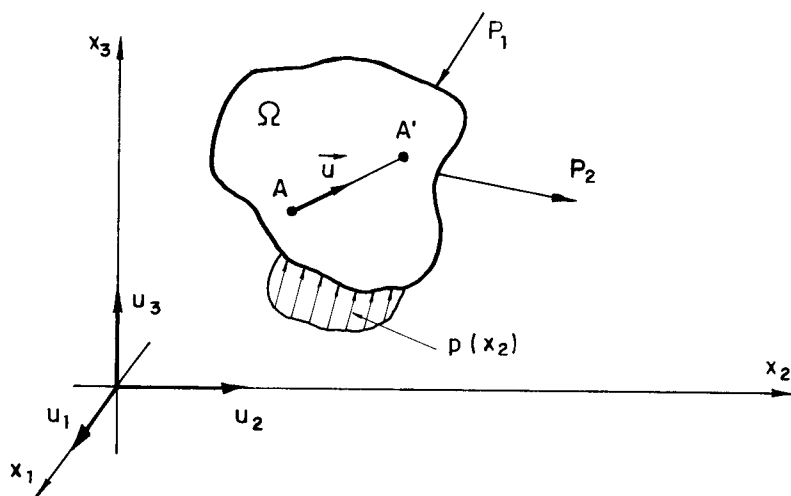


Figura 2.3 — Ponto A e respectivo vetor deslocamento \vec{u} .

As componentes do tensor de deformações são dadas pela expressão:

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad \dots (2.1)$$

Quando $i = j$ a componente e_{ij} representa um alongamento unitário na direção x_j . Se $i \neq j$, e_{ij} representa metade da distorção conforme está mostrado na Fig. 2.4.

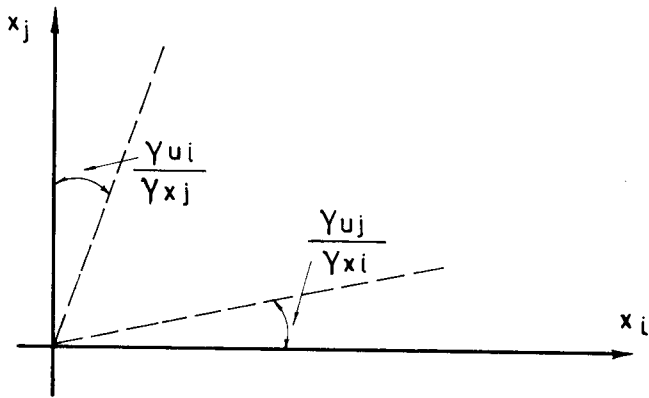


Figura 2.4 — Componentes do tensor e_{ij} para $i \neq j$

Para medir a deformação de um elemento linear AB do sólido Ω será associado um conjunto de eixos x'_1, x'_2, x'_3 com origem em A e tal que x'_1 coincida com AB (Fig. 2.5).

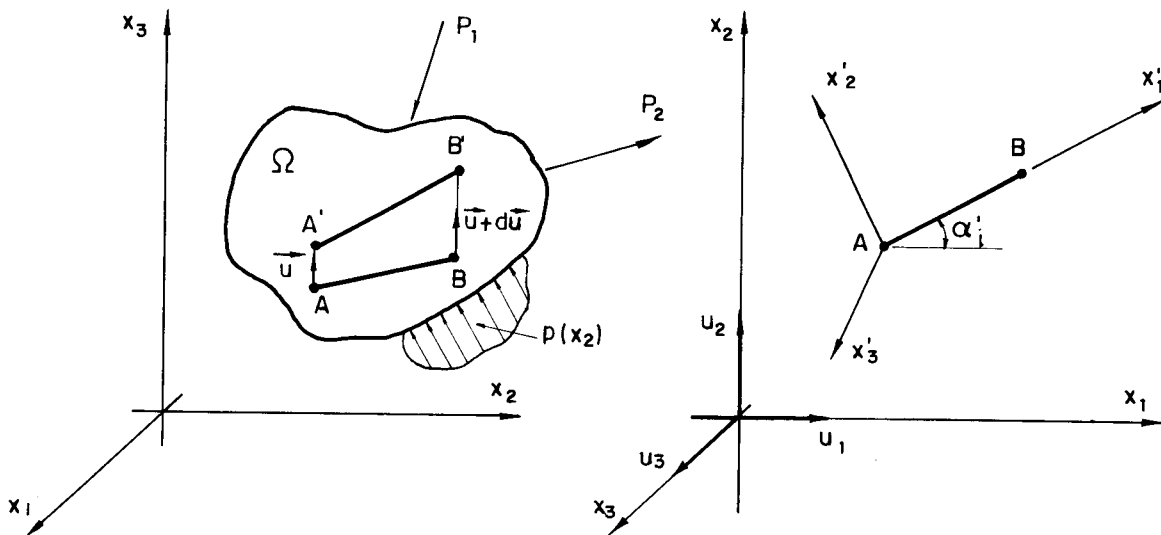


Figura 2.5 — Deformação do elemento

Chamando de u'_k a componente de \vec{u} segundo x'_k e por α_i os cossenos diretores de x'_1 tem-se:

$$u'_1 = \sum_{i=1}^3 \alpha_i u_i \quad \dots (2.2)$$

O alongamento unitário ϵ de AB vale:

$$\epsilon = \frac{\partial u'_1}{\partial x'_1} = \sum \alpha_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \cdot \frac{\partial x_j}{\partial x'_1} = \sum \alpha_i \alpha_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \sum \alpha_i \alpha_j e_{ij} \quad \dots (2.3)$$

Seja β_i os cossenos diretores de x'_2 . Nestas condições tem-se:

$$u'_2 = \sum \beta_i u_i \quad \dots (2.4)$$

$$\frac{\partial u'_2}{\partial x'_1} = \sum \beta_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \cdot \frac{\partial x_j}{\partial x'_1} = \sum \beta_i \alpha_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (i, j=1, 2, 3) \quad \dots (2.5)$$

Se o elemento infinitesimal estiver no plano (x_1, x_2) as equações (2.3) e (2.5) podem ser escritas assim:

$$\epsilon = e_{11} \cos^2 \alpha + e_{22} \sin^2 \alpha + 2 e_{12} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad \dots (2.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u'_2}{\partial x'_1} &= \cos \alpha \left[-\sin \alpha \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \cos \alpha \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right] + \sin \alpha \left[-\sin \alpha \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \cos \alpha \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right] = \\ &= (e_{22} - e_{11}) \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \cos^2 \alpha - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \sin^2 \alpha \quad \dots (2.7) \end{aligned}$$

As tensões e deformações estão relacionadas entre si através da lei de Hooke. Esta relação é representada pela equação matricial:

$$\begin{Bmatrix} e_{11} \\ e_{22} \\ e_{33} \\ 2e_{12} \\ 2e_{13} \\ 2e_{23} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & 1 & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & -\nu & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{Bmatrix} \quad \dots (2.8)$$

As deformações estão relacionadas com as tensões através da equação matricial:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda+2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda+2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda+2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} e_{11} \\ e_{22} \\ e_{33} \\ 2e_{12} \\ 2e_{13} \\ 2e_{23} \end{Bmatrix} \dots (2.9)$$

onde λ e μ são os coeficientes de Lamé dados pelas relações:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \dots (2.10)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \dots (2.11)$$

2. ENERGIA DE DEFORMAÇÃO

A energia potencial total de um corpo pode ser expressa da seguinte forma:

$$\pi_p = U + \Omega \dots (2.12)$$

ou então, conforme é apresentado em (B.31).

$$\pi_p = U - \int_s \{\phi\}^t \cdot \{u\} dS - \int_v \{x\}^t \{u\} dv \dots (2.13)$$

onde U representa a energia de deformação, a primeira integral representa o potencial das cargas externas e a segunda integral representa o potencial das forças de massa.

A energia de deformação pode ser calculada com a expressão:

$$U = \int_V W \, dv \quad \dots (2.14)$$

onde W (Fig. 2.6) é a energia de deformação por unidade de volume (energia de deformação específica).

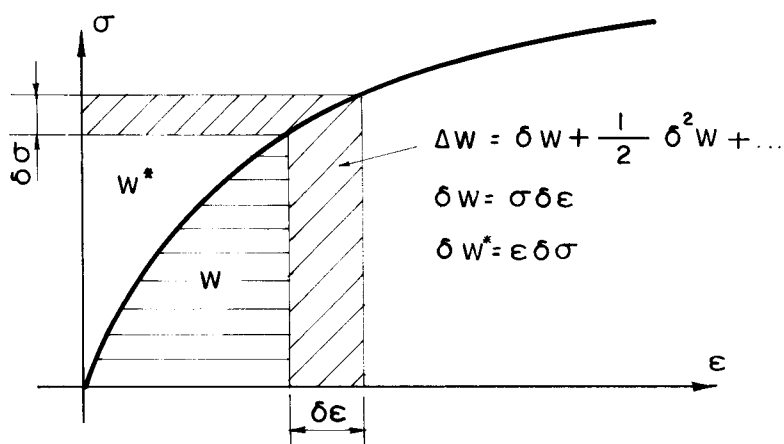


Figura 2.7 — Energias (específicas) de deformação e de deformação complementar

Para um material elástico linear tem-se:

$$W = \frac{1}{2} \sum \sigma_{ij} e_{ij} \quad \dots (2.15)$$

Substituindo a equação (2.9) em (2.15) obtêm-se:

$$W = \frac{1}{2} \lambda (e_{11} + e_{22} + e_{33})^2 + \mu (e_{11}^2 + e_{22}^2 + e_{33}^2 + 2e_{12}^2 + 2e_{23}^2 + 2e_{13}^2) \quad \dots (2.16)$$

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial W}{\partial e_{ij}} \quad \dots (2.17)$$

O funcional definido em (2.13) passa por um extremo no equilíbrio, isto é, entre todas as funções de deslocamentos que se pode admitir, a correta é aquela que tor

na nula a variação do funcional, ou seja, entre todos os campos de deslocamentos admissíveis o correto é aquele que minimiza o funcional π_p .

Este é o princípio da mínima energia potencial que pode ser escrito assim:

$$\delta\pi_p = \int_V \{\sigma\}^t \delta\{\epsilon\} dv - \int_S \{\phi\}^t \delta u ds - \int_V \{x\}^t \delta\{u\} dv = 0 \dots (2.18)$$

Aplicando-se o cálculo das variações após a introdução das relações entre $\{\sigma\}$ e $\{\epsilon\}$, $\{\epsilon\}$ e $\{u\}$ poderá ser tentada a procura da solução do problema que, existindo, será a função $\{u\} = \{u\}(x_1, x_2, x_3)$.

A procura da solução exata quase sempre implica em grandes dificuldades do ponto de vista matemático. Procedem-se então à procura de soluções numéricas aproximadas mediante por exemplo a aplicação das "equivalências".

No caso de placas a energia de deformação específica vale:

$$W = \frac{D}{2} \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1 \partial x_2} \right)^2 + 2\nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1 \partial x_2} \right)^2 \right] \right\} \dots (2.19)$$

onde D é a rigidez da placa:

$$D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)}$$

3. TEORIA DE EQUIVALÊNCIA

Seja um corpo deformável submetido a um carregamento qualquer. A energia potencial total vale:

$$\pi_p = U + \phi \dots (2.20)$$

A equação (2.20) pode ser escrita assim:

$$\pi_p = \int_V W \, dV + \phi \quad \dots (2.21)$$

onde ϕ vale:

$$\phi = - \int_S \vec{p} \cdot \vec{u} \, dS - \sum \vec{P} \cdot \vec{u} - \int_V \vec{F} \cdot \vec{u} \, dV \quad \dots (2.22)$$

sendo \vec{P} a carga concentrada aplicada na superfície do corpo.

\vec{p} é a carga distribuída.

\vec{F} é a carga por unidade de volume.

\vec{u} é o deslocamento do ponto de aplicação da carga.

Considere um segundo corpo ocupando o mesmo espaço V que o primeiro e submetido às mesmas condições de apoio, Fig. 2.6.

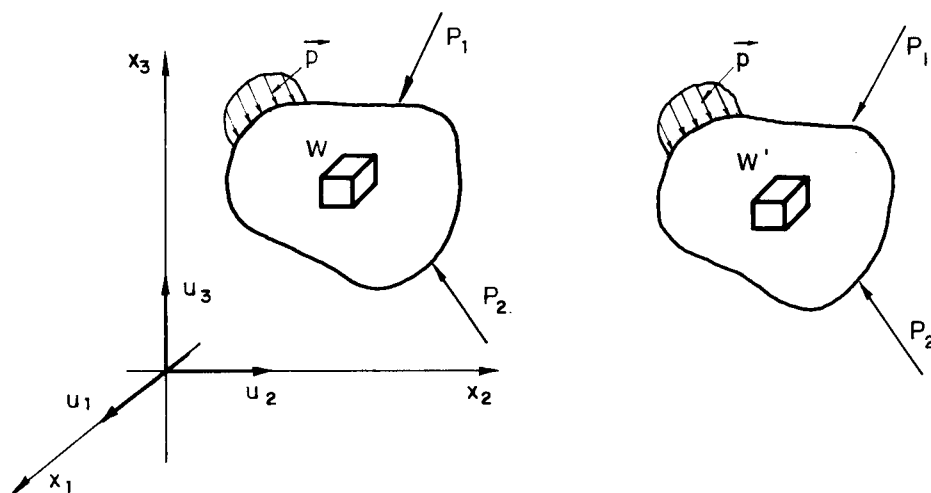


Figura 2.6 — Corpos equivalentes

Chamando de W' a energia de deformação específica o potencial deste novo sistema será:

$$\pi'_p = \int_V W' \, dV + \phi \quad \dots (2.23)$$

A solução desses problemas consiste em encontrar um campo de deformações que minimize os funcionais π_p e π'_p .

Os dois corpos serão equivalentes se:

$$\delta \pi_p = \delta \pi'_p \quad \dots (2.24)$$

isto é, admitirem o mesmo campo de deformações.

As energias específicas de deformação podem ser iguais

$$W = W' \quad \dots (2.25)$$

ou diferir, por uma constante u_0 :

$$W = W' + u_0 \quad \dots (2.26)$$

u_0 é uma função tal que:

$$\int_V u_0 dV = \text{constante}$$

ou

$$\delta \int_V u_0 dV = 0 \quad \dots (2.27)$$

portanto

$$\delta \int_V W dV = \delta \int_V W' dV \quad \dots (2.28)$$

ou

$$\delta \pi = \delta \pi'$$

Apesar dos corpos possuírem comportamentos diferentes se (2.24) for verdadeira eles serão equivalentes. Pode-se fazer equivalência entre:

- a) Dois corpos contínuos.
- b) Dois corpos discretos.
- c) Um corpo contínuo e um corpo discreto.

Neste trabalho será estudada a equivalência entre um corpo contínuo (placas e chapas) e um corpo discreto (grelhas e pórticos). Inicialmente serão consideradas as malhas compostas por barras articuladas e depois as malhas cujas barras podem ter engastes ou articulações.

4. ENERGIA DE DEFORMAÇÃO DE UMA BARRA BIARTICULADA

Seja uma barra AB de comprimento ℓ e seção transversal S submetida a uma força normal N. Aplicando-se a lei de Hooke tem-se:

$$N = ES \frac{\Delta}{\ell} = ES \epsilon \quad \dots (2.29)$$

onde Δ é o alongamento ou encurtamento total e ϵ é o alongamento ou encurtamento específico.

A energia de deformação U' vale:

$$U' = \frac{1}{2} N\Delta = \frac{1}{2} ES \ell \epsilon^2 = \frac{1}{2} \rho \epsilon^2 \quad \dots (2.30)$$

onde:

$$\rho = ES \ell \quad \dots (2.31)$$

Chamando de α_k os cossenos diretores de AB e utilizando a equação (2.3) pode-se escrever:

$$\epsilon = \sum \alpha_i \alpha_j e_{ij} \quad \dots (2.32)$$

Substituindo (2.32) em (2.30) vem:

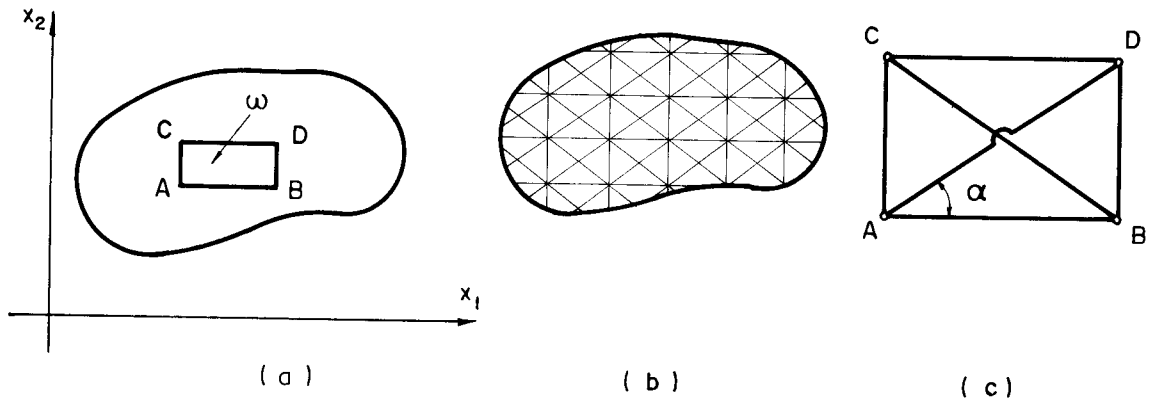


Figura 2.7 — (a) O elemento ABCD da chapa é simulado com o elemento (c) ficando a estrutura discretizada conforme (b)

$$\begin{aligned}
 W'_{AB} &= W'_{CD} = \frac{1}{2} \rho_{AB} (e_{11})^2 \\
 W'_{AC} &= W'_{BD} = \frac{1}{2} \rho_{AC} (e_{22})^2 \\
 W'_{AD} &= \frac{1}{2} \rho_{AD} \left[e_{11} \cos^2 \alpha + e_{22} \sin^2 \alpha + 2e_{12} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right]^2 \\
 W'_{BC} &= \frac{1}{2} \rho_{BC} \left[e_{11} \cos^2 \alpha + e_{22} \sin^2 \alpha - 2e_{12} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right]^2 \\
 &\dots (2.36)
 \end{aligned}$$

Chamando por V o volume do elemento contido no contorno ABCD e por W' a energia de deformação que ele armazena e impondo a condição de equivalência (2.25) vem:

$$W = W' = (2W'_{AB} + 2W'_{AC} + W'_{AD} + W'_{BC}) V \quad \dots (2.37)$$

Substituindo (2.34) e (2.36) em (2.37) obtêm-se:

$$\begin{aligned}
 V \left\{ \left(\frac{1}{2} \lambda + \mu \right) \left[(e_{11})^2 + (e_{22})^2 \right] + \lambda e_{11} e_{22} + 2\mu (e_{12})^2 \right\} = \\
 = \rho_{AB} (e_{11})^2 + \rho_{AC} (e_{22})^2 + \frac{1}{2} \rho_{AD} \left[e_{11} \cdot \cos^2 \alpha + e_{22} \cdot \sin^2 \alpha + \right. \\
 \left. + 2e_{12} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right]^2 + \frac{1}{2} \rho_{BD} \left[e_{11} \cos^2 \alpha + e_{22} \sin^2 \alpha - 2e_{12} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right]^2 \\
 \dots (2.38)
 \end{aligned}$$

Comparando os membros da equação (2.38) vem:

$$\begin{aligned} \rho_{AB} &= \rho_{CD} = \frac{1}{2} v \cdot \mu \left[3 - \cotg^2 \alpha \right] \\ \rho_{AC} &= \rho_{BD} = \frac{1}{2} v \cdot \mu \left[3 - \tg^2 \alpha \right] \\ \rho_{AD} &= \rho_{BC} = \frac{v \cdot \mu}{2 \operatorname{sen}^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} \quad \dots (2.39) \end{aligned}$$

Da comparação dos membros da equação (2.38) resulta ainda:

- 1) O desenvolvimento do segundo membro leva a parcela $4 e_{12} \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \alpha \cdot (e_{11} \cdot \cos^2 \alpha + e_{22} \operatorname{sen}^2 \alpha)$ que não tem correspondente no primeiro membro. Para anular este termo deve-se dispor de no mínimo, um eixo de simetria no elemento, Fig. 2.8.

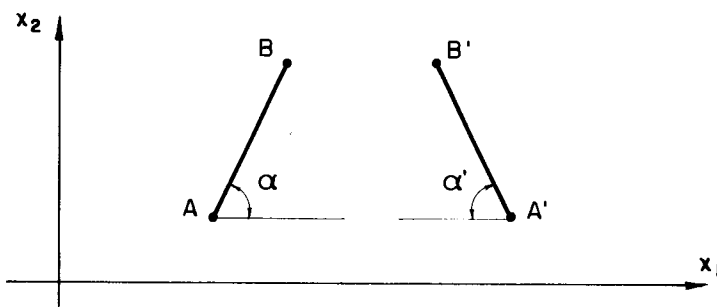


Figura 2.8 — O uso de barras biarticuladas no elemento implica na existência de um eixo de simetria no mesmo

- 2) Comparando as parcelas $(e_{11} \cdot e_{22})$ e $(e_{12})^2$ obtêm-se:

$$\frac{2 \mu}{\lambda} = 2$$

portanto

$$\lambda = \mu = \frac{2}{5} E \quad \text{ou} \quad v = \frac{1}{4} \quad \dots (2.40)$$

a2) Malhas compostas por losangos.

O elemento com forma de losango está composto por barras dispostas conforme a Fig. 2.9.

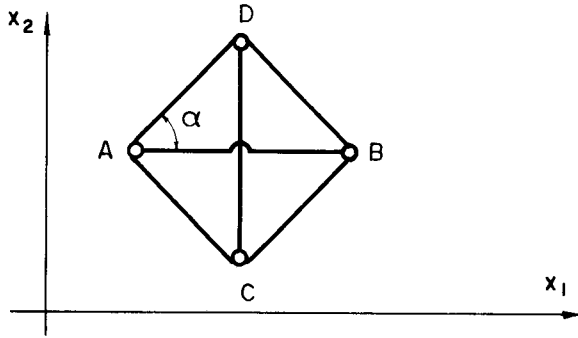


Figura 2.9 — Elemento com forma de losango (barras biarticuladas)

Seja V o volume contido no contorno ABCD. Seguindo a marcha de cálculo utilizado para o elemento retangular obtêm-se:

$$\rho_{AB} = V \mu (3 - \cotg^2 \alpha)$$

$$\rho_{CD} = V \mu (3 - \tg^2 \alpha)$$

$$\rho_{AD} = \frac{V \cdot \mu}{4 \sen^2 \alpha \cos^2 \alpha} \dots (2.41)$$

Novamente $\nu = 0,25$ porque $\lambda = \mu$.

5.2 - ESTADO PLANO DE TENSÕES

No caso do estado plano de tensões $\sigma_{i3} = 0$. A energia específica de deformação vale:

$$W' = \frac{1}{2} \sum \sigma_{ij} \cdot e_{ij}$$

Considerando (2.8) e (2.9) obtêm-se:

$$\begin{aligned}
 W' &= \frac{E}{2(1-\nu^2)} \left[(e_{11})^2 + (e_{22})^2 + 2\nu \cdot e_{11} \cdot e_{22} + 2(1-\nu)(e_{12})^2 \right] = \\
 &= 2\mu \left\{ \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu} \left[(e_{11})^2 + (e_{22})^2 \right] + \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} e_{11} \cdot e_{22} + (e_{12})^2 \right\} \\
 &\dots (2.42)
 \end{aligned}$$

Se for utilizada malha composta por retângulos (Fig. 2.7) ou losangos (Fig. 2.9) chega-se às equações (2.39) e (2.41) respectivamente.

Da comparação entre a energia específica de deformação do elemento sólido e do elemento equivalente conclui-se que:

- 1) O elemento deve ter um eixo de simetria.
- 2) Comparando as parcelas $(e_{11} \cdot e_{22})$ e $(e_{12})^2$ obtêm-se:

$$\frac{\nu}{1-\nu} = \frac{1}{2}$$

portanto

$$\nu = \frac{1}{3} \quad \text{ou} \quad \lambda = 2\mu = \frac{3}{4} E \quad \dots (2.43)$$

6. RESUMO

O estado plano de deformação ou tensões pode ser simulado com elementos discretos compostos por barras biarticuladas. O coeficiente de Poisson deve valer 1/3 na simulação do estado plano de tensões e 1/4 na simulação do estado plano de deformações. Nestas condições a energia de deformação específica vale:

- a) Estado plano de tensões ($\lambda = 2\mu$)

$$W_b = \frac{3}{16} E_b \left[3(e_{11})^2 + 3(e_{22})^2 + 2e_{11} \cdot e_{22} + 4(e_{12})^2 \right] \dots (2.44)$$

b) Estado plano de deformações ($\lambda = \mu$)

$$W_b = \frac{1}{5} Eb \left[3 \cdot (e_{11})^2 + 3(e_{22})^2 + 2e_{11} \cdot e_{22} + 4(e_{12})^2 \right] \quad \dots (2.45)$$

Comparando as expressões (2.44) e (2.45) pode-se concluir que ao utilizar uma mesma malha para simular o estado plano de tensões e de deformações os valores dos parâmetros ρ que definem as seções das barras para as duas simulações devem estar na proporção:

$$\frac{3}{16} / \frac{1}{5} = 15/16 \quad \dots (2.46)$$

O coeficiente de Poisson do concreto varia de $\nu = 0,15$ para $f_{ck} = 110 \text{ kgf/cm}^2$ e $\nu = 0,25$ para $f_{ck} = 260 \text{ kgf/cm}^2$. Sendo pequena esta faixa de variação ela não influi significativamente nos cálculos de dimensionamento conforme está explicado na bibliografia(B27). No caso do aço $\nu = 0,3$.

Portanto, o estado plano de tensões no concreto e o estado plano de deformações no aço podem ser simulados aproximadamente por elementos compostos por barras biarticuladas. A maior vantagem destes elementos é que a simulação pode ser feita por uma treliça, o que significa uma economia sensível de memória de computador em relação à simulação com pórticos.

7. ESTUDO DAS PLACAS ESBELTAS

Seja uma placa de espessura variável $b(x,y)$, cuja superfície média está contida no plano x,y conforme está mostrado na Fig. 2.10.

A energia específica de deformação vale:

$$W = \frac{1}{2} D \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 + 2 \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} \quad (2.47)$$

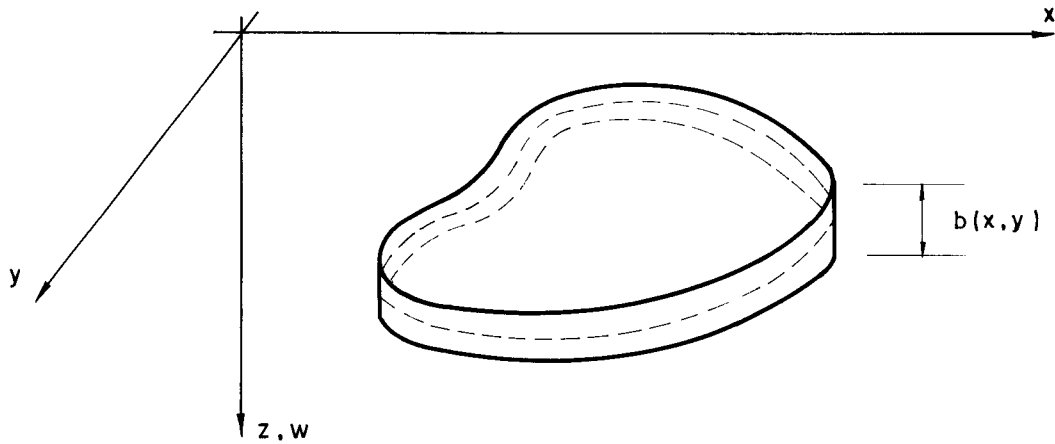


Figura 2.10 — Placa no plano x, y

7.1 - ENERGIA ESPECÍFICA DE DEFORMAÇÃO DE UMA BARRA NA FLEXÃO E TORÇÃO

Seja uma barra AB de comprimento l inclinada de α em relação ao eixo global x (Fig. 2.11).

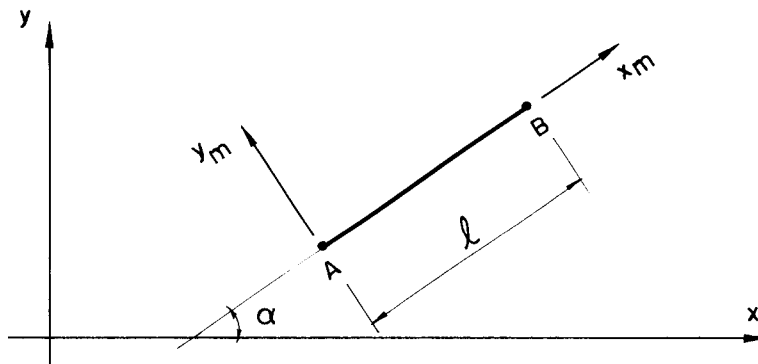


Figura 2.11 — Barra inclinada α em relação ao eixo global x.

Será associado à barra um sistema de eixos (x_m, y_m) tal que x_m coincida com AB. O momento fletor na barra sob um determinado carregamento é dado por:

$$M_f = EJ \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x_m^2} \quad \dots (2.48)$$

Considerando que:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial x_m} + \frac{\partial w}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial x_m} = \frac{\partial w}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial w}{\partial y} \operatorname{sen} \alpha$$

portanto

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x_m^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cos^2 \alpha + 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \operatorname{sen}^2 \alpha \dots (2.49)$$

A energia específica de deformação por flexão vale:

$$W'_f = \frac{1}{2} M_f \frac{\partial^2 w}{\partial x_m^2} \ell = \frac{1}{2} EJ \cdot \ell \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_m^2} \right)^2 \dots (2.50)$$

Substituindo (2.49) em (2.50) vem:

$$W'_f = \frac{1}{2} \rho'_{AB} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cos^2 \alpha + 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \operatorname{sen}^2 \alpha \right]^2 \dots (2.51)$$

onde

$$\rho'_{AB} = (EJ\ell)_{AB} \dots (2.52)$$

O momento torçor na barra é dado pela equação:

$$M_t = G J_t \frac{\partial^2 w}{\partial x_m \partial y_m} \dots (2.53)$$

Considerando que

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x_m \partial y_m} = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} (\cos^2 \alpha - \operatorname{sen}^2 \alpha)$$

A energia específica de deformação por torção vale:

$$W'_t = \frac{1}{2} M_t \frac{\partial^2 w}{\partial x_m \partial y_m} = \frac{1}{2} G J_t \ell \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_m \partial y_m} \right)^2$$

portanto,

$$W'_t = \frac{1}{2} \gamma \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \text{sen } 2\alpha + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha \right]^2 \dots (2.54)$$

onde:

$$\gamma = G J_t \ell$$

7.2 - EQUIVALÊNCIA UTILIZANDO BARRAS BIARTICULADAS

Para que exista equivalência entre a placa e a malha, a equação (2.25) deverá ser satisfeita. Portanto tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{E b^3}{12(1-\nu^2)} \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right\} = \\ = \frac{1}{2} \rho'_{AB} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cos^2 \alpha + 2 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \text{sen} \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \text{sen}^2 \alpha \right]^2 \dots (2.55) \end{aligned}$$

Comparando com o primeiro membro de (2.42) relativa ao estado plano de tensões e com a equação (2.36) (expressão que fornece W'_{AD}), conclui-se que a malha utilizada para representar uma chapa no estado plano de tensões pode ser utilizada para fazer equivalência entre uma placa e uma grelha: a barra da grelha deverá ter rigidez à flexão e rigidez à torção nula ($\gamma_{ij} = 0$). Os parâmetros de rigidez são calculados com a expressão:

$$\rho'_{ij} \div \frac{E b^3}{12(1-\nu^2)} = \rho_{ij} \div \frac{E b}{2(1-\nu^2)}$$

portanto:

$$\rho'_{ij} = (EJ\ell)_{ij} = (ES\ell)_{ij} \cdot \frac{b^2}{6} \dots (2.56)$$

Estes modelos deverão ter coeficiente de Poisson igual a 1/3.

7.3 - EQUIVALÊNCIA UTILIZANDO GRELHA ORTOGONAL

Seja uma placa simulada por uma grelha ortogonal, conforme a Fig. 2.12.

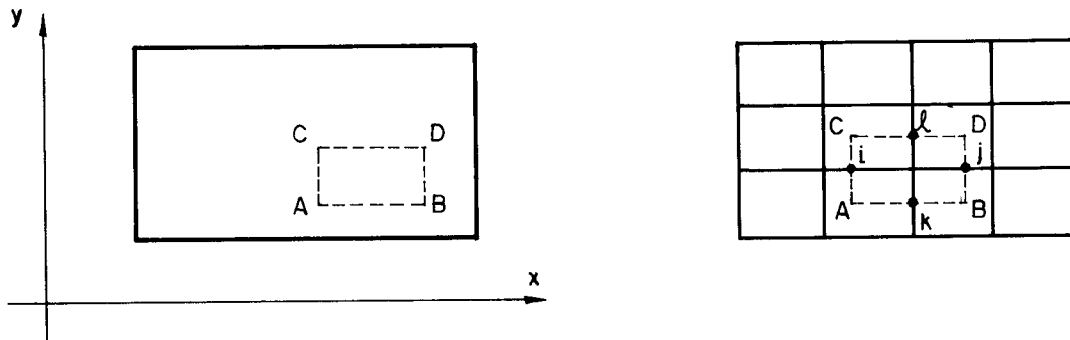


Figura 2.12 — Equivalência utilizando grelha ortogonal

As barras da grelha estão dispostas paralelamente aos eixos x, y e trabalham à flexão e torção. Seja W a energia específica de deformação armazenada em um elemento ABCD da placa. Considerando as hipóteses de cálculo da Teoria das placas e Cascas Delgadas, a equação (2.47) pode ser escrita assim:

$$W \approx \frac{1}{2} D \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 \right\} \quad \dots (2.57)$$

A energia específica de deformação do elemento equivalente vale:

$$W' = (W'_f + W'_t)_{ij} + (W'_f + W'_t)_{kl} \quad \dots (2.58)$$

Fazendo $W = VW'$ e utilizando as equações (2.51) e (2.54) vem:

$$V \cdot D \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 \right\} = \rho'_{ij} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \\ + \rho'_{kl} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + (\gamma_{ij} + \gamma_{kl}) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2$$

portanto,

$$\rho'_{ij} = \rho'_{kl} = \frac{1}{2} (\gamma_{ij} + \gamma_{kl}) = V \cdot D \quad \dots (2.59)$$

Conclui-se que os parâmetros de flexão ρ'_{ij} e ρ'_{kl} ($\rho' = (EJ\ell)$) são bem determinados enquanto os parâmetros de torção γ_{ij} e γ_{kl} ($\gamma = GJ_t\ell$) podem assumir valores arbitrários desde que a equação (2.59) seja satisfeita.

As relações (2.59) foram obtidas por Guyon-Mas_{sonnet} (B4) simulando uma placa contínua de espessura constante a uma grelha.

No caso de lajes esconsas é impossível fazer a simulação com grelha ortogonal. Neste caso a simulação pode ser feita com uma grelha composta por elementos triangulares.

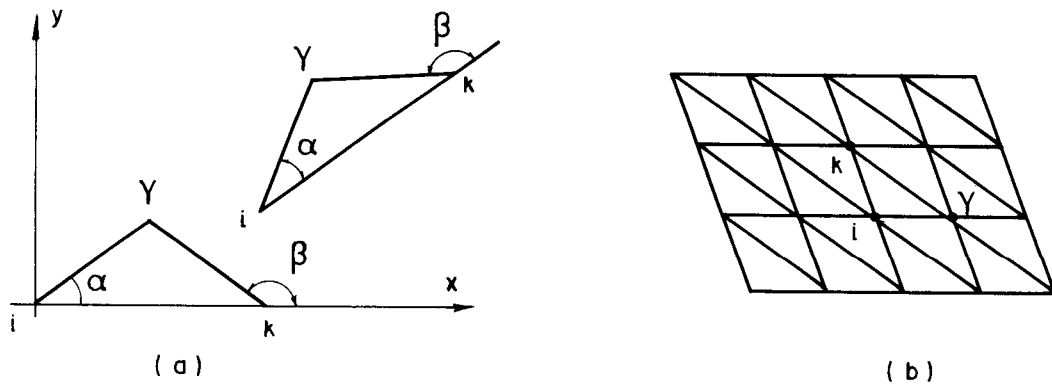


Figura 2.13 - (a) Ângulos entre as barras do elemento triangular e o eixo x. (b) malha com elementos triangulares

Seguindo a marcha de cálculo utilizada no elemento retangular obtêm-se as expressões:

$$\rho'_{ij} = \frac{(1+\nu) \cos z}{\text{sen} \alpha \cdot \text{sen} y} V \cdot D$$

$$\gamma_{ij} = \rho'_{ij} + \frac{4 \nu \cos 2z}{\text{sen} 2 \alpha \cdot \text{sen} 2 y} V \cdot D \quad \dots (2.60)$$

onde:

$$z = \pi - \beta \quad \text{e} \quad y = \beta - \alpha$$

8. MALHAS CUJOS ELEMENTOS SÃO VÁLIDOS PARA QUALQUER VALOR DO COEFICIENTE DE POISSON

Os elementos estudados até aqui são válidos para determinados valores do coeficiente de Poisson. Este fato, na prática, não limita o uso destes elementos como foi explicado anteriormente, porém, querendo ser rigoroso deve-se utilizar outros elementos para simular estruturas com coeficiente de Poisson diferentes daqueles obtidos nas deduções anteriores.

8.1 - ENERGIA DE DEFORMAÇÃO DE UMA VIGA EM BALANÇO

Seja uma viga AB em balanço, submetida a uma força de tração N e uma carga concentrada P normal ao seu eixo, aplicadas na extremidade B. Sejam u e v as componentes do deslocamento \vec{BB}' no plano (xy) Fig. 2.14.

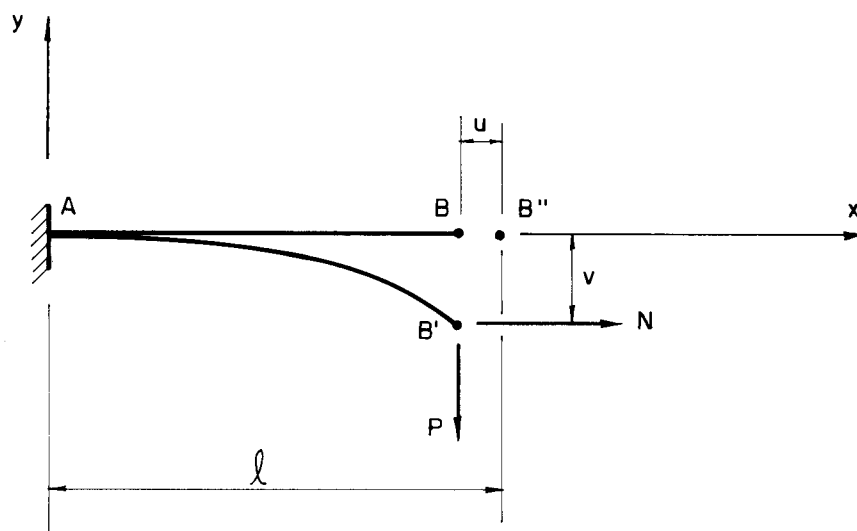


Figura 2.14 — Vigas em balanço submetida as cargas concentradas N e P .

Nestas condições a energia específica de deformação da barra AB vale:

$$W' = W'_N + W'_P \quad \dots (2.62)$$

onde:

$$W'_N = \frac{1}{2} N \cdot u = \frac{1}{2} ES \ell \left(\frac{u}{\ell}\right)^2 = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{u}{\ell}\right)^2 \quad \dots (2.63)$$

$$W'_P = \frac{1}{2} P \cdot v = \frac{1}{2} \frac{3EJ}{\ell} \left(\frac{v}{\ell}\right)^2 = \frac{1}{2} \eta \left(\frac{v}{\ell}\right)^2 \quad \dots (2.64)$$

sendo

$$\eta = \frac{3EJ}{\ell} \quad \dots (2.65)$$

$$P = \frac{3EJ}{\ell^3} v \quad \dots (2.66)$$

O momento de engastamento vale:

$$M_{AB} = \frac{3EJ}{\ell^2} v \quad \dots (2.67)$$

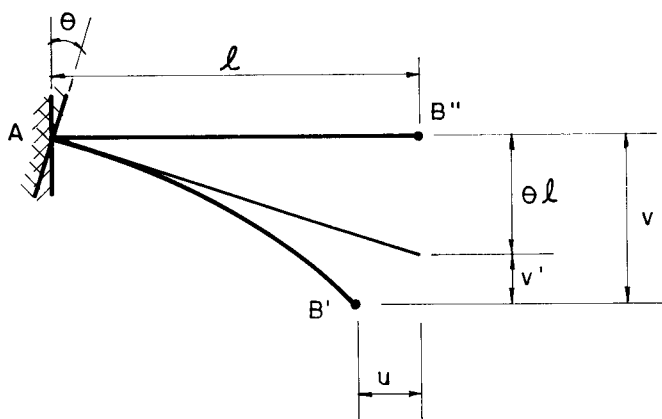


Figura 2.15 - Giro θ no apoio da viga em balanço

Se ocorrer um giro θ no apoio (Fig. 2.15) a flecha v' pode ser calculada com as expressões:

$$B''B' = v = v' + \theta \ell$$

portanto

$$v' = v - \theta \ell \quad \dots (2.68)$$

logo,

$$W'_P = \frac{1}{2} \eta \left(\frac{v'}{\ell}\right)^2 = \frac{1}{2} \eta \left(\frac{v-\theta\ell}{\ell}\right)^2 \quad \dots (2.69)$$

O momento de engastamento valerá:

$$M_{AB} = \frac{3EJ}{\ell^2} (v-\theta\ell) \quad \dots (2.70)$$

Se a extremidade A sofrer um deslocamento de componentes u_A e v_A tem-se:

$$N = ES \frac{u_B - u_A}{\ell} \quad \dots (2.71)$$

$$W'_N = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{u_B - u_A}{\ell}\right)^2 \quad \dots (2.72)$$

$$P = \frac{3EJ}{\ell^3} (v_B - v_A - \theta\ell) \quad \dots (2.73)$$

$$W'_P = \frac{1}{2} \eta \left(\frac{v_B - v_A - \theta\ell}{\ell}\right)^2 \quad \dots (2.74)$$

$$M_{AB} = \frac{3EJ}{\ell^2} (v_B - v_A - \theta\ell) \quad \dots (2.75)$$

8.2 - ESTADO PLANO DE DEFORMAÇÃO

A.1) Malha composta por elementos retangulares

Seja uma malha composta por elementos retangulares formados por barras articuladas nos vértices e um nó rígido na intersecção das diagonais (Fig. 2.16). Nestas

condições, as barras AB, BD, DC e CA trabalham à compressão ou tração. As diagonais trabalham à flexão, compressão ou tração e força cortante.

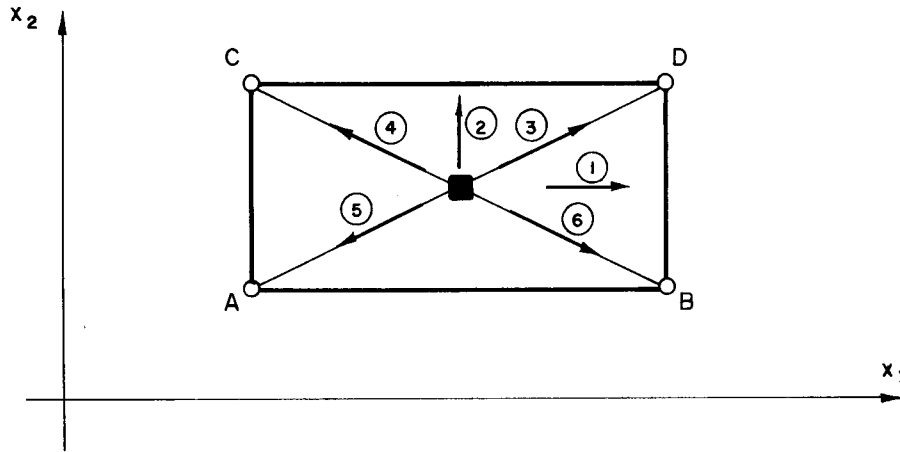


Figura 2.16 — Elemento retangular composto por barras articuladas e nó rígido na interseção das diagonais

Sejam as direções 1, 2, 3, ..., 6, assinaladas Fig. 2.16. Substituindo x_1' e u_2' da equação (2.7) por s e v respectivamente, obtêm-se as equações:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_3}{\partial s_3} &= (e_{22} - e_{11}) \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{coss} \alpha + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \cos^2 \alpha - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \operatorname{sen}^2 \alpha \\ \frac{\partial v_4}{\partial s_4} &= -(e_{22} - e_{11}) \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{coss} \alpha + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \cos^2 \alpha - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \operatorname{sen}^2 \alpha \\ \frac{\partial v_5}{\partial s_5} &= (e_{22} - e_{11}) \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{coss} \alpha + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \cos^2 \alpha - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \operatorname{sen}^2 \alpha \\ \frac{\partial v_6}{\partial s_6} &= -(e_{22} - e_{11}) \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{coss} \alpha + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \cos^2 \alpha - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \operatorname{sen}^2 \alpha \end{aligned} \quad \dots (2.76)$$

Somando as equações (2.76) vem:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_{\text{médio}} = \frac{1}{4} \sum_{i=3}^6 \frac{\partial v_i}{\partial s_i} = \frac{\partial u_2}{\partial s_i} = \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \cos^2 \alpha - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \operatorname{sen}^2 \alpha \quad (2.77)$$

portanto,

$$\frac{\partial v'_i}{\partial s_i} = \frac{\partial v_i}{\partial s_i} - \left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_{\text{m\u00e9dio}} \quad \dots (2.78)$$

A express\u00e3o (2.78) \u00e9 an\u00e1loga \u00e0 equa\u00e7\u00e3o (2.68), obtida do estudo da energia espec\u00edfica de deforma\u00e7\u00e3o para uma barra em balan\u00e7o. Das equa\u00e7\u00f5es (2.76), (2.77) e (2.78) conclui-se que:

$$\frac{\partial v'_3}{\partial s_3} = -\frac{\partial v'_4}{\partial s_4} = \frac{\partial v'_5}{\partial s_5} = -\frac{\partial v'_6}{\partial s_6} = (e_{22} - e_{11}) \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha \quad (2.79)$$

Por outro lado, a energia de deforma\u00e7\u00e3o de um elemento cont\u00ednuo no plano (x_1, x_2) vale (equa\u00e7\u00e3o 2.16):

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \lambda \left[e_{11} + e_{22} \right]^2 + \mu \left[(e_{11})^2 + (e_{22})^2 + 2(e_{12})^2 \right] = \\ &= a_1 (\varepsilon_1)^2 + a_2 (\varepsilon_2)^2 + a_3 (\varepsilon_3)^2 + a_3 (\varepsilon_4)^2 + \\ &\quad + a_4 (e_{22} - e_{11})^2 \text{sen}^2 \alpha \cdot \text{cos}^2 \alpha \quad \dots (2.80) \end{aligned}$$

onde a_i s\u00e3o coeficientes a determinar. Utilizando-se a equa\u00e7\u00e3o (2.6) obt\u00eam-se:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= e_{11} \\ \varepsilon_2 &= e_{22} \\ \varepsilon_3 &= e_{11} \cdot \text{cos}^2 \alpha + e_{22} \cdot \text{sen}^2 \alpha + 2e_{12} \cdot \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha \\ \varepsilon_4 &= e_{11} \cdot \text{cos}^2 \alpha + e_{22} \cdot \text{sen}^2 \alpha - 2e_{12} \cdot \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha \quad \dots (2.81) \end{aligned}$$

Substitu\u00edndo estes valores na equa\u00e7\u00e3o (2.80) vem:

$$\begin{aligned}
 W &= \left(\frac{1}{2} \lambda + \mu\right) \left[(e_{11})^2 + (e_{22})^2 \right] + \lambda e_{11} \cdot e_{22} + 2 \mu (e_{12})^2 = \\
 &= \left[a_1 + 2a_3 \cos^4 \alpha + a_4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \right] (e_{11})^2 + \left[a_2 + 2a_3 \sin^4 \alpha + \right. \\
 &\quad \left. + a_4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \right] (e_{22})^2 + \left[4a_3 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha - \right. \\
 &\quad \left. + 2a_4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \right] e_{11} e_{22} + 8a_3 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha (e_{12})^2 \\
 &\quad \dots (2.82)
 \end{aligned}$$

Donde se obtêm por comparação:

$$a_1 = \lambda + \frac{1}{2} \mu (1 - \cotg^2 \alpha) \quad \dots (2.83)$$

$$a_2 = \lambda + \frac{1}{2} \mu (1 - \tg^2 \alpha) \quad \dots (2.84)$$

$$a_3 = \frac{\mu}{4 \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} \quad \dots (2.85)$$

$$a_4 = \frac{\mu - \lambda}{2 \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} \quad \dots (2.86)$$

A energia de deformação do elemento da Fig. 2.15 pode ser obtida "discretizando-se" a equação (2.16):

$$\begin{aligned}
 W' &= \frac{1}{2} a_1 \left[\left(\frac{\mu_B - \mu_A}{AB} \right)^2 + \left(\frac{\mu_D - \mu_C}{CD} \right)^2 \right] + \frac{1}{2} a_2 \left[\left(\frac{\mu_C - \mu_A}{AC} \right)^2 + \left(\frac{\mu_D - \mu_B}{BD} \right)^2 \right] + \\
 &\quad + \frac{1}{2} a_3 \left[\left(\frac{\mu_D - \mu_H}{DH} \right)^2 + \left(\frac{\mu_A - \mu_H}{AH} \right)^2 + \left(\frac{\mu_C - \mu_H}{CH} \right)^2 + \left(\frac{\mu_B - \mu_H}{BH} \right)^2 \right] + \\
 &\quad + \frac{1}{4} a_4 \left[\left(\frac{v'_D - v'_H}{DH} \right)^2 + \left(\frac{v'_C - v'_H}{CH} \right)^2 + \left(\frac{v'_A - v'_H}{AH} \right)^2 + \left(\frac{v'_B - v'_H}{BH} \right)^2 \right] \\
 &\quad \dots (2.87)
 \end{aligned}$$

Para calcular os esforços provenientes das deformações no elemento ABCDH, será utilizada a equação (2.70) obtendo-se (Fig. 2.17):

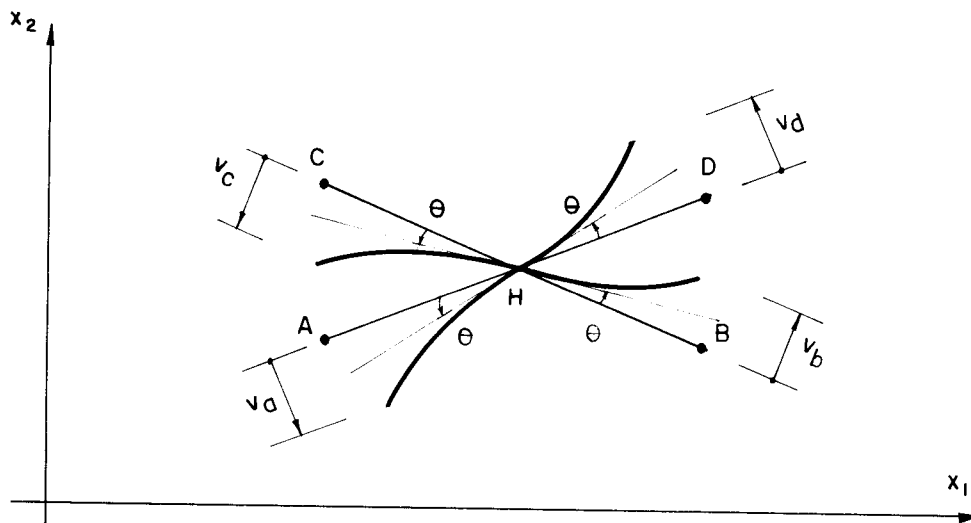


Figura 2.17 — Deformações do elemento ABCDH.

$$M_{HA} = \frac{3EJ}{b^2} (v_A - b\theta)$$

$$M_{HB} = \frac{3EJ}{b^2} (v_B - b\theta)$$

$$M_{HC} = \frac{3EJ}{b^2} (v_C - b\theta)$$

$$M_{HD} = \frac{3EJ}{b^2} (v_D - b\theta) \quad \dots (2.88)$$

onde b é igual à metade do comprimento da diagonal do retângulo. Como o nó H deve estar em equilíbrio, vem:

$$M_{HA} + M_{HB} + M_{HC} + M_{HD} = \frac{3EJ}{b} (v_A + v_B + v_C + v_D - 4a\theta) = 0$$

portanto:

$$b\theta = v_{\text{médio}} = \frac{1}{4} (v_A + v_B + v_C + v_D) \quad \dots (2.89)$$

onde $b\theta$ representa a média dos valores dos deslocamentos nas extremidades ABCD. Nestas condições, pode-se escrever:

$$v' = v - v_m = v - b\theta \quad \dots (2.90)$$

Esta expressão é análoga à equação (2.78).

Portanto, a energia específica de deformação do elemento equivalente pode ser calculada usando as equações (2.72) e (2.74).

$$\begin{aligned} W' = & \frac{1}{2} \rho_{AB} \left[\left(\frac{\mu_B - \mu_A}{AB} \right)^2 + \left(\frac{\mu_D - \mu_C}{CD} \right)^2 \right] + \frac{1}{2} \rho_{AC} \left[\left(\frac{\mu_C - \mu_A}{AC} \right)^2 \right. \\ & \left. + \left(\frac{\mu_D - \mu_B}{BD} \right)^2 \right] + \frac{1}{2} \rho_{HA} \left[\left(\frac{\mu_A - \mu_H}{AH} \right)^2 + \left(\frac{\mu_D - \mu_H}{DH} \right)^2 + \left(\frac{\mu_C - \mu_H}{CH} \right)^2 + \right. \\ & \left. + \left(\frac{\mu_B - \mu_H}{BH} \right)^2 \right] + \frac{1}{2} \eta_{HA} \left[\left(\frac{v'_A - v'_H}{AH} \right)^2 + \left(\frac{v'_D - v'_H}{DH} \right)^2 + \left(\frac{v'_C - v'_H}{CH} \right)^2 + \right. \\ & \left. + \left(\frac{v'_B - v'_H}{BH} \right)^2 \right] \quad \dots (2.91) \end{aligned}$$

Igualando a energia de deformação do elemento de chapa com o elemento equivalente, vem:

$$W = VW'$$

onde V é o volume do elemento contido no contorno ABCD.

Comparando as equações (2.91) e (2.87), vem:

$$\rho_{AB} = V \cdot b_1 = V \left[\lambda + \frac{1}{2} \mu (1 - \cotg^2 \alpha) \right]$$

$$\rho_{AC} = V \cdot b_2 = V \left[\lambda + \frac{1}{2} \mu (1 - \tg^2 \alpha) \right]$$

$$\rho_{AH} = V \cdot b_3 = V \frac{\mu}{4 \sen^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha}$$

$$\eta_{AH} = \frac{1}{2} v b_4 = v \frac{(\mu - \lambda)}{4 \operatorname{sen}^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} \quad \dots (2.92)$$

Estas são as características geométricas do elemento retangular. Este elemento será utilizado no desenvolvimento do sistema que simula uma chapa através de um pórtico plano.

A.2) Malhas compostas por elementos formados por losangos.

O elemento com forma de losango é composto por barras articuladas nos vértices e com um nó rígido na intersecção das diagonais, conforme está mostrado na Fig. 2.18.

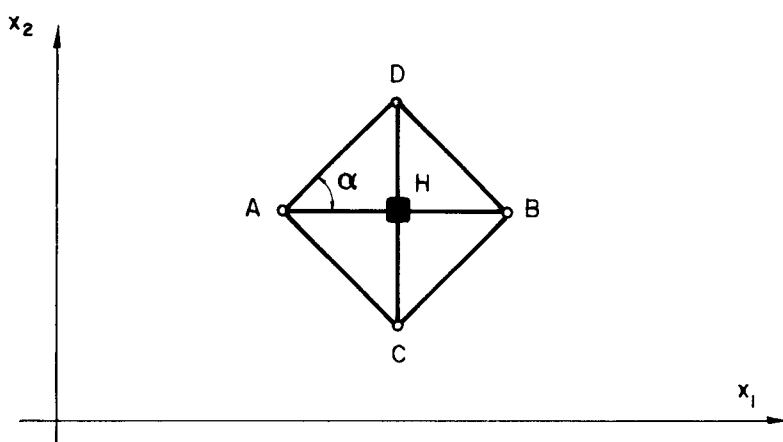


Figura 2.18 — Elemento com forma de losango

Seguindo a marcha de cálculo utilizada para determinar as características geométricas do elemento retangular, obtêm-se:

$$\rho_{AD} = v \frac{\lambda}{4 \operatorname{sen}^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha}$$

$$\rho_{HA} = \frac{1}{2} v \left[\lambda + 2\mu - \lambda \cotg^2 \alpha \right]$$

$$\rho_{HD} = \frac{1}{2} v \left[\lambda + 2\mu - \lambda \operatorname{tg}^2 \alpha \right]$$

$$\frac{\eta_{HB} \cdot \eta_{HD}}{\eta_{HB} + \eta_{HD}} = \frac{1}{2} v (\mu - \lambda) \quad \dots (2.93)$$

8.3 - ESTADO PLANO DE TENSÕES

A energia específica de deformação para uma chapa submetida a um estado plano de tensões é dada pela expressão (2.42). Seguindo a marcha de cálculo utilizada no ítem 8.2, obtém-se as características elásticas e geométricas dos elementos que compõem a malha equivalente.

A.1) Malha composta por elementos retangulares
(Fig. 2.16)

$$\rho_{AB} = \frac{1}{2} v \frac{\mu}{2(\lambda + 2\mu)} \left[5\lambda + 2\mu - (\lambda + 2\mu) \operatorname{cotg}^2 \alpha \right]$$

$$\rho_{AC} = \frac{1}{2} v \frac{\mu}{2(\lambda + 2\mu)} \left[5\lambda + 2\mu - (\lambda + 2\mu) \operatorname{tg}^2 \alpha \right]$$

$$\rho_{HA} = \frac{1}{4} v \frac{\mu}{4 \operatorname{sen}^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha}$$

$$\eta_{HA} = \frac{1}{4} v \frac{\mu}{\operatorname{sen}^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} \frac{2\mu - \lambda}{\lambda + 2\mu} \quad \dots (2.94)$$

A.2) Malha composta por elementos com forma de losango (Fig. 2.18)

$$\rho_{AD} = \frac{1}{2} v \frac{\lambda \mu}{(\lambda + 2\mu)} \frac{1}{\operatorname{sen}^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha}$$

$$\rho_{HA} = v \frac{\mu}{\lambda + 2\mu} \left[2(\lambda + \mu) - \lambda \operatorname{cotg}^2 \alpha \right]$$

$$\rho_{HD} = v \frac{\mu}{\lambda + 2\mu} \left[2(\lambda + \mu) - \lambda \operatorname{tg}^2 \alpha \right]$$

$$\frac{\eta_{HB} \cdot \eta_{HD}}{\eta_{HB} + \eta_{HD}} = \frac{1}{2} v \frac{2\mu - \lambda}{\lambda + 2\mu} \mu \quad \dots (2.95)$$

O estado plano de tensões pode ser resolvido utilizando-se o estado plano de deformações, desde que sejam utilizados coeficientes de Lamé, dados pelas expressões:

$$\mu' = \mu$$

$$\lambda' = \frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} \quad \dots (2.96)$$

As equações (2.96) foram obtidas comparando-se as equações ((2.34) e (2.42) que permitem calcular a energia específica de deformação no estado plano de deformação e de tensão, respectivamente.

8.4 - ELEMENTOS TRIDIMENSIONAIS

A teoria de equivalência pode ser utilizada no estudo de corpos com três dimensões. Neste caso, usa-se elementos de forma cúbica com todos os vértices articulados em um nó rígido na intersecção das diagonais (Fig. 2.19).

As características elásticas e geométricas das barras, podem ser determinadas conforme foi feito no ítem 8.2, e são dadas pelas equações:

$$\rho_{AF} \cdot (\beta_1 \cdot \beta_3)^2 = \rho_{AC} (\delta_1 \cdot \delta_2)^2 = \rho_{AH} (\gamma_2 \cdot \gamma_3)^2 = 0,25 \mu v$$

$$\eta_{AF} \cdot (\beta_1 \cdot \beta_2)^2 = \eta_{AC} (\delta_1 \cdot \delta_2)^2 = \eta_{AH} (\gamma_2 \cdot \gamma_3)^2 = v \cdot \frac{\mu - \lambda}{4}$$

$$\rho_{AB} = \left\{ 5\lambda - \mu \left[2 + \left(\frac{\delta_1}{\delta_2} \right)^2 + \left(\frac{\beta_1}{\beta_1} \right)^2 \right] \right\} \frac{v}{4} \quad \dots (2.97)$$

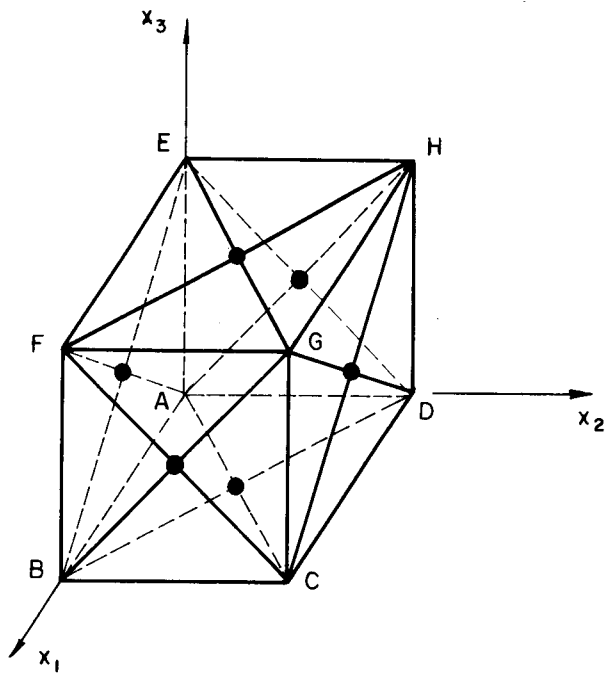


Figura 2.19 — Elemento cúbico

onde β_i , δ_i e γ_i são os cossenos diretores de AF, AC e AH, respectivamente.

9. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A teoria de equivalência estabelece uma igualdade de campos de deformação de dois corpos. Essa hipótese permite calcular as características elásticas e geométricas da estrutura equivalente.

Tais características nem sempre têm uma interpretação física. Seja, por exemplo, a segunda das equações (2.39), que permitem calcular a característica elástica de barra AC (Fig. 2.7), pertencente ao elemento que simula uma chapa a um pórtico:

$$\rho_{AC} = (ESl)_{AC} = 0,5 \nu \mu (3 - \text{tg}^2 \alpha)$$

Para $\alpha > \pi/3$ ter-se-á $\rho_{AC} < 0$, o que não invalida a simulação feita.

O cálculo dos esforços na estrutura real pode ser feito utilizando-se as diferenças finitas, podendo-se utilizar também os processos aproximados descritos a seguir.

Considere a simulação de uma placa por uma grelha ortogonal estudada no ítem 7.3. Os momentos fletores médios ao longo das barras ij e kl , obtidos do cálculo da grelha ortogonal, valem M_{ij} e M_{kl} . Utilizando a resistência dos materiais pode-se deduzir as equações:

$$\begin{aligned} \left(\frac{M}{EJ}\right)_{ij} &= \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \left(\frac{M}{EJ}\right)_{kl} &= \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{aligned} \quad \dots (2.98)$$

A equação (2.59) permite escrever:

$$(EJ\ell)_{ij} = VD = \ell_{ij} \cdot \ell_{kl} \cdot D$$

portanto:

$$\begin{aligned} (EJ)_{ij} &= \ell_{kl} \cdot D \\ (EJ)_{kl} &= \ell_{ij} \cdot D \end{aligned} \quad \dots (2.99)$$

A teoria das placas delgadas permite escrever:

$$\begin{aligned} M_x &= D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \\ M_y &= D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] \end{aligned} \quad \dots (2.100)$$

Substituindo as equações (2.98) e (2.99) em (2.100) obtêm-se:

$$M_x = \left[\begin{array}{c} \frac{M_{ij}}{l_{kl}} + \nu \frac{M_{kl}}{l_{ij}} \end{array} \right]$$

$$M_y = \left[\begin{array}{c} \frac{M_{kl}}{l_{ij}} + \nu \frac{M_{ij}}{l_{kl}} \end{array} \right] \dots (2.101)$$

No estado plano de tensões os esforços podem ser calculados a partir do campo de deformações obtido na simulação. Para isso considere uma chapa submetida a um estado plano de tensões e simulado por uma malha com elementos retangulares (Fig. 2.20).

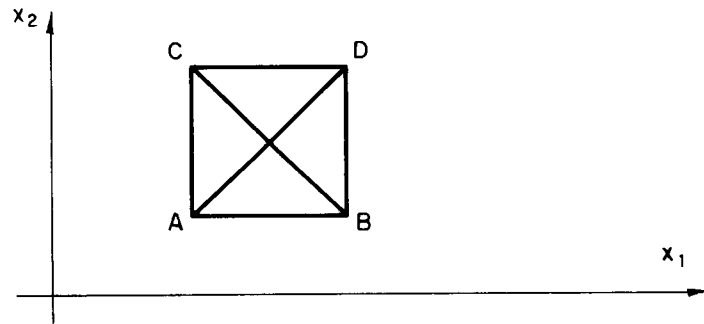


Figura 2.20—Elemento com forma retangular utilizado para simular uma chapa

A lei de Hooke permite escrever:

$$\left\{ \begin{array}{c} e_{11} \\ e_{22} \\ 2e_{12} \end{array} \right\} = \left[\begin{array}{ccc} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1-\nu) \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{array} \right\} \dots (2.102)$$

utilizando a equação (2.6) tem-se:

$$e_{11} = \frac{1}{2} (\epsilon_{AB} + \epsilon_{CD}) = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{N}{ES} \right)_{AB} + \left(\frac{N}{ES} \right)_{CD} \right]$$

$$e_{22} = \frac{1}{2} (\epsilon_{AC} + \epsilon_{BD}) = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{N}{ES} \right)_{AC} + \left(\frac{N}{ES} \right)_{BD} \right]$$

$$e_{12} = \frac{1}{4 \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{cos} \alpha} (\varepsilon_{AD} - \varepsilon_{BC}) = \frac{1}{2 \operatorname{sen} 2\alpha} \left[\left(\frac{N}{ES} \right)_{AD} - \right. \\ \left. + \left(\frac{N}{ES} \right)_{BC} \right] \dots (2.103)$$

A comparação entre as equações (2.103) e (2.102) permite escrever o campo de tensões σ_{ij} em função dos esforços N nas barras do elemento equivalente.

CAPÍTULO III

DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE GRELHA EQUIVALENTE

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será estudado o modelo de grelha que será utilizado para a resolução numérica da equação de Lagrange. O modelo pode ser usado no cálculo de placas com qualquer coeficiente de Poisson.

Seja um elemento de placa retangular com os lados medindo l e αl e espessura h ; este retângulo será representado por seis barras no modelo de grelha equivalente com a disposição mostrada na Fig. 3.1(b).

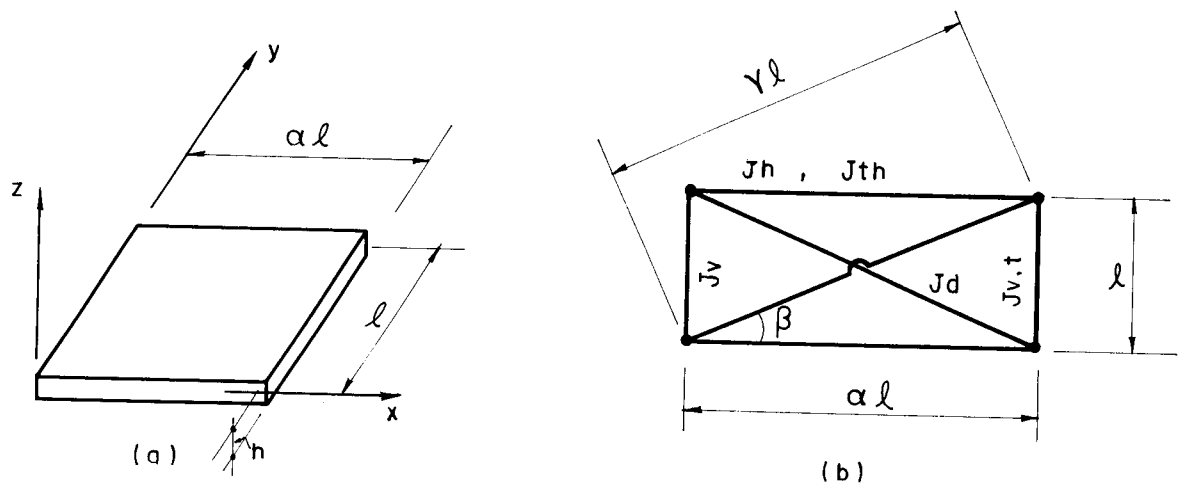


Figura 3.1 — (a) Elemento de placa. (b) Elemento de grelha equivalente

As barras que compõem as diagonais têm somente rigidez à flexão J_d . As outras barras têm rigidez à flexão e à torção J, J_t . Serão consideradas intersecções (pontos nodais) nos vértices do elemento conforme está mostrado na Fig. 3.1(b).

Este elemento de grelha com seis graus de liberdade pode ser utilizado para simular o elemento de placa conforme será estudado a seguir.

2. ESTUDO DO MODELO DE PLACA

Considere o modelo de placa da Fig. 3.1(a): aplicando-se momentos de intensidade M_1 nos lados de comprimento l , conforme está indicado na Fig. 3.2, pode-se obter a rotação na direção do momento aplicado com a expressão:

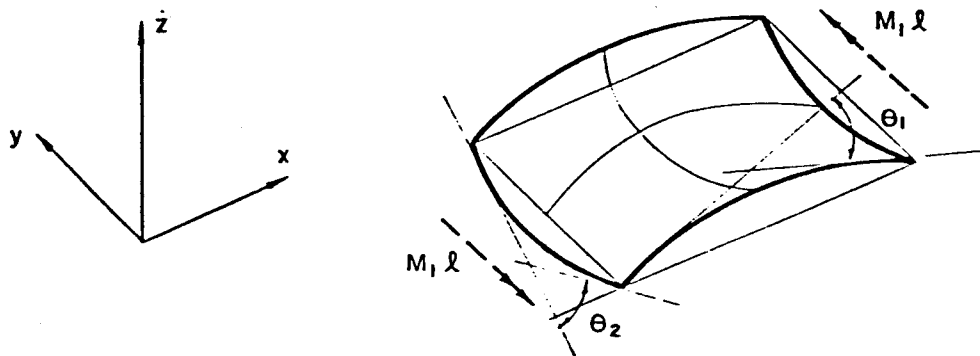


Fig. 2 — Momento aplicado na borda do elemento de placa

$$\theta_1 = \frac{\alpha l M_1}{E \left(\frac{h^3}{12} \right)} \quad \dots (3.1)$$

A rotação na direção ortogonal (Fig. 3.2), valerá:

$$\theta_2 = \frac{\nu l M_1}{E \left(\frac{h^3}{12} \right)} \quad \dots (3.2)$$

Analogicamente, quando se aplica um momento de intensidade M_2 conforme está mostrado na Fig. 3.3, pode-se

obter a rotação em relação ao eixo x com a expressão:

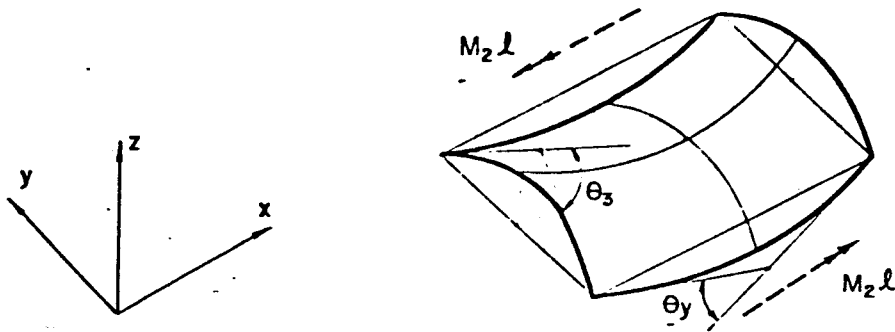


Fig. 3 — Momento aplicado na borda do elemento de placa

$$\theta_3 = \frac{\ell M_2}{E \left(\frac{h^3}{12}\right)} \quad \dots (3.3)$$

a rotação em relação ao eixo y vale:

$$\theta_4 = \frac{\nu \alpha \ell M_2}{E \left(\frac{h^3}{12}\right)} \quad \dots (3.4)$$

Aplicando-se momentos volventes de intensidade H, de tal forma que as bordas permaneçam planas (Fig. 3.4), pode-se calcular a rotação θ_5 com a expressão:

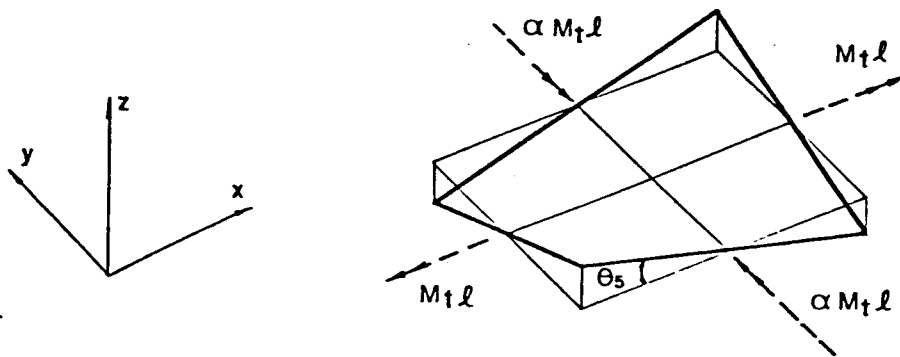


Fig. 4 — Momento torçor aplicado nas bordas do elemento de placa

$$\theta_5 = \frac{\alpha \ell H (1 + \nu)}{E \left(\frac{h^3}{12}\right)} \quad \dots (3.5)$$

3. ESTUDO DO ELEMENTO DE GRELHA EQUIVALENTE

Seja o elemento de grelha composto por seis barras com a disposição mostrada Fig. 3.1(b). A matriz de rigidez de uma barra de grelha no sistema local de referência é representada pela expressão (1.15) se não for prismática e pela expressão (1.18) se for prismática. Supondo que a barra seja prismática, a matriz de rigidez no sistema global de referência pode ser obtida com a equação (1.26).

Na expressão (3.6) tem-se a matriz de rigidez da barra no sistema global de eixos.

Para calcular a matriz de rigidez do elemento de grelha deve-se somar as contribuições de todas as barras que o compõem (Fig. 3.5).

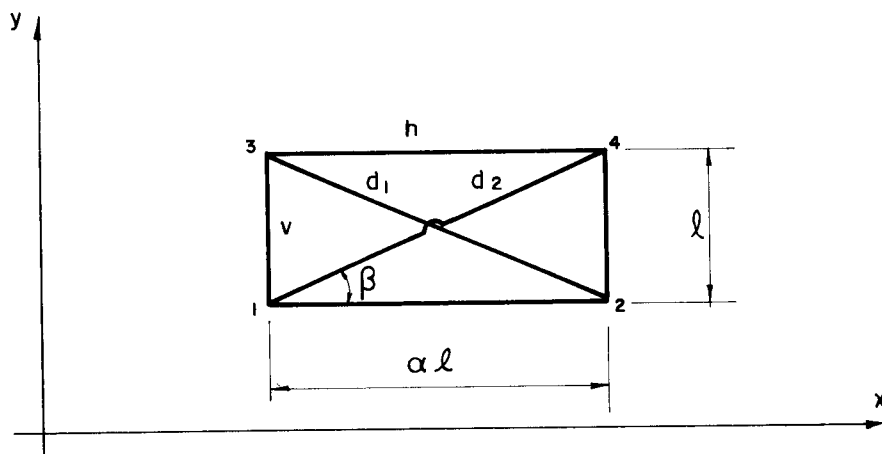


Figura 3.5 — Elemento de grelha equivalente.

A referência às barras do elemento será feita utilizando-se a seguinte notação (Fig. 3.5):

- a) Barra do tipo h são as barras paralelas ao eixo x do sistema global.
- b) Barra do tipo v são as barras paralelas ao eixo y do sistema global.
- c) Barra do tipo d_1 é a diagonal com a inclinação $180 - \beta$.
- d) Barra do tipo d_2 é a diagonal com inclinação β .

$$\begin{bmatrix}
 \frac{1}{\lambda}(G J_t \cos^2 \beta + 4 E J \text{sen}^2 \beta) & \frac{\cos \beta}{\lambda} (G J_t - 4 E J) & \frac{6 E J}{\lambda^2} \text{sen} \beta & \frac{1}{\lambda} (-G J_t \cos^2 \beta + 2 E J \text{sen}^2 \beta) & -\frac{\cos \beta}{\lambda} (G J_t + 2 E J) & -\frac{6 E J}{\lambda^2} \text{sen} \beta \\
 \frac{\cos \beta}{\lambda} (G J_t - 4 E J) & \frac{1}{\lambda} (G J_t \text{sen}^2 \beta + 4 E J \cos^2 \beta) & \frac{6 E J}{\lambda^2} \cos \beta & -\frac{\cos \beta}{\lambda} (G J_t + 2 E J) & \frac{1}{\lambda} (-G J_t \text{sen}^2 \beta + 2 E J \cos^2 \beta) & \frac{6 E J}{\lambda^2} \cos \beta \\
 \frac{6 E J}{\lambda^2} \text{sen} \beta & \frac{6 E J}{\lambda^2} \cos \beta & \frac{12 E J}{\lambda^3} & \frac{6 E J}{\lambda^2} \text{sen} \beta & -\frac{6 E J}{\lambda^2} \cos \beta & -\frac{12 E J}{\lambda^3} \\
 \frac{1}{\lambda} (-G J_t \cos^2 \beta + 2 E J \text{sen}^2 \beta) & -\frac{\cos \beta}{\lambda} (G J_t + 2 E J) & \frac{6 E J}{\lambda^2} \text{sen} \beta & \frac{1}{\lambda} (G J_t \cos \beta + 4 E J \text{sen} \beta) & \frac{\cos \beta}{\lambda} (G J_t - 4 E J) & \frac{6 E J}{\lambda^2} \text{sen} \beta \\
 -\frac{\cos \beta}{\lambda} (G J_t + 2 E J) & \frac{1}{\lambda} (-G J_t \text{sen}^2 \beta + 2 E J \cos^2 \beta) & -\frac{6 E J}{\lambda^2} \cos \beta & \frac{\cos \beta}{\lambda} (G J_t - 4 E J) & \frac{1}{\lambda} (G J_t \text{sen}^2 \beta + 4 E J \cos^2 \beta) & \frac{6 E J}{\lambda^2} \cos \beta \\
 -\frac{6 E J}{\lambda^2} \text{sen} \beta & \frac{6 E J}{\lambda^2} \cos \beta & -\frac{12 E J}{\lambda^3} & \frac{6 E J}{\lambda^2} \text{sen} \beta & \frac{6 E J}{\lambda^2} \cos \beta & \frac{12 E J}{\lambda^3}
 \end{bmatrix} = \dots \dots (3.6)$$

A matriz de rigidez das barras do tipo h no sistema global de referência pode ser calculada fazendo-se $\beta = 0$ na equação (3.6).

$$\left[K^G \right]_h = \begin{bmatrix} \frac{GJ_{t,h}}{\alpha l} & 0 & 0 & -\frac{GJ_{t,h}}{\alpha l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4EJ_h}{\alpha l} & -\frac{6EJ_h}{\alpha^2 l^2} & 0 & \frac{2EJ_h}{\alpha l} & \frac{6EJ_h}{\alpha^2 l^2} \\ 0 & -\frac{6EJ_h}{\alpha^2 l^2} & \frac{12EJ_h}{\alpha^3 l^3} & 0 & -\frac{6EJ_h}{\alpha^2 l^2} & -\frac{12EJ_h}{\alpha^3 l^3} \\ -\frac{GJ_{t,h}}{\alpha l} & 0 & 0 & \frac{GJ_{t,h}}{\alpha l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2EJ_h}{\alpha l} & -\frac{6EJ_h}{\alpha^2 l^2} & 0 & \frac{4EJ_h}{\alpha l} & \frac{6EJ_h}{\alpha^2 l^2} \\ 0 & \frac{6EJ_h}{\alpha^2 l^2} & -\frac{12EJ_h}{\alpha^3 l^3} & 0 & \frac{6EJ_h}{\alpha^2 l^2} & \frac{12EJ_h}{\alpha^3 l^3} \end{bmatrix} \dots (3.7)$$

A matriz de rigidez das barras do tipo v pode ser obtida da equação (3.6), fazendo-se $\beta = 90^\circ$:

$$\left[K^G \right]_v = \begin{bmatrix} \frac{4EJ_v}{l} & 0 & \frac{6EJ_v}{l^2} & \frac{2EJ_v}{l} & 0 & -\frac{6EJ_v}{l^2} \\ 0 & \frac{GJ_{t,v}}{l} & 0 & 0 & -\frac{GJ_{t,v}}{l} & 0 \\ \frac{6EJ_v}{l^2} & 0 & \frac{12EJ_v}{l^3} & \frac{6EJ_v}{l^2} & 0 & -\frac{12EJ_v}{l^3} \\ \frac{2EJ_v}{l} & 0 & \frac{6EJ_v}{l^2} & \frac{4EJ_v}{l} & 0 & -\frac{6EJ_v}{l^2} \\ 0 & -\frac{GJ_{t,v}}{l} & 0 & 0 & \frac{GJ_{t,v}}{l} & 0 \\ -\frac{6EJ_v}{l^2} & 0 & -\frac{12EJ_v}{l^3} & -\frac{6EJ_v}{l^2} & 0 & \frac{12EJ_v}{l^3} \end{bmatrix} \dots (3.8)$$

A matriz de rigidez da barra do tipo d_1 pode ser calculada fazendo-se $\text{sen}\beta = 1/\gamma$ e $\text{cos}\beta = \alpha/\gamma$ na equação (3.6):

$$\left[K^G \right]_{d_1} = \begin{bmatrix} \frac{4EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{4\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{2EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{2\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{6EJ_d}{\beta^3 l^2} \\ \frac{4\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{4\alpha^2 EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{2\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{2\alpha^2 EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} \\ \frac{-6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{12EJ_d}{\beta^3 l^3} & \frac{-6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-12EJ_d}{\beta^3 l^3} \\ \frac{2EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{2\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{4EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{4\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{6EJ_d}{\beta^3 l^2} \\ \frac{2\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{2\alpha^2 EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{4\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{4\alpha^2 EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} \\ \frac{6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-12EJ_d}{\beta^3 l^3} & \frac{6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{12EJ_d}{\beta^3 l^3} \end{bmatrix} \dots (3.9)$$

A matriz de rigidez da barra tipo d_2 do elemento de grelha equivalente pode ser obtida da equação (3.6) fazendo-se $\text{sen}\beta = 1/\gamma$ e $\text{cos}\beta = \alpha/\gamma$.

$$\left[K^G \right]_{d_2} = \begin{bmatrix} \frac{4EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-4\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{2EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-2\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-6EJ_d}{\beta^3 l^2} \\ \frac{-4\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{4\alpha^2 EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-2\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{2\alpha^2 EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} \\ \frac{6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{12EJ_d}{\beta^3 l^3} & \frac{6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-12EJ_d}{\beta^3 l^3} \\ \frac{2EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-2\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{4EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-4\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-6EJ_d}{\beta^3 l^2} \\ \frac{-2\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{2\alpha^2 EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{-6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-4\alpha EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{4\alpha^2 EJ_d}{\beta^3 l} & \frac{6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} \\ \frac{-6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{-12EJ_d}{\beta^3 l^3} & \frac{-6EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{6\alpha EJ_d}{\beta^3 l^2} & \frac{12EJ_d}{\beta^3 l^3} \end{bmatrix} \dots (3.10)$$

As matrizes de rigidez (3.7) e (3.9) são utilizadas pelo módulo do sistema que calcula placas pelo processo de grelha equivalente. Utilizando-se as matrizes de rigidez das barras pode montar a matriz de rigidez do elemento (equação (3.11)).

Na expressão (3.11) foi utilizada a seguinte notação:

θ_{ix}, θ_{iy} são as rotações em x e y.

W_i é o deslocamento na direção z.

Q_i é a força cortante na direção z.

onde $i = 1, 2$ ou 3 .

Aplicando-se um momento fletor de intensidade $\ell M_1/2$ em relação ao eixo y, conforme está mostrado na Fig. 3.6, obtêm-se o seguinte vetor carregamento:

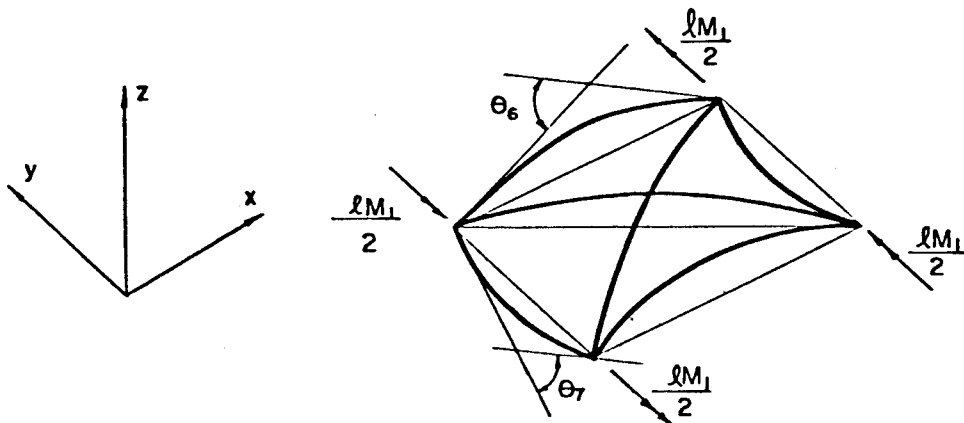


Fig.5 — Momento fletor aplicado no elemento de grelha e giros correspondentes

$$\{Q\} = \left\{ 0, \frac{\ell M_1}{2}, 0, 0, -\frac{\ell M_1}{2}, 0, 0, \frac{\ell M_1}{2}, 0, 0, -\frac{\ell M_1}{2}, 0 \right\}$$

O vetor deslocamento será:

$$\{\delta\} = \left\{ \frac{\theta_7}{2}, \frac{\theta_6}{2}, 0, \frac{\theta_7}{2}, -\frac{\theta_6}{2}, 0, -\frac{\theta_7}{2}, \frac{\theta_6}{2}, 0, -\frac{\theta_7}{2}, -\frac{\theta_6}{2}, 0 \right\}$$

Portanto, das doze equações que relacionam esforços com deslocamentos no elemento de grelha (equação(3.11)) apenas duas são independentes. No caso do carregamento da Fig. 3.6 tem-se a primeira e a segunda equações independentes. Resolvendo o sistema de equações assim formado obtêm-se os deslocamentos θ_6 e θ_7 :

$$\theta_6 = \frac{M_1 \ell^2 \alpha}{2 E} \frac{\gamma^3 J_v + J_d}{\gamma^3 J_v J_h + J_d J_h + \alpha^3 J_d J_v} \dots (3.12)$$

$$\theta_7 = \frac{M_1 \ell^2 \alpha^2}{2 E} \frac{J_d}{\gamma^3 J_v J_h + J_d J_h + \alpha^3 J_d J_v} \dots (3.13)$$

Aplicando-se um momento fletor de intensidade $\alpha \ell M_2 / 2$ em relação ao eixo x, conforme está mostrado na Fig. 3.7, pode-se calcular os valores de θ_8 e θ_9 seguindo a mesma marcha de cálculo usada na determinação dos valores de θ_6 e θ_7 .

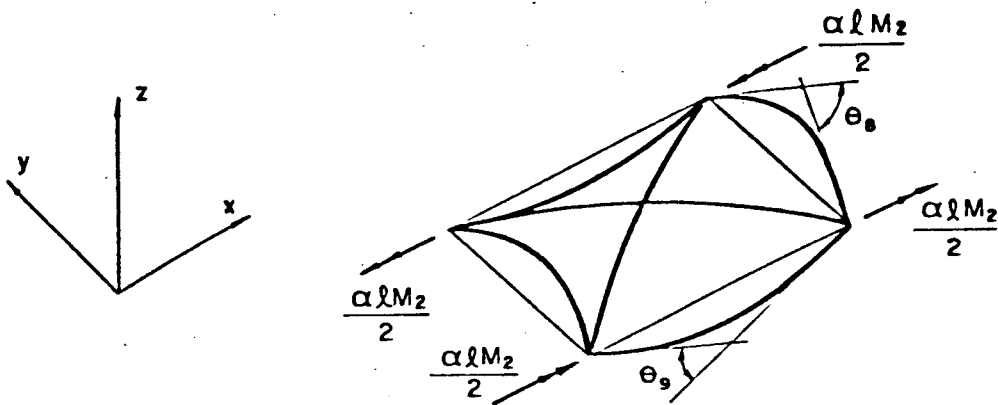


Fig. 6 — Momento fletor aplicado no elemento de grelha e giros correspondentes.

$$\theta_8 = \frac{M_2 \ell^2 \alpha}{2 E} \frac{\gamma^3 J_h + \alpha^3 J_d}{\gamma^3 J_v J_h + J_d J_h + \alpha^3 J_d J_v} \dots (3.14)$$

$$\theta_9 = \frac{M_2 \ell^2 \alpha^3}{2 E} \frac{J_d}{\gamma^3 J_v J_h + J_d J_h + \alpha^3 J_d J_v} \dots (3.15)$$

Aplicando-se momentos torçores, conforme está mos do na Fig. 3.8, no elemento de grelha pode-se calcular os deslocamentos θ_{10} e W_4 seguindo a marcha de cálculo utiliza da para determinar θ_6 e θ_7 .

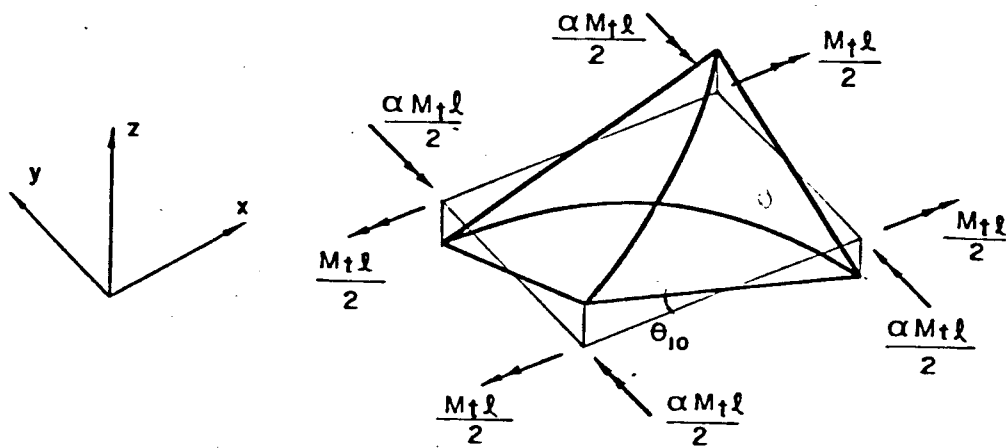


Fig. 7 - Momento torsor aplicado no elemento de grelha

$$\theta_{10} = \frac{M_t \gamma^3 \alpha \ell^2}{2 E \left[\gamma^3 \left(\frac{GJ_{t,h}}{E} \right) + 2 \alpha J_d \right]} \dots (3.16)$$

$$W_4 = -\ell \theta_{10} \dots (3.17)$$

4. CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DA GRELHA EQUIVALENTE

Para simular o elemento de placa com o elemento de grelha, deve-se impor igualdade de deformações nos dois elementos:

$$\theta_1 = \theta_6 \quad \dots (3.18.a)$$

$$\theta_2 = \theta_7 \quad \dots (3.18.b)$$

$$\theta_3 = \theta_8 \quad \dots (3.18.c)$$

$$\theta_4 = \theta_9 \quad \dots (3.18.d)$$

$$\theta_5 = \theta_{10} \quad \dots (3.18.e)$$

Neste conjunto de equações, a segunda e a quarta são iguais. O sistema formado pelas equações (3.18.a), (3.18.b) e (3.18.c) fornece os valores das características elásticas do elemento de grelha equivalente. Resolvendo o sistema obtém-se:

$$J_v = \frac{(\alpha^2 - \mu) \ell}{2 \alpha (1 - \mu^2)} \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.19)$$

$$J_h = \frac{(1 - \alpha^2 \mu) \ell}{2 (1 - \mu^2)} \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.20)$$

$$J_d = \frac{\mu \gamma^3 \ell}{2 \alpha (1 - \mu^2)} \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.21)$$

Da equação (3.18.e) pode-se calcular o momento de inércia à torção $J_{t,h}$ da barra h:

$$J_{t,h} = \frac{E}{G} \cdot \frac{(1 - 3\mu) \ell}{2(1 - \mu^2)} \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.22)$$

Substituindo os valores de θ_{10} e W_4 na segunda das equações (3.11) obtém-se o valor do momento de inércia à torção $J_{t,v}$ da barra v:

$$J_{t,v} = \frac{E}{G} \frac{\alpha(1 - 3\mu) \ell}{2 (1 - \mu^2)} \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.23)$$

Supondo que o elemento da grelha seja quadrado, isto é, $\alpha = 1$ e que o coeficiente de Poisson valha $1/3$, vem:

$$J_v = J_h = \frac{3}{8} \ell \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.24)$$

$$J_d = \frac{3\sqrt{2}}{8} \ell \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.25)$$

$$J_{t,v} = J_{t,h} = 0 \quad \dots (3.26)$$

Nestas condições, o modelo de grelha é composto por vigas sem rigidez à torção. As expressões acima foram obtidas por A. Herennikoff (B12), em 1940.

Supondo ainda que $\alpha = 1$ e $\mu = 0$, obtém-se:

$$J_v = J_h = \frac{\ell}{2} \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.27)$$

$$J_d = 0 \quad \dots (3.28)$$

$$J_{t,v} = J_{t,h} = \frac{E}{G} \frac{\ell}{2} \frac{h^3}{12} \quad \dots (3.29)$$

Nestas condições, o elemento de grelha se reduz a um quadro com rigidez à torção e flexão iguais.

5. APLICACÕES

Uma placa pode ser simulada por uma grelha utilizando-se as equações (3.19) a (3.23): as deformações na grelha serão aproximadamente iguais às deformações da placa.

A distribuição dos momentos fletores e torçores na placa pode ser determinada através do processo das diferenças finitas ou por um processo aproximado que considera os momentos obtidos do cálculo da grelha (ver ítem 9 do Capítulo II).

A placa poderá ter espessura variável: o processo aplica-se para estes casos desde que seja adotada uma malha adequada.

Normalmente o modelo de grelha quadrado conduz a melhores resultados. Quando for necessário usar o elemento retangular recomenda-se adotar um valor de α tal que esteja no intervalo $0,5 \leq \alpha \leq 2$.

Quando as condições de borda não dependem do valor do coeficiente de Poisson, como no caso das lajes simplesmente apoiadas, a forma da superfície deformada também não dependerá desse parâmetro. Neste caso pode-se calcular a grelha com $\mu = 0$, devendo-se alterar o valor do carregamento com a equação

$$q' = q_{\text{real}} (1 - \mu^2) \quad \dots (3.30)$$

É possível manter o carregamento real desde que se altere o módulo de elasticidade com a equação

$$E' = \frac{E_{\text{real}}}{1 - \mu^2} \quad \dots (3.31)$$

CAPÍTULO IV

DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PÓRTICO EQUIVALENTE

1. INTRODUÇÃO

O estudo a seguir define o modelo utilizado no sistema para o cálculo de estruturas pelo processo da equivalência entre chapas e pórticos planos.

Seja um elemento de chapa retangular cujos lados medem l e αl e tem espessura h (Fig. 4.1(a)). Esse elemento será simulado por oito barras que formam o elemento do modelo de pórtico equivalente, com a disposição mostrada na Fig. 4.1(b).

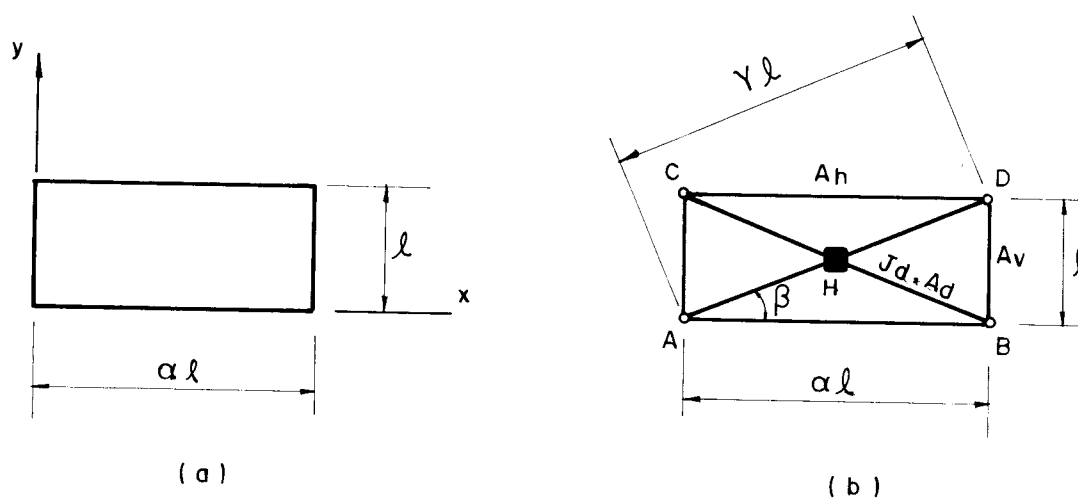


Figura 4.1 — (a) Elemento de chapa (b) Elemento de pórtico equivalente

As barras que compõem as diagonais têm rigidez à flexão e força normal. As outras têm rigidez à força normal somente. Serão consideradas intersecções (pontos nodais) nos vértices (articulações) e nas intersecções das diagonais (nó engastado), conforme está mostrado na Fig. 4.1(b).

Esse elemento de pórtico com quatro graus de liberdade pode ser utilizado para simular o elemento de chapa, conforme será detalhado a seguir.

2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO ADOTADO NO SISTEMA

O elemento de pórtico foi estudado no ítem 8.2 do Capítulo II: as características elásticas e geométricas podem ser determinadas com as equações (2.92), transcritas a seguir:

$$\begin{aligned}\rho_{AB} &= v \cdot \left[\lambda + 0,5 \mu (1 - \cotg^2 \beta) \right] \\ \rho_{AC} &= v \cdot \left[\lambda + 0,5 \mu (1 - \tg^2 \beta) \right] \\ \rho_{AH} &= v \cdot \frac{\mu}{4 \sen^2 \beta \cdot \cos^2 \beta} \\ \eta_{AH} &= v \cdot \frac{(\mu - \lambda)}{4 \sen^2 \beta \cdot \cos^2 \beta} \quad \dots (4.1)\end{aligned}$$

Considerando as equações (2.31) e (2.65) obtém-se

$$A = \frac{1}{E\ell} \rho \quad \dots (4.2)$$

$$J = \frac{\ell}{3E} \eta \quad \dots (4.3)$$

Substituindo a equação (4.1) nas equações (4.2) e (4.3) vem:

$$A_{AB} = \frac{1}{E \alpha \ell} V \cdot \left[\lambda + 0,5 \mu (1 - \cotg^2 \beta) \right] \quad \dots (4.4)$$

$$A_{AC} = \frac{1}{E \ell} V \cdot \left[\lambda + 0,5 \mu (1 - \tg^2 \beta) \right] \quad \dots (4.5)$$

$$A_{AH} = \frac{2}{E \gamma \ell} V \cdot \frac{\mu}{4 \sen^2 \beta \cdot \cos^2 \beta} \quad \dots (4.6)$$

$$J_{AH} = \frac{\gamma \ell}{6 E} V \cdot \frac{(\mu - \lambda)}{4 \sen^2 \beta \cdot \cos^2 \beta} \quad \dots (4.7)$$

As equações (4.4) a (4.7) foram utilizadas no programa para a obtenção das características elásticas e geométricas de pórtico equivalente a uma chapa. Nestas condições é possível montar a matriz de rigidez do elemento e portanto do pórtico equivalente.

A matriz de rigidez de uma barra pertencente a um pórtico no sistema local de referência pode ser calculada com a equação (1.6) se a barra não for prismática ou com a equação (1.14) se for prismática. Supondo que a barra seja prismática, a matriz de rigidez da barra no sistema global de referência pode ser obtida com a expressão (1.26); na equação (4.8) tem-se a matriz de rigidez da barra no sistema de eixos global.

Para calcular a matriz de rigidez do elemento de pórtico equivalente, deve-se somar as contribuições de todas as barras que o compõem (Fig. 4.2).

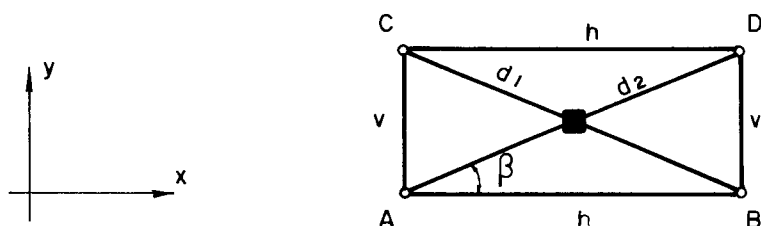


Figura 4.2 — Elemento de pórtico equivalente.

$$\begin{aligned}
 \left[S_M^G \right] = & \begin{bmatrix}
 \frac{EA}{\ell} \cos^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \text{sen}^2 \beta & \frac{EA}{\ell} \text{sen}^2 \beta & \left(\frac{EA}{\ell} - \frac{12EJ}{\ell^3} \right) \cos \beta \text{sen} \beta & -\frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta & -\left(\frac{EA}{\ell} \cos^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \text{sen}^2 \beta \right) & -\left(\frac{EA}{\ell} - \frac{12EJ}{\ell^3} \right) \cos \beta \text{sen} \beta & -\frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta \\
 \left(\frac{EA}{\ell} - \frac{12EJ}{\ell^3} \right) \cos \beta \text{sen} \beta & \frac{EA}{\ell} \text{sen}^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \cos^2 \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & -\left(\frac{EA}{\ell} - \frac{12EJ}{\ell^3} \right) \cos \beta \text{sen} \beta & -\left(\frac{EA}{\ell} \text{sen}^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \cos^2 \beta \right) & \frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta \\
 -\frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & \frac{4EJ}{\ell} & \frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta & -\frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & \frac{2EJ}{\ell} \\
 -\left(\frac{EA}{\ell} \cos^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \text{sen}^2 \beta \right) & -\left(\frac{EA}{\ell} - \frac{12EJ}{\ell^3} \right) \cos \beta \text{sen} \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta & \frac{EA}{\ell} \cos^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \text{sen}^2 \beta & \left(\frac{EA}{\ell} - \frac{12EJ}{\ell^3} \right) \cos \beta \text{sen} \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta \\
 -\left(\frac{EA}{\ell} - \frac{12EJ}{\ell^3} \right) \cos \beta \text{sen} \beta & -\left(\frac{EA}{\ell} \text{sen}^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \cos^2 \beta \right) & -\frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & -\frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & -\left(\frac{EA}{\ell} \text{sen}^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \cos^2 \beta \right) & \frac{EA}{\ell} \text{sen}^2 \beta + \frac{12EJ}{\ell^3} \cos^2 \beta & -\frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta \\
 -\frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & \frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & \frac{2EJ}{\ell} & -\frac{6EJ}{\ell^2} \text{sen} \beta & -\frac{6EJ}{\ell^2} \cos \beta & \frac{4EJ}{\ell}
 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

..... (4.8)

A referência às barras do elemento será feita utilizando-se a seguinte notação (Fig. 4.2):

- a) Barra do tipo h são barras paralelas ao eixo x no sistema global.
- b) Barras do tipo v são barras paralelas ao eixo y no sistema global.
- c) Barras do tipo d₁ são barras inclinadas de 180 - β em relação ao eixo x.
- d) Barras do tipo d₂ são barras inclinadas de β em relação ao eixo x.

A matriz de rigidez das barras do tipo h no sistema global de referência pode ser calculada fazendo-se β = 0 e J = 0 (barra biarticulada) na equação 4.8, obtendo-se:

$$\left[K_M^G \right]_h = \begin{bmatrix} EA_h / \ell & 0 & 0 & -EA_h / \ell & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -EA_h / \ell & 0 & 0 & EA_h / \ell & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad \dots (4.9)$$

A matriz de rigidez das barras do tipo v no sistema global pode ser calculada fazendo-se β = 90 e J = 0 (barra biarticulada) na equação (4.8), obtendo-se:

$$\begin{bmatrix} K \\ M \end{bmatrix}_v^G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & EA_v/\ell & 0 & 0 & -EA_v/\ell & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -EA_v/\ell & 0 & 0 & EA_v/\ell & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

..... (4.10)

A matriz de rigidez da barra do tipo d_1 no sistema global de referência pode ser calculada fazendo-se $\text{sen}\beta = 1/\gamma$ e $\text{cos}\beta = -\alpha/\gamma$ na equação 4.8. Deve-se ainda considerar a articulação em uma das extremidades da barra. Nas equações (4.9) e (4.10) tem-se: $A_h = A_{AB}$ e $A_v = A_{AC}$.

A matriz de rigidez da barra do tipo d_2 no sistema global de referência pode ser calculada fazendo-se $\text{sen}\beta = 1/\gamma$ e $\text{cos}\beta = \alpha/\gamma$ na equação (4.8).

Essas matrizes são utilizadas pelo sistema na montagem da matriz de rigidez da estrutura.

$$\begin{bmatrix}
 \frac{6EJ}{\gamma \ell} & \frac{-12EJ}{3\ell^2} \alpha & \frac{12EJ}{3\ell^2} \alpha & \frac{-12EJ}{3\ell^2} \alpha & \frac{12EJ}{3\ell^2} \alpha \\
 \frac{-12EJ}{3\ell^2} \alpha & \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha^2 + \frac{2AE}{3\gamma \ell} & \frac{-24EJ}{5\ell^3} \alpha^2 - \frac{2AE}{3\gamma \ell} & -\frac{2AE}{3\gamma \ell} \alpha + \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha & \frac{-24EJ}{5\ell^3} \alpha + \frac{2AE}{3\gamma \ell} \alpha \\
 \frac{12EJ}{3\ell^2} \alpha & \frac{-24EJ}{5\ell^3} \alpha^2 - \frac{2AE}{3\gamma \ell} & \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha^2 + \frac{2AE}{3\gamma \ell} & \frac{-24EJ}{5\ell^3} \alpha + \frac{2AE}{3\gamma \ell} \alpha & \frac{-6EJ}{3\gamma \ell} \alpha - \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha \\
 \frac{-12EJ}{3\ell^2} \alpha & \frac{-2AE}{3\gamma \ell} \alpha + \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha & \frac{-2AE}{3\gamma \ell} \alpha + \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha & \frac{2AE}{3\gamma \ell} \alpha^2 + \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha & \frac{-2AE}{3\gamma \ell} \alpha^2 - \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha \\
 \frac{12EJ}{3\ell^2} \alpha & \frac{-24EJ}{5\ell^3} \alpha + \frac{2AE}{3\gamma \ell} \alpha & \frac{-6EJ}{3\gamma \ell} \alpha - \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha & \frac{-2AE}{3\gamma \ell} \alpha^2 - \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha & \frac{6EJ}{3\gamma \ell} \alpha^2 + \frac{24EJ}{5\ell^3} \alpha
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} K \\ M \end{bmatrix} d_1 =$$

..... (4.11)

$$\begin{bmatrix}
 \frac{3EJ}{\ell} & -\frac{3EJ}{\ell} \frac{\alpha}{2} \frac{1}{\gamma} & \frac{3EJ}{\ell^2} \frac{\alpha}{\gamma} & -\frac{3EJ}{\ell^2} \frac{1}{\gamma} & \frac{3EJ}{\ell^2} \frac{1}{\gamma} & 0 \\
 -\frac{3EJ}{\ell^2} \frac{\alpha}{\gamma} & \frac{3EJ}{\ell^3} \frac{\alpha^2}{\gamma} + \frac{AE}{\ell} \frac{1}{\gamma^2} & -\frac{3EJ}{\ell^3} \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{AE}{\ell} \frac{1}{\gamma^2} & -\frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} + \frac{3EJ}{\ell^3} & \frac{-\alpha}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} + \frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} & 0 \\
 \frac{3EJ}{\ell^2} \frac{\alpha}{\gamma} & -\frac{3EJ}{\ell^3} \frac{\alpha^2}{\gamma} - \frac{AE}{\ell} \frac{1}{\gamma^2} & \frac{\alpha^2}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} & -\frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} - \frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} & -\frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} - \frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} & 0 \\
 -\frac{3EJ}{\ell^2} \frac{1}{\gamma} & -\frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} + \frac{3EJ}{\ell^3} & -\frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} + \frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} & \frac{\alpha^2}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} & -\frac{\alpha^2}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} - \frac{1}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} & 0 \\
 \frac{3EJ}{\ell^2} \frac{1}{\gamma} & -\frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} + \frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} & -\frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} - \frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} & -\frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} - \frac{\alpha}{\gamma^2} \frac{AE}{\ell} & \frac{\alpha^2}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{3EJ}{\ell^3} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}$$

..... (4.12)

$$\left[K_M^G \right]_{d_2} =$$

3. APLICAÇÕES

Uma chapa pode ser simulada por um pórtico cujas barras têm características elásticas e geométricas calculadas com as equações (4.4) e (4.7) se adotado o elemento descrito no ítem 4.1.

As deformações no pórtico equivalente serão iguais às deformações da chapa. A distribuição de tensões e deformações na chapa poderá ser calculada utilizando-se o processo aproximado descrito no ítem 9 do Capítulo 2.

Normalmente obtêm-se resultados mais precisos com o uso de elementos cujo valor de parâmetro α seja próximo de 1. Quando isso não for possível, deve-se adotar o valor de α no intervalo $0,5 \leq \alpha \leq 1$.

CAPÍTULO V

ESTUDO DAS PLACAS APOIADAS EM FUNDAÇÃO ELÁSTICA

1. INTRODUÇÃO

O estudo das placas sobre fundação elástica motivou o desenvolvimento deste trabalho. Este tipo de estrutura é muito importante do ponto de vista prático porque permite o dimensionamento econômico de pisos de aeroportos, bases para reservatórios, depósitos, etc...

2. MATRIZ DE RIGIDEZ DA GRELHA EQUIVALENTE PARA PLACAS APOIADAS EM FUNDAÇÃO ELÁSTICA

O processo dos deslocamentos foi detalhado no capítulo 1 e utilizado para desenvolver os modelos a serem adotados na equivalência de placas e chapas com grelhas e pórticos respectivamente.

A existência de apoio elástico não foi considerada neste estudo inicial; a seguir serão feitas alterações nas equações do capítulo 1 para que este tipo de apoio possa ser tratado pelo sistema.

Adotando a hipótese de Winkler a reação da fundação é dada pela equação:

$$r = k w \quad \dots (5.1)$$

onde

w é a flecha da placa no ponto onde está aplicada a reação.

k é o coeficiente de recalque da fundação.

No cálculo deste tipo de estrutura é preciso resolver a seguinte equação diferencial:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p-kw}{D} \quad \dots (5.2)$$

Seja a malha composta por elementos retangulares com barras dispostas e apoiadas conforme a Fig. 5.1.

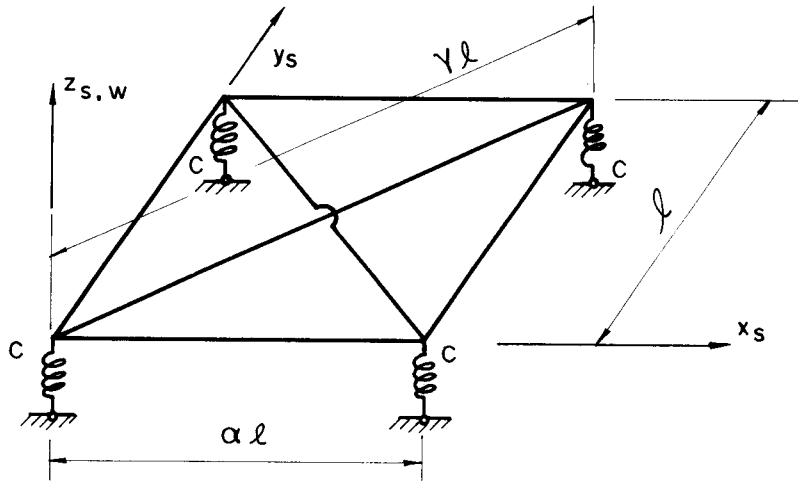


Figura 5.1 — Elemento retangular apoiado em um conjunto de molas

A reação dos vértices do elemento equivalente é cw_i , onde w_i é o deslocamento do nó i na direção z_s e c é o coeficiente de mola do mesmo nó. Ao considerar as deformações dos nós de toda a malha pode-se escrever:

$$\{F_v\} = c \cdot \{w\} \quad \dots (5.3)$$

Substituindo a equação (5.3) na equação (1.3), obtém-se:

$$\{Q^o\} + \{F_v\} = [K] \{\delta\} \quad \dots (5.4)$$

portanto

$$\{Q^0\} = [K] \{\delta\} - c \{w\} \quad \dots (5.5)$$

A equação (5.5) pode ser escrita assim:

$$\{Q^0\} = [K] \{\delta\} - c [I] \{w\} \quad \dots (5.6)$$

onde

$[I]$ representa a matriz identidade.

Desenvolvendo o produto $c [I] \{w\}$ tem-se:

$$c \cdot [I] \cdot \{w\} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ W_1 \\ 0 \\ 0 \\ W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ cw_1 \\ 0 \\ 0 \\ cw_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ cw_n \end{Bmatrix} \quad \dots (5.7)$$

A equação (5.7) pode ser escrita utilizando-se uma matriz $[G]$ tal que:

$$[G] \{\delta\} = c \cdot [I] \{w\} \quad \dots (5.8)$$

Desenvolvendo (5.8) obtém-se:

$$\begin{bmatrix} G \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_{1x} \\ \theta_{1y} \\ w_1 \\ \theta_{2x} \\ \theta_{2y} \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ cw_1 \\ 0 \\ 0 \\ cw_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ cw_n \end{bmatrix} \dots (5.9)$$

nestas condições a matriz $[G]$ deverá valer:

$$\begin{bmatrix} G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & c & 0 & 0 & 0 & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & c \end{bmatrix} \dots (5.10)$$

Portanto $[G]$ é uma matriz diagonal onde os elementos de ordem $3i$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) da diagonal são diferentes de zero e valem c .

Substituindo a equação (5.8) na equação (5.6) obtém-se:

$$\{Q^o\} = [K] \{\delta\} - [G] \cdot \{\delta\} \quad \dots (5.11)$$

portanto

$$\{Q^o\} = ([K] - [G]) \cdot \{\delta\} \quad \dots (5.12)$$

Comparando a equação (5.12) com a equação (1.3) conclui-se que:

$$[K_e] = [K] - [G] \quad \dots (5.13)$$

onde

$[K_e]$ é a matriz de rigidez da grelha equivalente à placa apoiada em fundação elástica.

Desenvolvendo a equação (5.13) obtém-se:

$$[K_e] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{41} & \dots & \cdot \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{42} & \dots & \cdot \\ K_{31} & K_{32} & K_{33}^{-c} & K_{43} & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & K_{nn}^{-c} \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

A equação (5.14) mostra que as placas apoiadas sobre fundação elástica podem ser simuladas com uma grelha, devendo-se corrigir alguns valores da diagonal em posições adequadas. O fator de correção a ser adotado é igual ao do coeficiente de mola do solo, que pode ser calculado com a equação:

$$c = \psi \alpha l^2 k \quad \dots (5.15)$$

Os valores de ψ dependem da posição do nó na malha (Fig. 5.2):

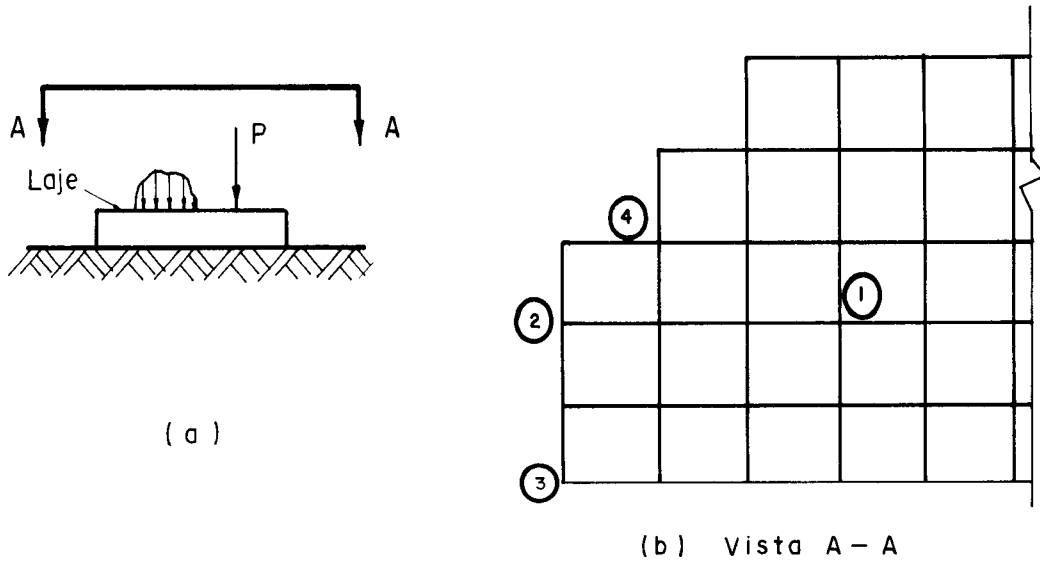


Figura 5.2 — (a) Placa apoiada em solo elástico . (b) Placa simulada por uma grelha .

$\psi = 1$ para nós do tipo ① (internos)

$\psi = 0,5$ para nós do tipo ② (borda)

$\psi = 0,25$ para nós do tipo ③ (borda no vértice)

$\psi = 0,75$ para nós do tipo ④ .

Na equação (5.15), k representa o coeficiente de recalque do solo .

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O COEFICIENTE DE RECALQUE DO SOLO

Considere uma placa apoiada sobre solo elástico, conforme está mostrado na Fig. 5.3.

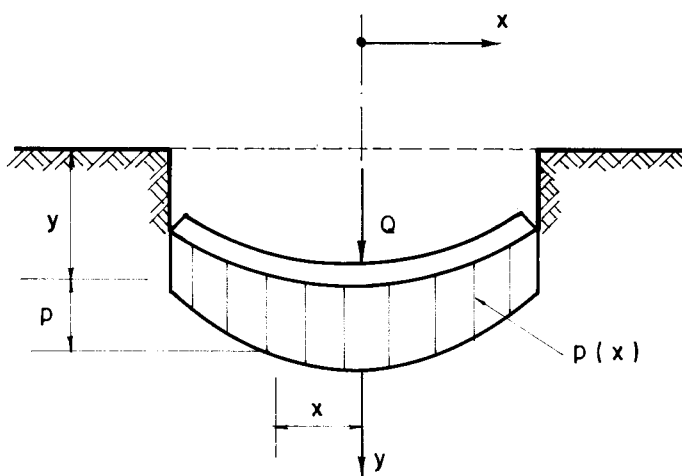


Figura 5.3 — Placa apoiada em solo elástico

Aplicando o carregamento, o solo reage com a pressão $p(x)$ que é proporcional à deformação y da placa. O coeficiente de recalque é a relação entre a pressão existente na abscissa x e a deformação y respectiva (Fig. 5.3):

$$k = \frac{p}{y} \quad \dots (5.16)$$

O coeficiente de recalque depende das características do solo e das dimensões da placa de apoio.

O cálculo das estruturas de superfície apoiadas em solo elástico está baseado na teoria das placas e das cascas delgadas e nas seguintes hipóteses:

- 1) O coeficiente de recalque k independe da pressão $p(x)$ (Fig. 5.3).
- 2) O coeficiente de recalque é constante para o solo que apoia a placa.

De acordo com Westergaard (B36), o momento fletor na placa da Fig. 5.3 é função do parâmetro

$$r_o = \sqrt[4]{\frac{E h^3}{12(1 - \nu^2)k}} \quad \dots (5.17)$$

onde

E é o módulo de elasticidade da placa.

h é a espessura da placa.

Portanto, a rigidez da placa apoiada em solo elástico varia com a raiz quarta do inverso do valor de k .

3.1 - DETERMINAÇÃO DO VALOR DE k

Na Fig. 5.4 está representada a função $p = p(y)$, obtida experimentalmente.

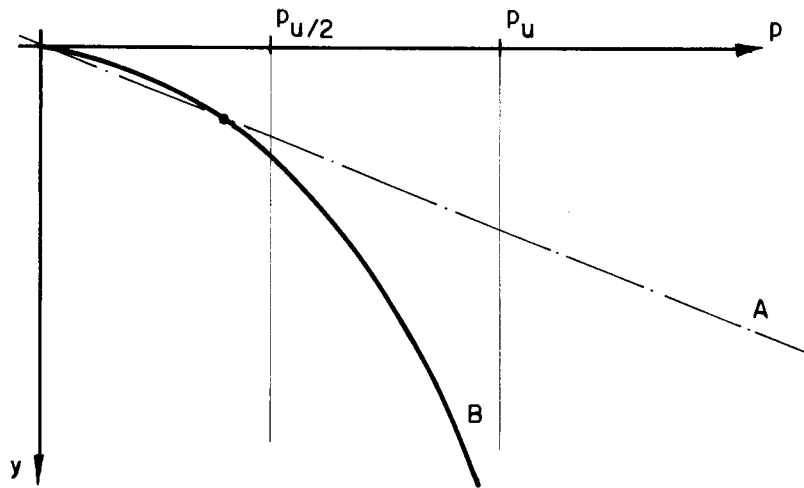


Figura 5.4 — Gráfico da função $p=p(y)$: nas hipóteses de cálculo adota-se a curva A. Através de ensaios obtém-se a curva B.

O gráfico mostra que a pressão cresce linearmente com o recalque y no intervalo $0 \leq p \leq p_u/2$, sendo p_u o limite de capacidade de carga do solo. Portanto, para grandes variações de pressão o diagrama de pressão/deformação não é linear, isto é, o valor de k depende do recalque que se tomou como referência.

Os ensaios mostram também que a medida do coeficiente de recalque é sensível ao diâmetro da placa empregada e as variações só deixam de ter significado para ensaios efetuados com placas de diâmetro igual a 76 cm.

Observou-se também que o coeficiente de recalque depende do teor de umidade do solo. A experiência mostra que, para razoável correlação com a teoria de Westergaard, o coeficiente de recalque deve ser determinado com placas de 76 cm de diâmetro ou mais, tomando-se como referência o recalque 0,127:

$$k = \frac{p_{0,127}}{0,127} \quad \dots (5.18)$$

onde

$p_{0,127}$ é a pressão (kgf/cm^2) aplicada a uma placa circular rígida de 76 cm de diâmetro, necessária para produzir um recalque de 0,127 cm.

A prova de carga é geralmente feita sobre solo compactado na umidade ótima ou em sua umidade natural, tornando-se necessária uma correção para obter o valor do k no teor de umidade de equilíbrio do solo. Admitindo que o teor de equilíbrio seja aquele que corresponde à saturação, usa-se a seguinte expressão de correção:

$$k_s = k_u \frac{p_s}{p} \quad \dots (5.19)$$

onde:

k_s é o coeficiente de recalque para as condições de saturação.

k_u é o coeficiente de recalque para o solo com sua umidade natural.

p é a carga unitária usada na determinação de k_u .

p_s é a carga unitária necessária, num ensaio de adensamento com amostra saturada, mas no mesmo estado de compactação (umidade ótima e densidade equivalente), para produzir a mesma deformação que a carga produziria, no mesmo tipo de ensaio, com a amostra na umidade natural.

Essa correção é pequena quando há preparo da sub-base.

A Fig. 5.5 mostra a distribuição de pressões em uma placa circular rígida com uma carga concentrada aplicada no centro.

Pode-se observar que a pressão na borda da placa é muito diferente da pressão existente no centro. As hipóteses de cálculo admitem pressão constante em toda a placa.

Do que foi exposto anteriormente pode-se concluir que:

- a) As hipóteses de cálculo utilizadas no projeto de placas (vigas) sobre apoio elástico são aproximações grosseiras da realidade.

- b) O valor de k varia entre amplos limites e quase sempre é estimado.
- c) O coeficiente de recalque influi na rigidez da placa apoiada em meio elástico, variando com o inverso da sua raiz quarta (equação (5.17)) portanto, a espessura da placa é muito mais sensível às cargas aplicadas do que ao coeficiente de recalque do subleito.

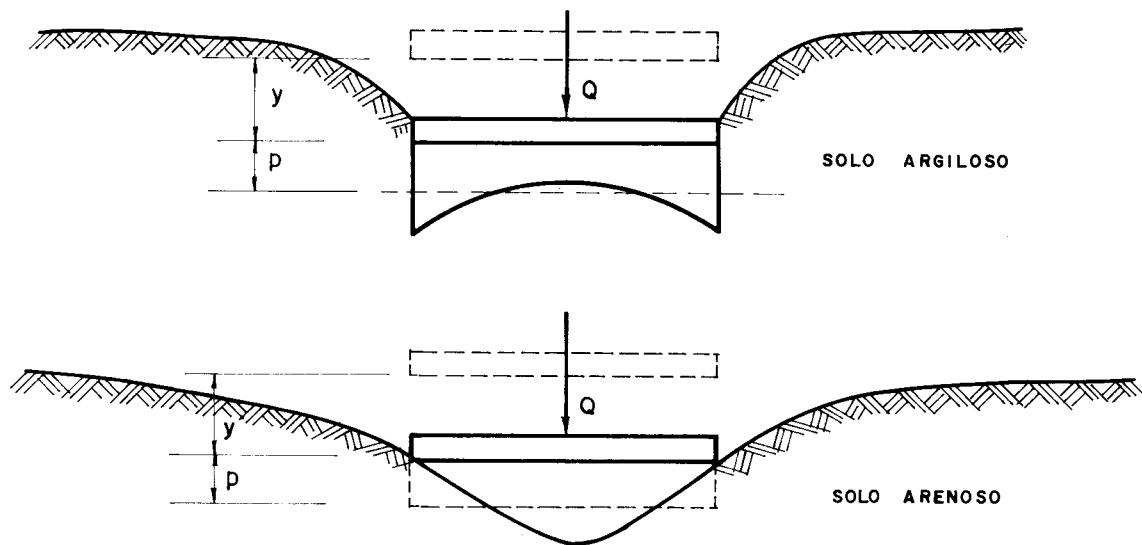


Figura 5.5 — Distribuição de pressão em uma placa circular obtida em ensaios

Para solos muito plásticos o coeficiente de recalque vale aproximadamente $1,4 \text{ kgf/cm}^2$, enquanto que, em pedregulhos e em solos arenosos bem graduados pode atingir o valor de 14 kgf/cm^2 ou mais.

A Portland Cement Association admite, como razoável, a seguinte tabela de equivalência entre o coeficiente de recalque e o CBR, para solos uniformes, até razoável profundidade.

CBR (%)	K (kgf/cm ² /cm)
3	2,77
4	3,32
5	3,87
6	4,43
7	4,71
8	5,00
9	5,25
10	5,54
15	6,37
20	6,92
30	9,14
40	11,63
50	13,85
60	16,07
80	19,39
100	22,16

TABELA 5.1 - Variação do coeficiente de recalque com o CBR.

Seja um solo uniforme com CBR = 10%; utilizando a Tabela 5.1 obtém-se $k = 5,54 \text{ kgf/cm}^2/\text{cm}$. Admitindo que este resultado seja "exato", considere o valor $k = 11,08 \text{ kgf/cm}^2/\text{cm}$ (igual ao dobro do valor "exato") obtido por outro processo. Utilizando a equação (5.17) obtém-se:

$$r_o(\text{"exato"}) = 0,6518 \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}}$$

$$r_o(\text{aproximado}) = 0,5481 \sqrt[4]{\frac{EH^3}{12(1 - \nu^2)}}$$

que representa um erro de 16% na estimativa da rigidez da placa.

Portanto, um erro de 100% na estimativa do valor do coeficiente de recalque levou a um erro de 16% na esti-

mativa da rigidez da placa, o que é perfeitamente admissível quando se considera as simplificações introduzidas através das hipóteses de cálculo.

Conclui-se que o coeficiente de recalque é um parâmetro difícil de ser avaliado, entretanto, os valores estimados para este parâmetro não levam a avaliações grosseiras da rigidez de uma placa ou viga apoiada em meio elástico.

Na prática é comum utilizar a tabela da PCA ou as tabelas de Bowles (B8) para estimar o valor do coeficiente de recalque ou, para estruturas muito importantes, executar prova de carga.

CAPÍTULO VI

SISTEMA PARA O CÁLCULO AUTOMÁTICO DE CHAPAS E LAJES BASEADO NA TEORIA DE EQUIVALÊNCIA

1. INTRODUÇÃO

Normalmente os sistemas da área tecno-científica são desenvolvidos por engenheiros e cientistas. Estes profissionais quase sempre conhecem com detalhes todos os algoritmos a serem utilizados pelo sistema. Para a formação destes profissionais na área de computação, a Universidade oferece um curso semestral ou anual onde são definidos os principais termos técnicos relativos à "programação de computadores" e ensinada a linguagem de programação FORTRAN, praticamente ultrapassada por linguagens mais modernas e flexíveis. Para a montagem de pequenos programas este nível de conhecimento é suficiente, porém, quando se pensa em escrever sistemas, normalmente se obtém um produto com as seguintes características:

- a) Como a linguagem tem pouquíssimos recursos para o processamento de caracteres, a interação usuário/sistema fica muito prejudicada.
- b) Os sistemas são difíceis de serem suportados por pessoas que não participaram da sua montagem.
- c) Provocam um consumo excessivo de memória.
- d) Quase sempre é impossível ampliar o sistema.

- e) Os programas visam a resolução de um problema técnico não existindo preocupação com a interação Usuário/ /sistema.
- f) A documentação é um misto de manual do sistema com manual do usuário.
- g) Não existe a menor preocupação com a técnica de projeto do sistema nem com o desenvolvimento da codificação (estrutura do sistema). Pretende-se resolver um problema técnico simplesmente.
- h) São poucas ou não existem rotinas para consistência de informações.
- i) O sistema só pode ser usado por especialistas da área a que se destina.
- j) O conceito de sistema, do ponto de vista computacional, quase sempre não se aplica para "sistemas" desenvolvidos nestas condições.

O sistema a ser apresentado a seguir foi codificado utilizando algoritmos baseados na teoria exposta nos capítulos de 1 a 5 deste trabalho. As técnicas de estruturação de sistemas e de programas, desenvolvidas por Warnier (B40) e por Gane e Sarson (B26), foram utilizadas no trabalho de projeto do sistema.

As diretrizes que nortearam o seu desenvolvimento podem ser resumidas nos seguintes itens:

- a) Utilização de máquinas de baixo custo.
- b) O sistema pode ser configurado para as necessidades do usuário.
- c) Possibilidade de expansão em qualquer nível, através do desenvolvimento de novos módulos.
- d) Utilização de recursos gráficos.
- e) Possibilidade de acoplamento ("interface") com outros sistemas disponíveis no mercado.

- f) A interação com o usuário é tão importante quanto o cálculo da estrutura em si.

A diretriz do ítem c) permite que o sistema seja considerado "incompleto" para alguns usuários ou excessivamente completo para outros. Estes problemas podem ser resolvidos com a diretriz do ítem b).

Atualmente ele está composto pelos seguintes módulos:

- a) Supervisor
- b) Cadastrar estrutura
- c) Ler as características geométricas do modelo
- d) Desenhar a malha na tela ou impressora (se a impressora tiver capacidade gráfica e for compatível com o sistema)
- e) Modificar dados da estrutura
- f) Ler as características elásticas da malha
- g) Ler o carregamento
- h) Montar a matriz de rigidez
- i) Resolver o sistema de equações
- j) Calcular esforços
- l) Desenhar a estrutura deformada e indeformada na tela ou impressora, permitindo a superposição das formas e giros em torno dos eixos globais
- m) Simular uma unidade de disquete no último banco de memória das máquinas que operam com 64 k bytes de memória
- n) Programas utilitários utilizados para o deslocamento de formas da memória gráfica da máquina para a impressora
- o) Rotinas de consistência de informações e edição de dados em todos os níveis do sistema
- p) Programa utilitário que transporta arquivos de dados gerados sob o sistema operacional CP/M para o DOS 3.3
- q) Sistema para executar a superposição dos efeitos escrito na linguagem do SGBD dBASE II.

O sistema não dispõe de um módulo para superposição dos efeitos porque além dos esforços superpostos, o que corresponde a um programa muito simples do ponto de vista computacional, o usuário precisa das seguintes informações:

- a) Valor dos esforços superpostos em um conjunto de barras: banzo superior de uma treliça que compõe um pórtico de um edifício industrial, por exemplo.
- b) Valor máximo do esforço composto em um conjunto de barras.
- c) Máxima deformação vertical e horizontal para verificar se a rigidez adotada para determinadas barras é adequada.
- d) Reações compostas máximas e mínimas.

Essas informações podem ser geradas compondo os resultados obtidos com o sistema, quando se aplica carregamentos unitários na estrutura. Obtidos tais resultados, basta aplicar o princípio da superposição dos efeitos para calcular o valor dos esforços compostos. Como a estrutura é de resposta linear, essas superposições correspondem a combinações lineares dos esforços obtidos com carregamentos unitários.

Portanto, o processamento necessário para executar a superposição dos efeitos e responder às necessidades básicas de informação do usuário, é típico de um sistema para gerenciamento de banco de dados (SGBD).

O sistema desenvolvido neste trabalho gera informações para os SGBD dBASE II e DB Master. Quando for necessário superpor o efeito de carregamentos, o sistema deverá ser utilizado para resolver os carregamentos básicos (carregamentos unitários) e gerar arquivos de dados que serão processados pelos SGBD.

O sistema foi desenvolvido para máquinas "baseadas" no Apple II, que opera sob controle do sistema operacional DOS 3.3 da Apple. Esse sistema operacional suporta o banco de dados DB Master.

O SGBD dBASE II opera sob o sistema operacional CP/M (Control Program/Monitor), sendo que é muito mais poderoso que o DB Master porque, além de operar como SGBD, possui uma linguagem de programação própria, permitindo que programas sejam desenvolvidos e operados sob controle do dBASE II.

Como o sistema para o cálculo de placas e chapas opera sob o sistema operacional DOS 3.3, todos os arquivos gerados não são compatíveis com o sistema operacional CP/M. O CP/M tem um módulo que permite a transferência de arquivos de dados gerados sob o DOS 3.3 para arquivo com padrão compatível com CP/M.

Para transferir arquivos gerados sob o CP/M, o sistema para cálculo de placas e chapas tem um módulo que executa essa transferência.

No desenvolvimento do sistema para o cálculo de placas e chapas foi adotado o sistema operacional DOS 3.3 porque ele suporta uma versão da linguagem BASIC muito poderosa, tanto para executar cálculos, quanto para desenhos em tela ou impressora com capacidade gráfica.

O sistema para cálculo de placas e chapas na versão atual, executa o cálculo estático e desenha a estrutura deformada e indeformada permitindo, inclusive, que ela seja girada em torno do sistema de eixos globais. Ele poderá ser ampliado para executar o dimensionamento da estrutura, desenhar diagramas de esforços, etc... Apesar dos recursos gráficos existentes na linguagem, o detalhamento deve ser feito pelo engenheiro ou projetista.

O fato do sistema ter sido desenvolvido através da teoria de equivalência simplifica o desenvolvimento de um módulo que tem muito interesse prático: estudo da estabilidade de chapas que pode ser utilizado por exemplo, no dimensionamento da alma de uma viga de rolamento. Esta é uma das principais vantagens da teoria de equivalência sobre os elementos finitos.

A interação com o usuário é feita através de "me

nus" de opções em vez de linguagens orientadas, como aquelas existentes nos sistemas STRUDL, STRESS, etc... O supervisor corresponde ao nível mais alto de opções e um módulo que está no final da raiz da árvore (Fig. 6.2) corresponde ao nível mais baixo.

Na Fig. 6.2 estão representados os principais "menus" de opções do sistema, bem como a relação de dependência entre eles. Normalmente, a cada ítem de um "menu" localizado na raiz da árvore corresponde um programa. Ao ítem 2) do "menu" principal por exemplo, está relacionado um outro "menu", composto por quatro módulos (ver Fig.6.2). O ítem 5) do "menu" principal não tem nada relacionado a ele: isso significa que este ítem corresponde a um programa do sistema.

O sistema para o cálculo de placas e chapas pode operar no modo manual ou automático (ver Fig. 6.1). Na opção manual o usuário pode escolher qual o módulo a ser executado. Na operação automática o usuário não interage com o supervisor: o próprio sistema aciona a execução dos módulos e o usuário tem apenas o trabalho de escolher as várias opções existentes em cada módulo.

Se for necessário executar a superposição dos efeitos, o usuário deverá saber operar o SGBD DB Master. No caso do dBASE II foram desenvolvidas rotinas com novos "menus" que permitem a utilização do SGBD sem dificuldades.

Na Fig. 6.3 pode-se observar os principais blocos existentes na versão atual do sistema desenvolvido neste trabalho e a relação de dependência entre eles (fluxograma do sistema).

Essa técnica do desenvolvimento do sistema, que é chamada de "top-down", tem as seguintes vantagens:

- a) A manutenção e ampliação do sistema ficam simplificadas desde que se conheça o comprimento e o conteúdo dos campos que compõem os arquivos gerados.
- b) O tempo de desenvolvimento dos programas é reduzido porque diminui muito a possibilidade de erros de programação.

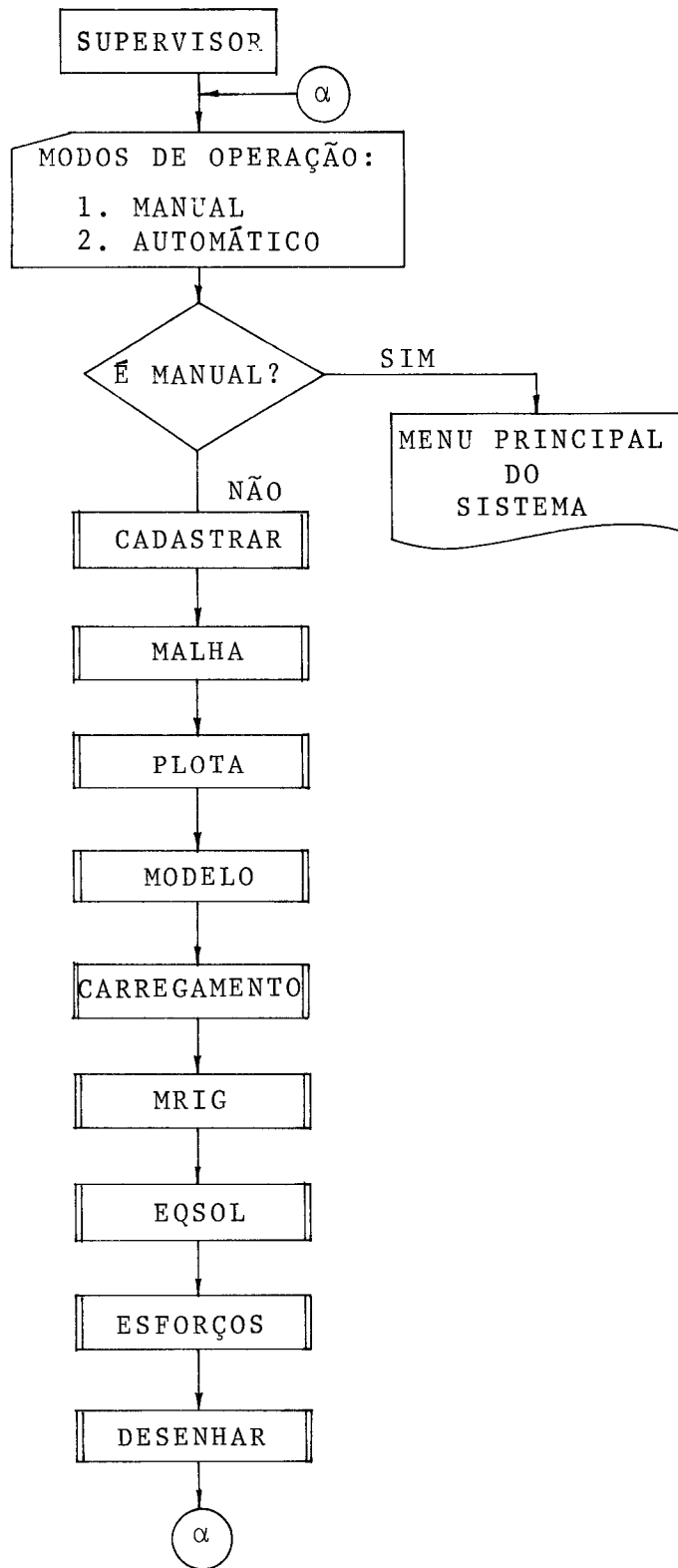


FIG. 6.1 - Diagrama de blocos do supervisor.

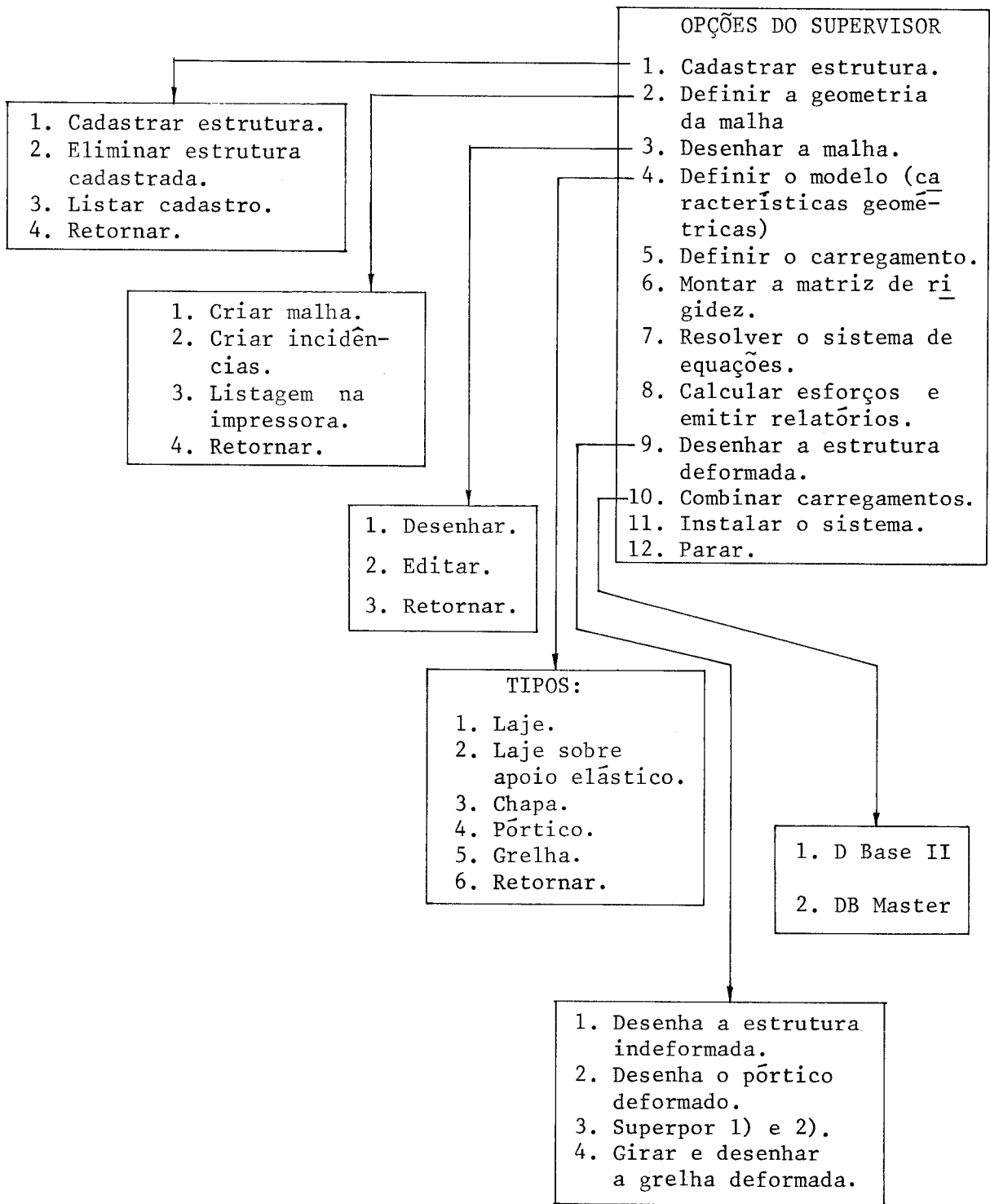


FIG. 6.2 - Principais "menus" de opções do sistema e relação de dependência entre eles.

- c) Após escrever e depurar o último programa, resulta um sistema totalmente integrado.
- d) Pode-se substituir um módulo sem que se tenha que reescrever os demais.

Pode-se conectar várias unidades de disco no microcomputador: nestas condições o número de unidades de discos existentes na máquina é um dado para o sistema.

Se ele não for informado é admitido (valor "default") que apenas um disco está conectado na máquina e, nesse caso, será solicitada várias vezes a troca de disquete durante o processamento. Para evitar este trabalho deve-se utilizar configurações com, no mínimo, dois discos. Assim, o armazenamento de informações nos discos é automático e bastante otimizado.

A existência ou não de impressora no sistema de computação e a respectiva marca também deverão ser definidas pelo usuário: a definição destes parâmetros é feita através do módulo INSTALAÇÃO, a ser descrito a seguir.

2. SOBRE OS ARQUIVOS GERADOS PELO SISTEMA

Os nomes dos arquivos gerados pelo sistema, para o cálculo de estruturas pelo processo de equivalência, foram adotados de acordo com a sintaxe:

NOME DO ARQUIVO · NOME DO PROJETO

onde:

"nome do arquivo" define o seu conteúdo

"nome do projeto" define o projeto a que pertencem os dados.

O comprimento total da cadeia de caracteres que define o nome do arquivo deve ser menor ou igual a 40.

Exemplos:

MALHA·PROJETO 34

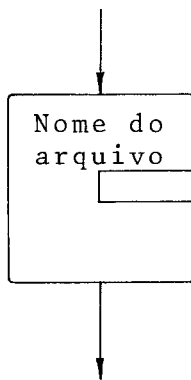
MALHA.PROJETO 67
CARNO.PROJETO 83
CARNO.PROJETO 43

A Tabela 6.1 define o tipo de acesso adotado para os arquivos gerados pelo sistema.

NOME DO ARQUIVO	TIPO DE ACESSO		
	Sequencial	Aleatório	indexado
GERAIS		X	
MALHA.nome	X		
ESCALA.nome		X	
CAGE.nome	X		
MOLA.nome	X		
CARGA.nome			X
CARNO.nome	X		
RIGIDEZ.nome	X		
SOEQ.nome	X		
CODES.nome	X		
PARTIÇÃO.nome		X	

TAB. 6.1 - Tipo de acesso adotado para arquivos gerados pelo sistema.

As operações de leitura e gravação em disco serão representadas pelo bloco seguinte:



3. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS

3.1 - MÓDULO SUPERVISOR

O supervisor é responsável pelo controle geral de execução de todos os módulos que compõem o sistema. No modo de operação "manual" ele apresenta um conjunto de opções para o usuário, permitindo que determinado módulo seja executado. Evidentemente o usuário não pode solicitar a resolução do sistema de equações sem que a matriz de rigidez esteja montada. De qualquer forma o sistema consiste nas informações fornecidas e, neste caso, iria dar uma mensagem de erro.

No modo "automático", a execução de todos os módulos é feita pelo supervisor. Ele tem função essencialmente gerencial dentro do sistema. O conjunto de opções disponíveis no supervisor está mostrado no bloco de nível mais alto da Fig. 6.2.

3.2 - MÓDULO CADASTRAR

Este módulo executa o cadastramento da estrutura no sistema. São lidas as informações gerais necessárias para caracterizar a estrutura, e criados uma série de índices que serão úteis para a geração dos arquivos relativos à estrutura que está sendo cadastrada. Deve-se fornecer as seguintes informações:

- número da estrutura
- nome do projeto
- número de nós
- número de barras
- número de apoios
- número de carregamentos
- módulo de elasticidade à flexão
- módulo de elasticidade à torção.

Estas informações são gravadas no arquivo GERAIS de acesso aleatório. O fluxograma da Fig. 6.4 representa a lógica utilizada no programa.

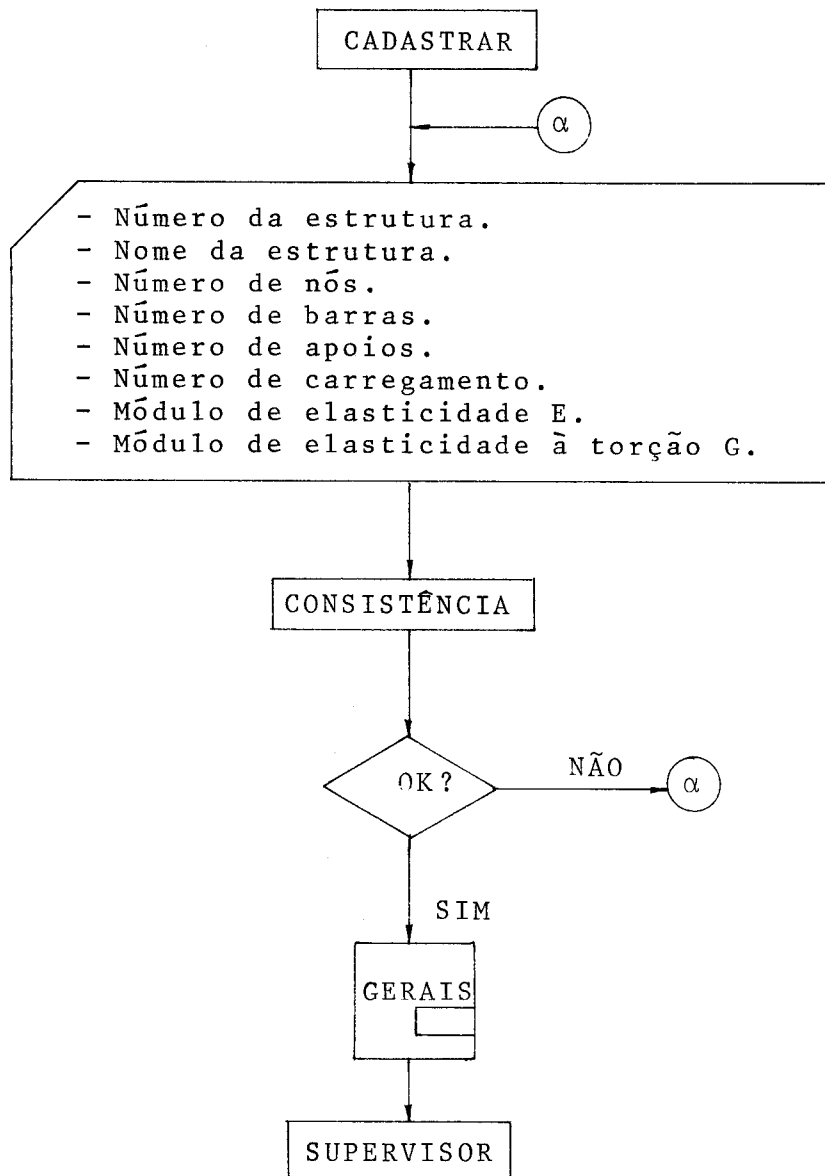


FIG. 6.4 - Fluxograma do módulo CADASTRAR.

3.3 - MÓDULO MALHA

Este módulo é utilizado para definir a geometria do modelo. Portanto, serão lidas as coordenadas dos nós, número de barras, incidências e tipos de apoios.

Ele permite a geração automática de coordenadas, número dos nós e barras e também a geração das incidências.

A possibilidade de gerar informações automaticamente, abrevia o trabalho de digitação e diminui a possibilidade de erros.

O fluxograma está representado na Fig. 6.5.

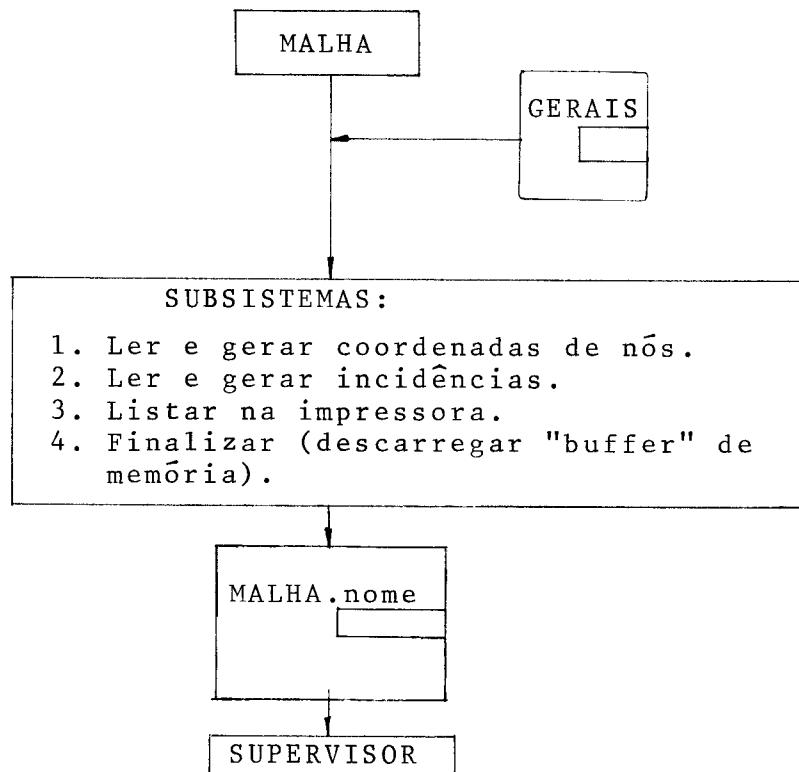


FIG. 6.5 - Fluxograma do módulo MALHA.

Com o objetivo de melhorar a velocidade de processamento, os três subsistemas do módulo MALHA utilizam parte da memória, disponível para o usuário, na criação de um banco de informações ("buffer"). Para voltar para o supervisor o usuário deverá utilizar o subsistema de finalização, que é responsável pela gravação deste banco de informações no arquivo MALHA.nome.

3.4 - MÓDULO PLOTA

Este módulo permite que o usuário verifique e altere, se for o caso, as informações fornecidas no módulo MALHA. O serviço fica bastante simplificado porque a malha é desenhada na tela; nestas condições, o usuário tem a possibilidade de verificar graficamente os dados de entrada.

No caso de microcomputadores a tela pode ser um televisor comum, o que torna a máquina bastante econômica quando se pensa no custo dos monitores utilizados nos terminais de vídeo. O televisor comum é suficiente para suportar este tipo de aplicação.

Se uma impressora "compatível" com a MX-80 da Epson (ou modelos mais recentes) que tem capacidade gráfica, estiver conectada na máquina, o sistema poderá "descarregar" a figura na impressora.

O fluxograma está representado na Fig. 6.6.

Todas as informações são atualizadas em memória. Para sair deste módulo deve-se utilizar o subsistema de finalização que deslocará as informações atualizadas para o arquivo MALHA.nome.

O módulo PLOTA irá gerar o arquivo ESCALA.nome, que contém informações utilizadas para o desenho da malha, tais como: fator de escala, coordenadas dos eixos de referência e ângulos entre o sistema de eixos globais e os eixos da tela.

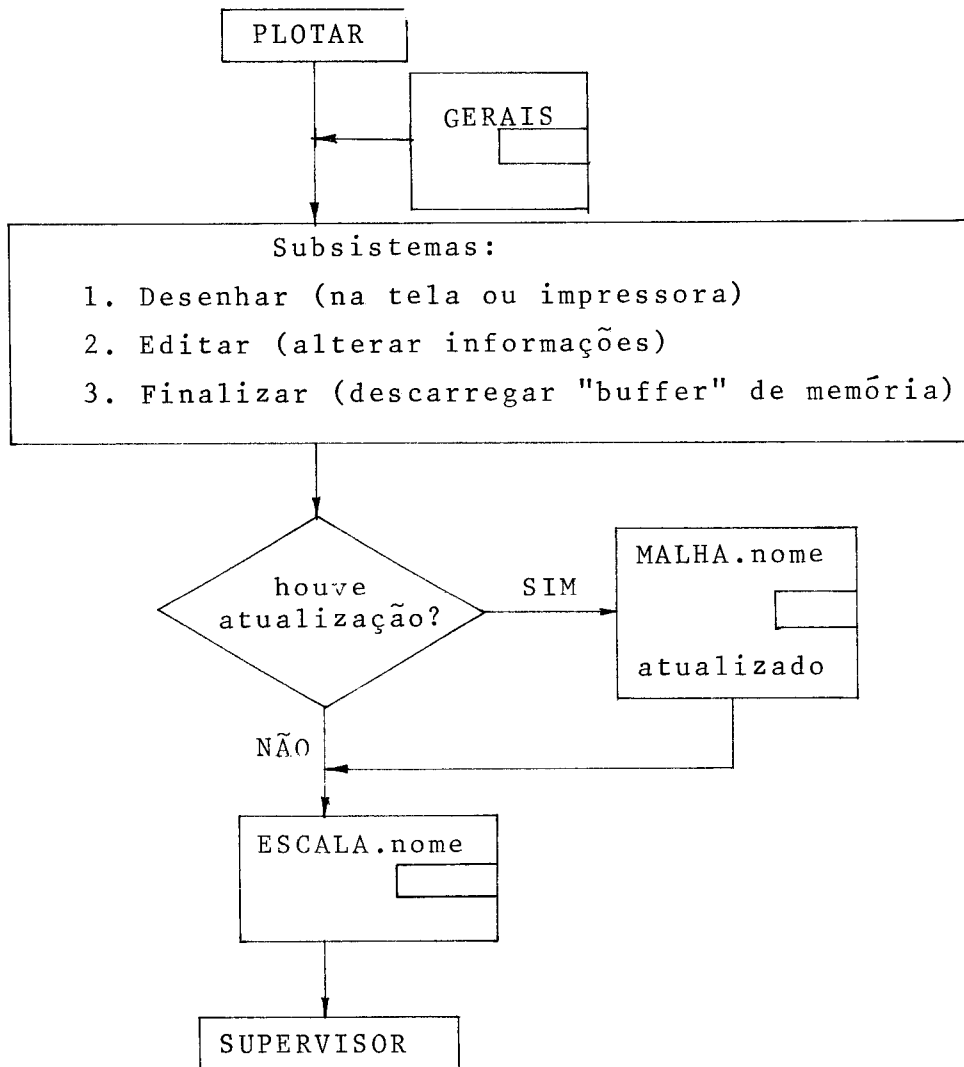


FIG. 6.6 - Fluxograma do módulo PLOTA.

3.5 - MÓDULO MODELO

Esse módulo permite definir as características e lásticas do modelo. Em função do tipo de estrutura, o microcomputador solicita determinadas informações utilizando, em alguns casos, o recurso de formatação de tela. O fluxograma está representado na Fig. 6.7.

O resultado do processamento é a criação do arquivo CAGE.nome, que contém as características geométricas de todas as barras da estrutura. Quando o modelo for uma

laje sobre apoio elástico, é gerado o arquivo MOLA.nome, que contém os tipos de nós da malha e os respectivos coeficientes de mola.

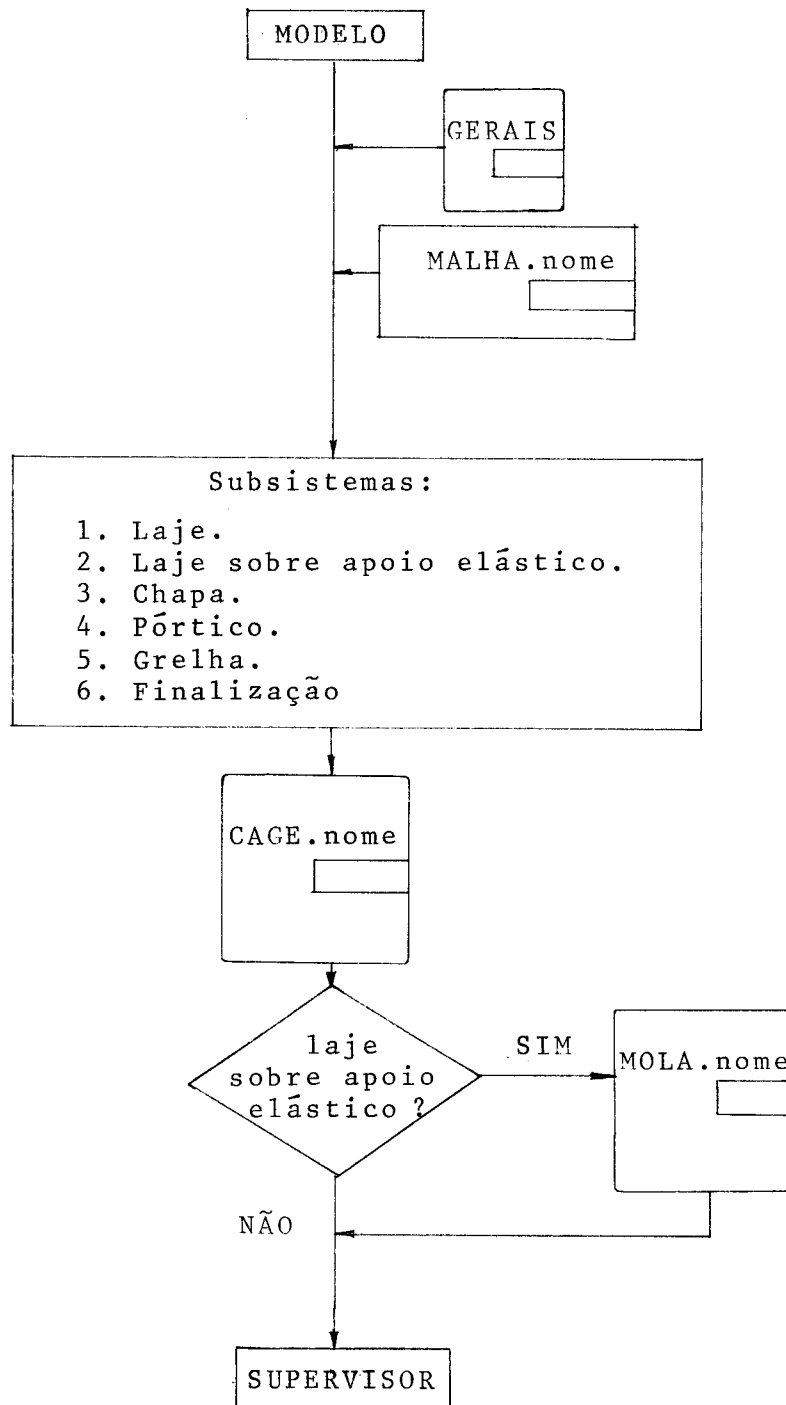


FIG. 6.7 - Fluxograma do módulo MODELO.

3.6 - MÓDULO CARREGAMENTO

Esse módulo é utilizado para a leitura do carregamento que atua na estrutura. O programa admite cargas lineares, concentradas, e momentos fletores e torçores aplicados nas barras; cargas concentradas e momentos fletores aplicados nos nós. Os carregamentos atuantes nas estruturas contínuas são aplicados como cargas lineares ou concentradas na estrutura equivalente.

Após a leitura do carregamento que atua na estrutura, é gerado o arquivo CARGA-nome de acesso indexado, objetivando a economia de memória auxiliar (disco) e a melhoria da velocidade de processamento através da redução do número de operações de leitura e gravação em disco. Esse tipo de acesso permite gravar no arquivo CARGA.nome informações relativas às barras que estão efetivamente carregadas.

O fluxograma desse módulo está representado na Fig. 6.8.

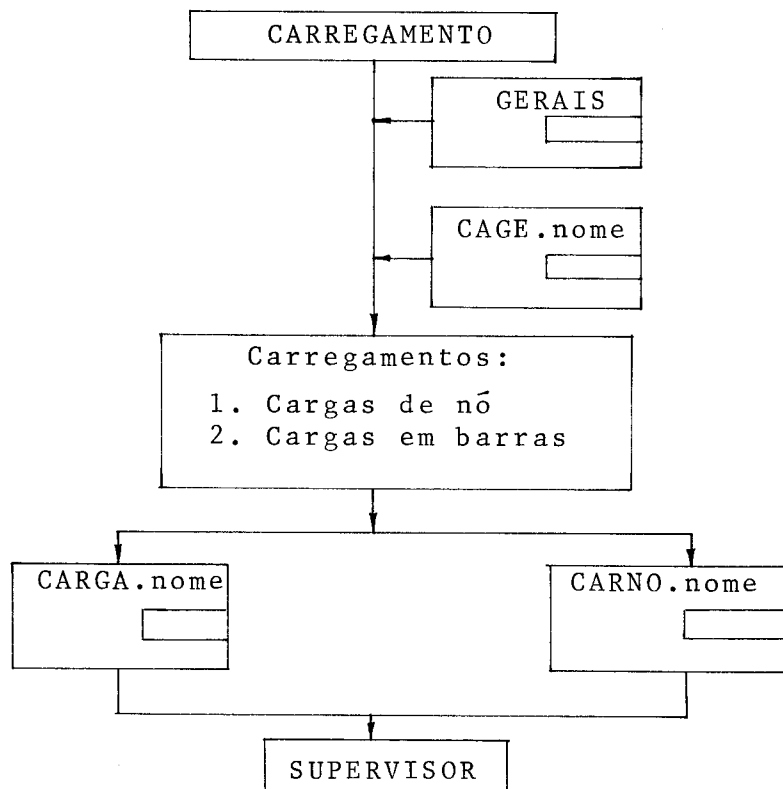


FIG. 6.8 - Fluxograma do módulo CARREGAMENTO.

3.7 - MÓDULO MRIG

Esse módulo é responsável pela montagem da banda superior da matriz de rigidez que é armazenada em um vetor. Os dados do programa estão gravados nos arquivos CAGE.nome e MOLA.nome quando a estrutura for uma laje sobre apoio elástico. O resultado do processamento é o arquivo RIGIDEZ.nome de acesso sequencial. A Fig. 6.9 representa o fluxograma do programa.

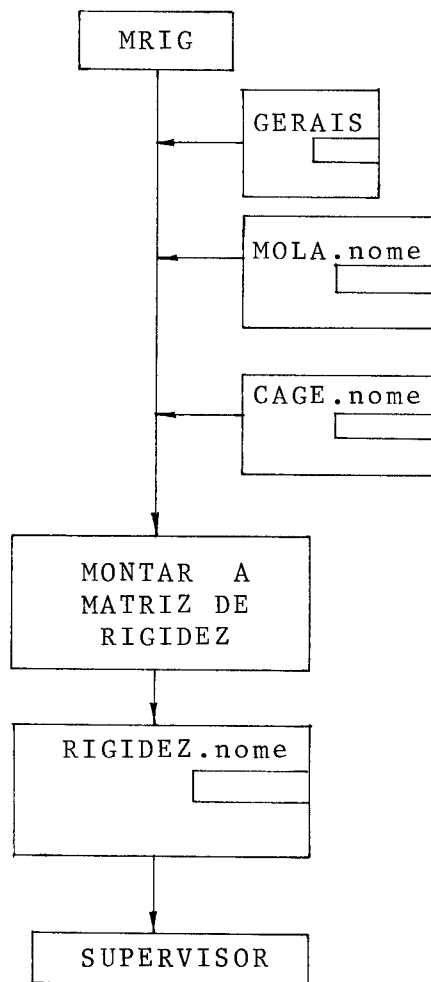


FIG. 6.9 - Fluxograma do módulo MRIG.

3.8 - MÓDULO EQSOL

Esse módulo foi projetado para resolver o sistema de equações pelo processo de Cholesky, considerando a banda superior da matriz de rigidez armazenada em um vetor na memória da máquina.

Atualmente está sendo desenvolvida uma segunda versão desse módulo, utilizando o algoritmo de resolução pelo processo de Cholesky com matriz de rigidez parcialmente armazenada na memória principal da máquina (partição da matriz de rigidez). A Fig. 6.10 representa o fluxograma do programa na versão atual.

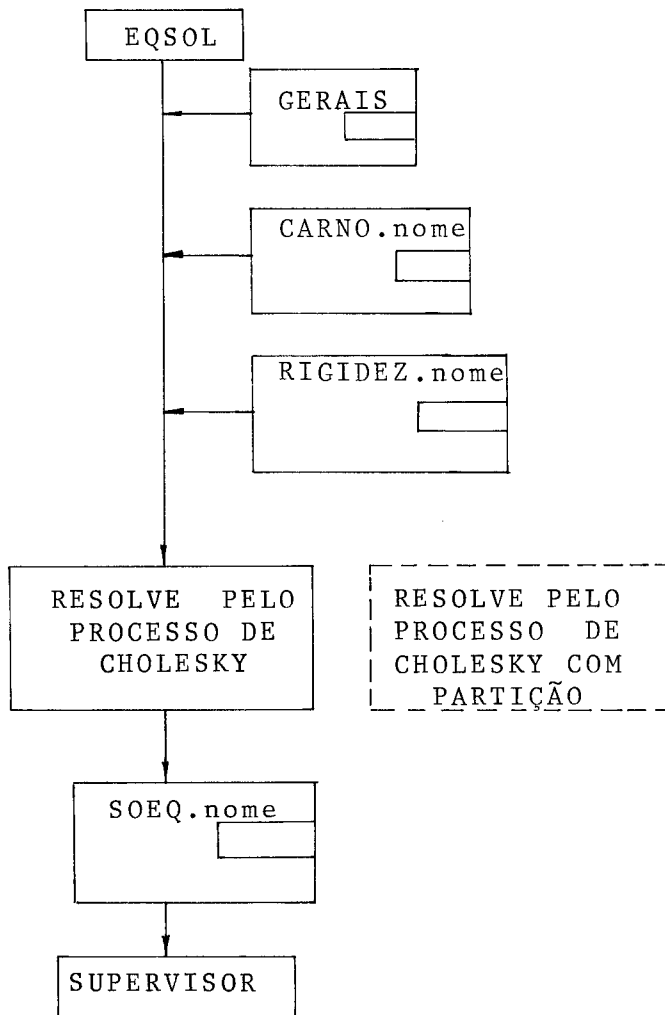


FIG. 6.10 - Fluxograma do módulo EQSOL.

3.9 - MÓDULO ESFORÇOS

Esse módulo calcula os esforços e imprime quase todos os relatórios gerados pelo sistema (os demais são gerados pelos SGBD D Base II ou DB Master).

Os deslocamentos de nós são armazenados no arquivo CODES.nome de acesso sequencial. A Fig. 6.11 representa o fluxograma do programa.

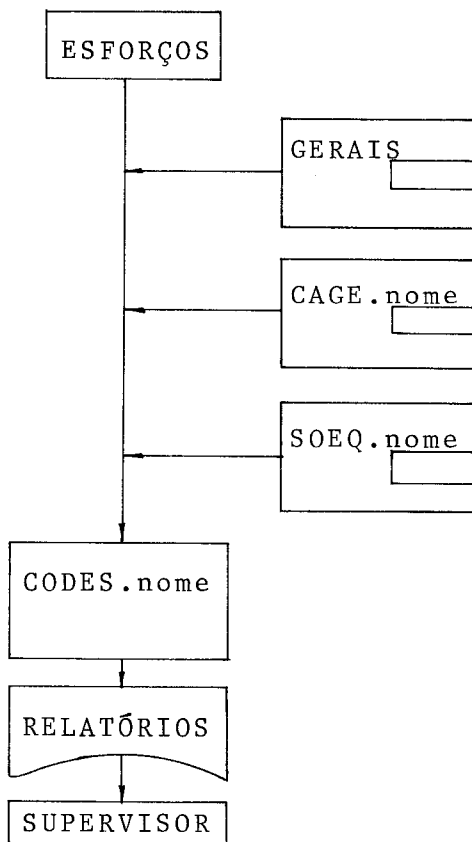


FIG. 6.11 - Fluxograma do módulo ESFORÇOS.

3.10 - MÓDULO DESENHAR

É um dos módulos mais importantes do sistema: executa o desenho da estrutura deformada e indeformada, bem como a superposição das duas formas. Esse módulo demonstra a grande flexibilidade dos microcomputadores e a importância que essas máquinas irão ter no escritório de

projetos do futuro, Os comandos gráficos estão disponíveis na própria linguagem de programação, dispensando a compra de "pacotes" para desenho e terminais gráficos. Evidentemente a resolução de um terminal gráfico é superior porém, para determinadas aplicações ele pode ser substituído por equipamentos mais simples e econômicos.

Se a impressora tiver recursos gráficos é possível copiar o desenho de tela para o papel. O sistema reconhece as impressoras "baseadas" na MX-80 e MX-100 da Epson, isto é, existe um subsistema dentro do módulo DESENHAR, escrito em linguagem ASSEMBLER que, entre outras coisas, gera caracteres de controle para essas impressoras, permitindo assim a transferência do desenho que está na tela para o papel (transfere o conteúdo das páginas de memória gráfica do microcomputador para a impressora).

A Fig. 6.12 representa o fluxograma do programa.

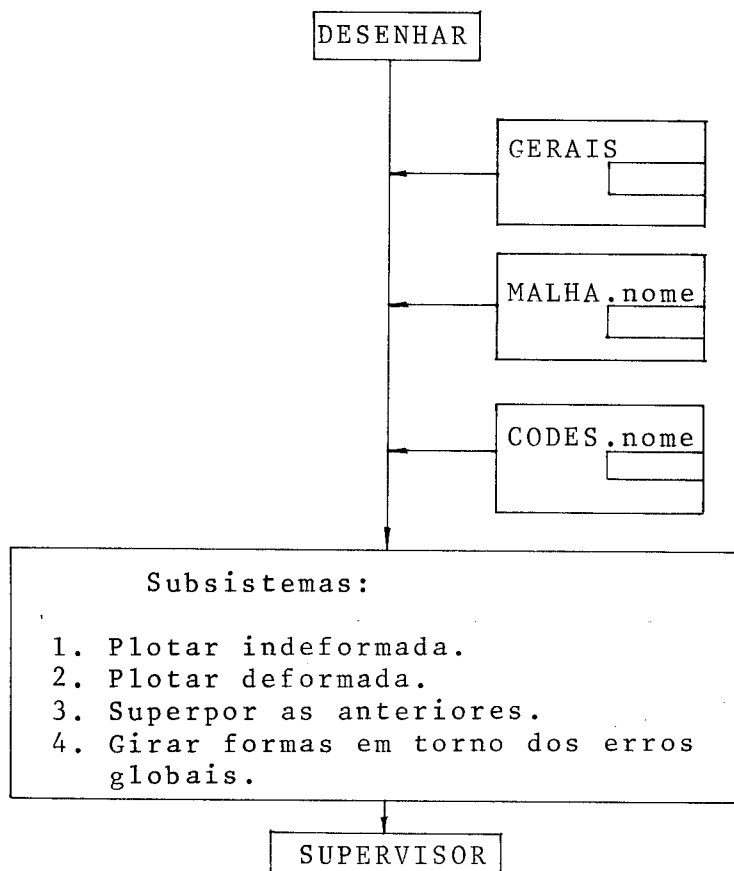


Fig. 6.12 - Fluxograma do módulo DESENHAR.

3.11 - MÓDULO SUPERPOR

Esse programa irá gerar um arquivo compatível com um pacote para gerenciamento de informações (dBASE II ou DB Master).

O uso de um SGBD neste nível do sistema para o cálculo de chapas e placas permite que o usuário possa fazer uso efetivo dos resultados do processamento. O dimensionamento da estrutura começa com a análise dos resultados obtidos do cálculo estático: para executar esse trabalho é preciso agrupar determinadas informações, calcular valores máximos e mínimos, etc... Nestas condições o SGBD será muito útil para a execução dessas atividades através do microcomputador.

3.12 - MÓDULO INSTALAÇÃO

Os microcomputadores "baseados" no Apple II têm uma característica muito importante: são modulares. Cabe ao usuário definir a configuração que mais se adapte às suas necessidades.

Para que o sistema reconheça determinada configuração de máquina foi desenvolvido o módulo INSTALAÇÃO. Ele cria condições para que o sistema possa operar em uma configuração com 48Kbytes de memória RAM, tela, uma unidade de disco e impressora não gráfica e em outra, com 64 K bytes de memória RAM, tela, três unidades de disco, impressora gráfica e SGBD dBASE II.

Nestas condições, pode-se alterar a configuração da máquina onde opera o sistema: o módulo de instalação permite que ele reconheça os periféricos existentes na configuração atual.

4. CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO "HARDWARE" A SER UTILIZADO

O sistema foi desenvolvido para microcomputadores "compatíveis" com o Apple II. A configuração mínima de máquina corresponde aos seguintes equipamentos:

- a) 48K bytes de memória RAM.
- b) uma unidade de disco.
- c) televisor comum.

Os programas foram escritos na linguagem BASIC, que opera sob o sistema operacional DOS 3.3 ou equivalente e na linguagem ASSEMBLER (retinas de comunicação computador/impressora gráfica e de simulação de unidade de disco. O Assembler utilizado foi o LISA da On-Line Systems e gentilmente cedido por um "fabricante" nacional.

Na configuração "ideal" deve-se ter os seguintes equipamentos:

- a) 64K bytes de memória RAM
- b) duas ou mais unidades de disco.
- c) televisor comum.
- d) impressora com capacidade gráfica e velocidade mínima de 80 cps (impressoras "compatíveis" com a MX-80 ou MX-100 da Epson).

Os microcomputadores "compatíveis" com o Apple II, quando utilizados para aplicações técnico-científicas, têm as seguintes vantagens (em relação às máquinas de custo equivalente):

- a) melhor relação precisão/consumo de memória.
- b) recursos gráficos disponíveis dentro da linguagem de programação e não existentes nos outros microcomputadores.
- c) estrutura modular: o usuário pode definir a configuração que lhe convier.

- d) possibilidade de substituir eletronicamente a CPU da máquina.
- e) é um equipamento de baixo custo.

O ítem d) torna-se muito importante quando se considera a evolução da tecnologia dos microcomputadores. Atualmente estão sendo produzidas as CPUs que processam 16 bits ao mesmo tempo (contra 8 bits das CPUs atuais) e isto normalmente significa maior velocidade de processamento, maior capacidade de endereçar um conjunto de memórias tipo RAM (um microcomputador com 16 bits tem na sua configuração mínima 256K bytes de memória) e um microprocessador mais poderoso a nível de instrução de máquina.

Atualmente existem disponíveis no mercado placas para máquinas "baseadas" no Apple II com CPU 68000 da Motorola Inc. e 256K bytes de memória RAM, CPU 8086 e 8088 da Intel Inc. e CPU 65816 da Condex. O microprocessador 65816 é totalmente compatível com a CPU 6502 que atualmente está sendo usada no Apple II; nestas condições pode-se ter uma máquina controlada por uma CPU de 16 bits que tem a capacidade de executar programas desenvolvidos para a CPU 6502 de 8 bits. Assim os sistemas desenvolvidos para a CPU de 8 bits serão executados por uma de 16 bits sem haver necessidade de reescrever todos os programas.

Do ponto de vista computacional uma das críticas que podem ser feitas a um sistema com estas características refere-se à velocidade de processamento porque existem várias operações de leitura e gravação em disco: com a configuração mínima de máquina o sistema pode ser considerado lento porque será preciso que o operador troque várias vezes o disquete da unidade de disco. Com dois discos ou mais e 64K bytes de memória tipo RAM, a velocidade será muito maior porque as trocas de disquete serão eliminadas. Além disso a memória principal utilizada para o armazenamento das matrizes será maior porque o módulo de INSTALAÇÃO contém um subsistema que permite deslocar os módulos do siste

ma operacional para o último banco de 16K de memória tipo RAM.

Os sistemas operacionais ficam parte armazenados em disco e parte em memória RAM. Nos microcomputadores ocupam cerca de 12K bytes da memória RAM da máquina. Portanto nas configurações com 48K bytes ficam disponíveis para o usuário 36K bytes e, na configuração com 64K bytes o usuário irá dispor de 52K bytes se tiver um programa que desloque a parte do sistema operacional que fica em memória para os 16K adicionais. Originalmente o DOS 3.3 é carregado em 48K bytes mesmo que fisicamente exista 64K bytes na máquina.

A variável "tempo de processamento" não inviabiliza a compra de um microcomputador para ser usado em um escritório de projetos de estruturas. O custo do equipamento e a possibilidade da eliminação de uso de "bureaux" que cobram preços relativamente altos pela hora de processamento e com pouca disponibilidade de controle, viabilizam o uso de uma máquina baseada no Apple II e até maior.

O sistema operacional DOS 3.3 é bastante antigo (foi projetado em 1979) e é utilizado nas máquinas "nacionais". Atualmente o DOS 3.3 está sendo substituído pelo ProDOS (Professional DOS) que é muito mais rápido, pode controlar unidades de disco "rígido", é compatível com o DOS 3.3 e pode ser utilizado no Apple III.

O sistema para o cálculo de estruturas pelo processo de equivalência foi desenvolvido com o sistema operacional DAVID-DOS, que é compatível com o DOS 3.3 porém, mais rápido. A Tabela 6.2 compara os vários sistemas operacionais compatíveis com o DOS 3.3.

A Tabela 6.2 mostra que o uso dos sistemas operacionais DAVID-DOS e ProDOS representam uma redução de aproximadamente 75% no tempo de execução das operações de leitura e gravação em disco e uma redução de 65% no tempo de carga de um módulo na memória da máquina.

CARACTERÍSTICA (tempo em seg)	DAVID DOS-II	ProDOS	DIVERSI DOS	DOS 3.3
WRITE (comando de gravação)	29,3	28,0	29,4	88,4
READ (comando de leitura)	24,3	16,3	24,3	83,9
APPEND (gravação no final)	142,3	142,9	151,1	1231,2
SAVE (gravação de programas)	7,1	16,4	6,4	33,1
LOAD (leitura de programas)	5,0	4,0	5,0	23,5
Memória disponível em máquinas com 64K bytes	46592	31232	45658	35162
Número de comandos	37	29	31	28

TABELA 6.2 - Comparação entre os sistemas operacionais mais recentes e o DOS 3.3 para máquinas baseadas no Apple II.

Nestas condições a velocidade de processamento é compatível com o porte e o custo do microcomputador, isto é, com um pequeno custo adicional (banco de 16K de memória e troca de sistema operacional) tem-se um equipamento cuja velocidade de processamento é compatível com seu custo.

A velocidade de processamento poderá ser compatível e, em alguns casos superior à dos minicomputadores nacionais se a CPU da máquina for substituída por outra de 16 bits e a unidade de disco por uma unidade de disco rígido ("winchester").

Como uma das principais diretrizes adotadas no desenvolvimento deste trabalho refere-se a máquinas de baixo custo o autor não recomenda tal substituição se esta for justificada na melhoria do tempo de processamento da máquina. Considerando os processamentos usuais (estruturas aperticadas com até 100 nós) a máquina opera com tempos de processamento razoáveis.

Quando a estrutura for pequena, o sistema para o cálculo de estruturas utilizando o processo de equivalência tem um módulo que permite simular uma unidade de disco no último banco de 16K bytes de memó-

ria; nestas condições tem-se uma unidade de "disco" com velocidade eletrônica de acesso. Evidentemente este recurso somente poderá ser implantado em máquinas com 64K bytes de memória tipo RAM. Esse módulo foi escrito em Assembler e entra em operação sempre que as condições acima existirem.

O equipamento para o qual este sistema foi projetado não opera sob controle de um sistema operacional tipo "time-sharing" com vários terminais, vários níveis de prioridade e com o CPD praticamente "governando" todas as atividades de processamento de dados da empresa com seus "especialistas" opinando em todos os departamentos.

O custo de um microcomputador permite que a empresa adquira uma ou mais máquinas para cada um de seus departamentos, criando uma capacidade de processamento local e, provocando dessa forma a descentralização do CPD, isto é, os profissionais de processamento de dados passam a atuar como funcionários da empresa, sendo obrigados a produzir como qualquer empregado e forçando o CPD tradicional a uma retomada ampla de suas funções na empresa, sob pena de se ver totalmente suplantado pelos novos fatos.

5. LIMITAÇÕES DE SISTEMA PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS PELO PROCESSO DA EQUIVALÊNCIA

Na versão atual o número de elementos existentes na banda superior da matriz de rigidez limita o número de nós que podem ser processados.

As máquinas "baseadas" no Apple II armazenam números reais em 5 bytes com a precisão de 9 dígitos. Em um microcomputador com 64K bytes de memória tipo RAM, ficam disponíveis para o usuário 46592 bytes (ver tabela 6.2). Considerando que o módulo MRIG ocupa 5K bytes de memória, pode-se deduzir uma expressão que permite calcular o número máximo de nós que o sistema pode processar:

$$nf \leq 8318 \quad \dots (6.1)$$

onde:

n é o número de nós da estrutura.

f é a largura da banda da matriz de rigidez da estrutura.

Para largura da banda igual a 40 é possível processar estruturas com até 200 nós.

O sistema executa somente o cálculo estático da estrutura.

O cálculo de chapas poderia ser simulado por uma treliça em vez de um pórtico, conforme foi demonstrado no capítulo 2. Isso não foi feito porque neste caso o coeficiente de Poisson deverá valer 1/3.

6. ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO ATUAL

Será difícil chegar a um nível de desenvolvimento tal que permita afirmar que o sistema desenvolvido nesse trabalho está pronto. Sempre haverá um módulo a ser desenvolvido ou modificado, dependendo das necessidades específicas de cada usuário.

Dentro desse contexto, atualmente estão sendo desenvolvidos os seguintes módulos:

- a) Resolução do sistema de equações pelo processo de Cholesky, com a matriz de rigidez parcialmente armazenada em memória (partição da matriz de rigidez).
- b) Módulo para resolver treliças.

CAPÍTULO VII

EXPERIMENTAÇÃO NUMÉRICA

1. INTRODUÇÃO

Nos ítems seguintes serão resolvidas algumas estruturas utilizando o sistema detalhado no Capítulo 7. Em alguns casos os resultados foram comparados com aqueles obtidos com o subsistema STRUDL da IBM, por não haver solução analítica disponível na literatura consultada.

Estes resultados foram obtidos com a seguinte configuração de "hardware" e "software".

- máquina com 64K bytes de memória RAM
- duas unidades de disco
- impressora MX-80
- sistema operacional PRODOS (compatível com DOS 3.3).

Todo o diálogo do operador com o sistema é feito através de "menus" e telas. Esse tipo de abordagem, aliado à capacidade de plotagem de alguns módulos, diminui a possibilidade de se entrar com dados incorretos.

Não existem formatos para os dados numéricos. O próprio sistema executa a consistência sobre as informações fornecidas e dá mensagens de erro quando necessário. Pode-se alterar os dados dentro do processo de digitação ou em uma fase posterior.

O sistema permite a geração dos números de nós,

barras, características elásticas, geométricas e incidências dentro da tela de digitação, como será visto a seguir.

2. EXEMPLO 1

Calcular a placa da Fig. 7.1, onde atua, sobre toda a superfície, uma carga uniformemente distribuída de intensidade 1 tf/m^2 e uma carga concentrada aplicada no ponto P, de 4 tf . Dados:

$$E = 1,8 \times 10^6 \text{ tf/m}^2 \quad \nu = 0,2 \quad t = 18 \text{ cm}$$

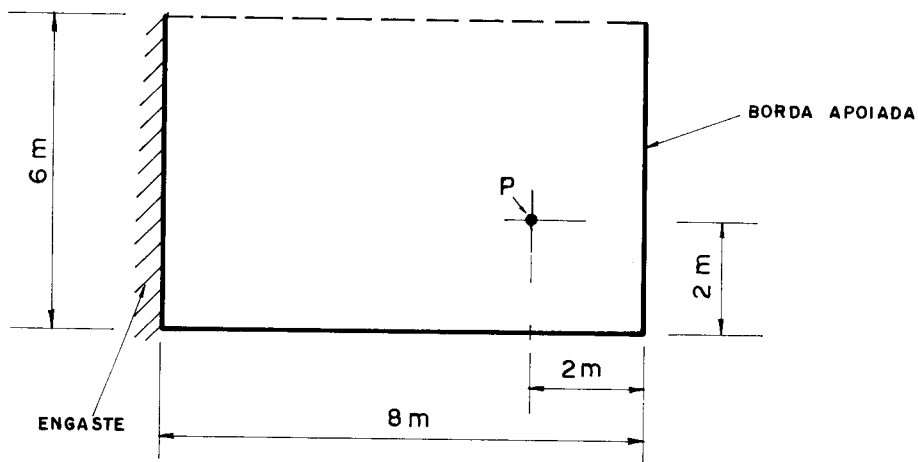


Figura 7.1 — Placa a ser resolvida.

Na Fig. 7.2 tem-se a grelha equivalente à estrutura da Fig. 7.1 e a respectiva numeração de barras e nós.

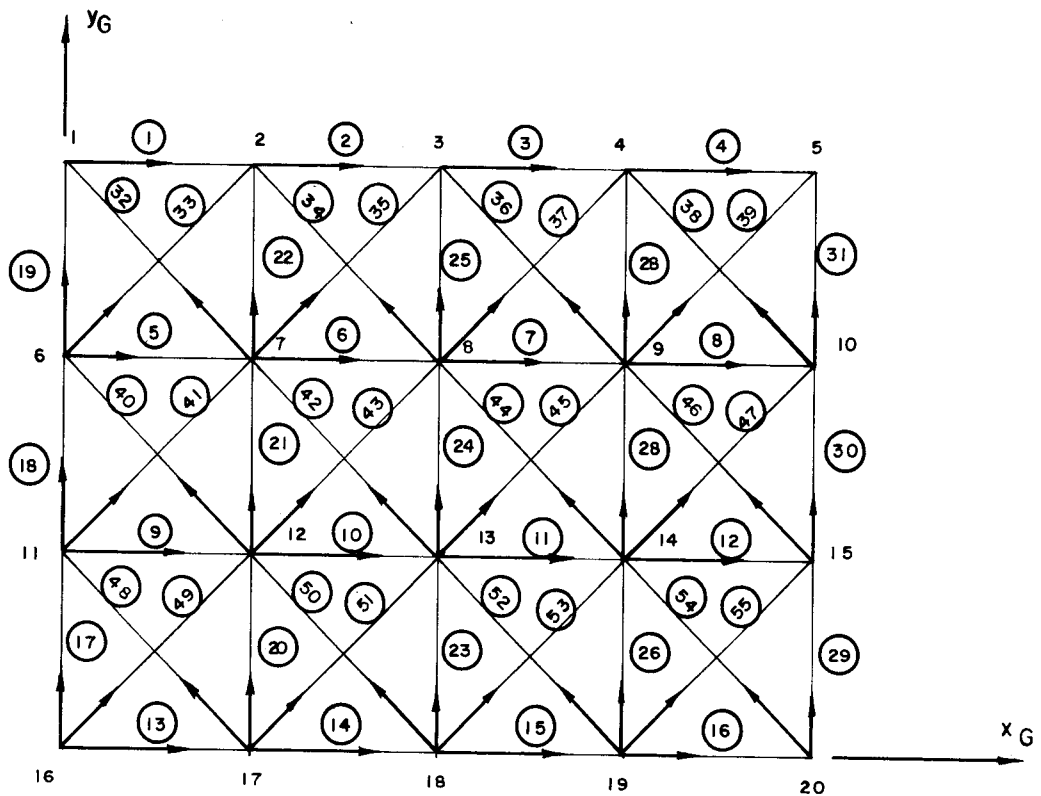


Figura 7.2 — Grelha equivalente à estrutura da fig. 7.1 numeração de barras e nós

Para iniciar a operação do sistema digitar:

BLOAD RUNTIME - pressionar tecla RETURN.

BRUN SUPER.OBJ - pressionar tecla RETURN.

O programa RUNTIME contém a biblioteca de rotinas do compilador. Após digitar esses comandos, o usuário recebe a seguinte tela:

SISTEMAS PARA O CALCULO ESTADISTICO DE ESTRUTURAS PELO PROCESSO DA EQUIVALENCIA.

AUTOR: ENG. JOAO A MAGRI

ULTIMA REVISAO: 08/12/84

EQUIVALENCIAS DISPONIVEIS:

- 1) CHAPA / PORTICO.
- 2) PLACA / GRELHA.

Pressionando a tecla RETURN, aparece a seguinte tela:

OPCOES:

- 1 - OPERACAO MANUAL.
- 2 - OPERACAO AUTOMATICA.

DIGITAR (1 OU 2)

Escolher a opção 2 (automático). A seguir é carregado o programa de cadastramento da estrutura no sistema: deve-se fornecer as seguintes informações:

- 1) Nome do projeto: exemplo 1 - placa assimétrica
- 2) número de nós : 20
- 3) número de barras : 55
- 4) número de apoios : 11
- 5) número de carregamentos: 1
- 6) número da estrutura : 078

Para a segunda opção aparece a tela:

```
ELIMINAR ESTRUTURA DO CADASTRO  
  
NRO DA ESTRUT. (MAX 11 CARACTERES) 52  
  
SERÁ ELIMINADA A ESTRUTURA 52  
  
POSSO CONTINUAR (S/N) S
```

Digitado o número da estrutura, a máquina responde que irá apagar os dados da estrutura indicada e pergunta se pode executar a operação.

A terceira opção lista todo o cadastro. A listagem é útil para se poder verificar quais são as estruturas que estão ou foram processadas.

A listagem pode ser feita em tela ou impressora. Pode-se ainda listar os dados de uma estrutura ou todo o cadastro.

A opção "PARAR" descarrega o "buffer" de memória no disco do sistema e ativa o supervisor que, por sua vez, irá ativar o módulo MALHA. O módulo MALHA apresenta o seguinte menu:

OPCOES:

- 1 - CRIAR MALHA.
 - 2 - CRIAR INCIDENCIAS.
 - 3 - LISTAGEM NA IMPRESSORA.
 - 4 - PARAR.
- DIGITAR (1,2,3,OU 4)

Escolher a opção número um, que corresponde a um programa de digitação das coordenadas dos nós. Este programa opera com a seguinte tela:

COORDENADAS DOS NOS

```
NUMERO DO NO
COORDENADA X
COORDENADA Y
P/ GERAR ==> G   OUTRO NO ==> RETURN
NUMERO DO NO (FINAL)
COORDENADA X (FINAL)
COORDENADA Y (FINAL)
INCREMENTO (P/ NRO DO NO)
ESTRUTURA: LAJE AP. ELAST.
NUMERO DE NOS = 16
```

O sistema permite a geração das coordenadas dos nós. Para esse trabalho deve-se usar o procedimento:

- a) Digitar as coordenadas relativas ao primeiro nó do conjunto de nós.
- b) Pressionar a tecla G: nestas condições o subsistema prepara-se para gerar as coordenadas de um conjunto de nós.
- c) Digitar as coordenadas do último nó do conjunto.
- d) Digitar o incremento (com relação ao número de nós).

Após essas operações o computador irá gerar as coordenadas do conjunto de nós.

Supondo que o usuário esteja preenchendo a linha "coordenada y" e perceba que cometeu um erro de digitação na "coordenada x" já preenchida. A fim de deslocar o cursor para a linha anterior, digitar o caracter Λ e a linha "coordenada x" poderá ser preenchida novamente. Portanto, o caracter Λ permite o deslocamento do cursor para a linha anterior. O número do nó de uma estrutura deve, obrigatoriamente, ser inteiro: o sistema faz essa consistência e não admite números reais.

Digitadas e/ou geradas todas as coordenadas de nó, o programa lista automaticamente as coordenadas fornecidas e entra no modo de edição. Nessas condições o usuário poderá ainda, verificar visualmente todas as informações fornecidas. Será impressa a seguinte tabela:

COORDENADAS DOS NOS

LINHA	NO	COORD. X	COORD. Y
1	1	0.0	0.0
2	2	8.4	13.7
3	3	12.1	3.4
4	4	0.8	6.4

DADOS CORRETOS (S/N)

A seguir o programa pergunta: dados corretos (S/N) ? responder S e retornará o menu principal desse sub-sistema. Admitindo que uma das coordenadas esteja errada responder N. O sistema entrará no modo de edição utilizando a seguinte tela:

INFORMACOES ERRADAS

NUMERO DO NO: 3

COORD. X: 12.1

COORD. Y: 3.4

INFORMACOES CORRETAS

NRO DO NO (CORRIGIDO) ? 3

COORD. X: 12.5

COORD. Y: 3.4

Fornecer as informações corretas e as coordenadas serão listadas novamente.

Na segunda opção o sistema permite definir as incidências das barras: digitar 2 e pressionar a tecla RETURN. Após esta operação aparece no terminal a tela utilizada para a digitação das incidências das barras.

INCIDENCIA DAS BARRAS:

```
NUMERO DA BARRA
NO INICIAL
NO FINAL
P/ GERAR ==> G    OUTRO NO ==> RETURN
NUMERO DA BARRA (FINAL)
NO INICIAL
NO FINAL
INCREMENTO (P/ NRO DA BARRA)
ESTRUTURA: VIGA-PAREDE
NUMERO DE BARRAS = 45
```

Esta tela permite a digitação das incidências "barra a barra", bem como a geração das incidências. Para esse trabalho deve-se usar o procedimento:

- a) Digitar a incidência relativa à primeira barra do conjunto.
- b) Pressionar a tecla G: nessas condições o subsistema prepara-se para gerar a incidência do conjunto de barras.
- c) Digitar as incidências da última barra do conjunto.
- d) Digitar o incremento (com relação ao número de barras).

Após fornecer essas informações o computador irá gerar as incidências relativas ao conjunto de barras que foi informado. A seguir o cursor volta para a posição inicial na tela.

Tendo informado a incidência de todas as barras, a máquina imprime na tela a relação de todas as barras e respectivas incidências. A seguir o programa pergunta: "dados corretos (S/N) ?". Quando a resposta for não, o programa entre no modo de edição e permite a correção dos dados errados.

Na terceira opção pode-se gerar um relatório impresso na impressora contendo número dos nós, coordenadas, números das barras e incidências respectivas.

A quarta opção permite que o "buffer" de memória seja gravado em disco: como o arquivo gerado é normalmente

muito grande, o sistema permite que o usuário especifique o número da unidade de disco onde será gravado o arquivo.

Esse subsistema demonstra o caráter iterativo utilizado no projeto do sistema como um todo. Nas máquinas de grande porte a filosofia de projeto deveria ser mudada radicalmente porque o custo de um usuário utilizando um terminal interativamente é muito elevado. A solução mais econômica seria a utilização de cartões perfurados com todos os seus inconvenientes.

O próximo módulo a ser ativado é o módulo PLOTA que permite a visualização gráfica das informações fornecidas até aqui. Quando o programa entre em operação aparece o seguinte menu:

PROGRAMA PARA PLOTAR MALHAS

```
1 - PLOTAR.  
2 - EDITAR.  
3 - PARAR.  
   DIGITAR (1, 2 OU 3)1
```

Escolhida a primeira opção deve-se fornecer as seguintes informações:

- a) Fator de escala.
- b) Origem dos eixos globais da estrutura em relação aos eixos da máquina. Se não for fornecida, a máquina adota $x_o = 20$ e $y_o = 150$.
- c) Ângulo entre o eixo X do sistema global de referência e o eixo x_{maq} horizontal (ver Fig. 7.3).

Com essas informações o subsistema irá plotar a estrutura na tela para que o usuário possa verificar visualmente as informações fornecidas.

Caso ocorra um erro (nas coordenadas ou incidências) deve-se utilizar a segunda opção do subsistema que corresponde a um programa de edição dos dados que definem as características geométricas da malha.

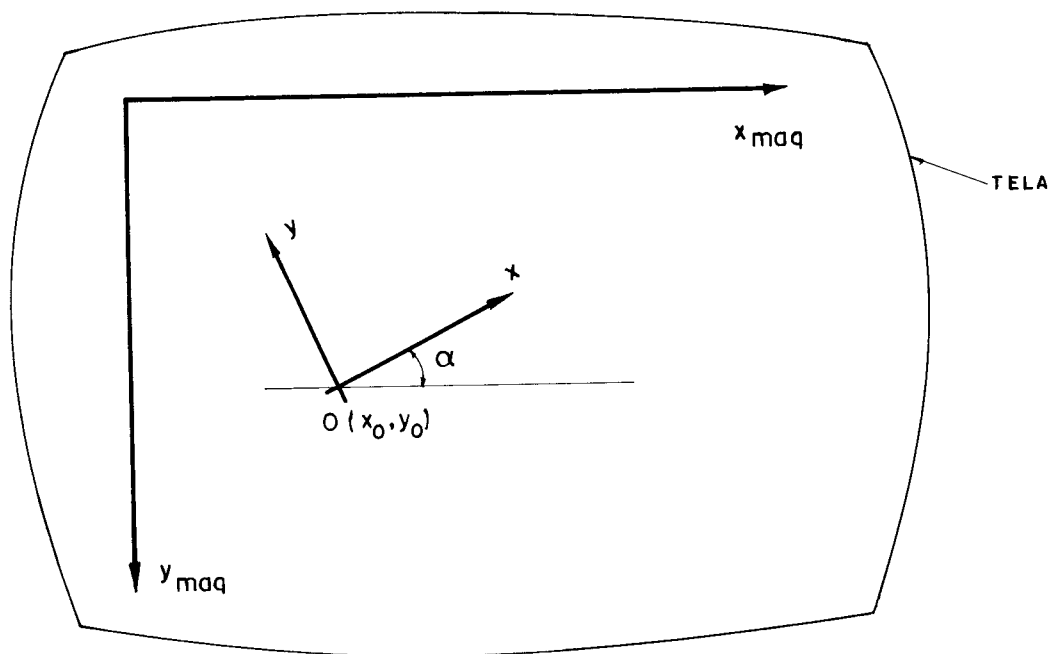


Figura 7.3 — Eixos x_{maq} e y_{maq} do computador e OXY de estrutura

A última opção disponível corresponde à gravação do "buffer" de memória se algum dado foi modificado. A seguir é ativado o supervisor.

O próximo módulo a ser executado é o módulo MODELO, que permite definir as características elásticas e geométricas do mesmo. Nesse nível deve-se fornecer os módulos de elasticidade longitudinal e transversal.

O sistema irá tratar a estrutura como um pórtico se o módulo de elasticidade transversal G for nulo.

O módulo MODELO opera com o seguinte menu:

```
TIPO DE ESTRUTURA
1 - LAJE.
2 - LAJE SOBRE APOIO ELASTICO.
3 - CHAPA.
4 - PORTICO.
5 - GRELHA.
6 - RETORNAR.
      DIGITAR (1,2,3,4,5, OU 6)1
```

Para a estrutura que está sendo analisada, escolher a opção 1 (laje). Deve-se fornecer as seguintes informações:

- a) espessura da laje: 18 cm
- b) coeficiente de Poisson: 0,2
- c) número dos nós que compõem um elemento no sentido antihorário: 7, 2, 1, 6, por exemplo. Essa informação é útil para calcular o comprimento e o ângulo de inclinação das diagonais dos elementos equivalentes da grelha.

O subsistema irá gerar automaticamente as características elásticas da grelha equivalente, utilizando as expressões (3.19) a (3.23). Para isso deve-se fornecer as informações digitadas na tela, apresentadas a seguir:

```
BARRAS //S AO EIXO X
NRD DA BARRA INICIAL 1
NRD DA BARRA FINAL 23
NRD DA ULTIMA BARRA // A Y 42
OBS. AS DEMAIS BARRAS SERAO CONSIDER. DIAGONAIS
```

Definidas as características elásticas da grelha equivalente, a laje será tratada como uma grelha.

As próximas informações referem-se às condições de vínculo da estrutura: o primeiro menu trata das articulações nas extremidades das barras e é apresentado conforme está mostrado a seguir:

```
ARTICULACOES NAS EXTREMID. DAS BARRAS
1 - TEM NO INICIO.
2 - TEM NO FIM.
3 - TEM NOS DOIS.
4 - DADOS SOBRE ARTIC. TERMINARAM.
   DIGITAR (1,2,3, OU 4)1
```

Deve-se informar:

- opção do menu (posição da articulação)
- número da barra.

Para a estrutura em estudo tem-se:

OPÇÃO DO MENU	NÚMERO DA BARRA
2	4
2	8
2	12
2	16
2	39
2	47
2	55
1	38
1	46
1	54
1	31
1	17
1	20
1	23
1	26
1	29
1	13
1	48
1	49
1	50
1	51
1	52
1	53
1	54
1	55

O segundo menu permite informar a existência de a poios engastados com deslocamento vertical:

APÓIOS ENGASTADOS SEM CORTANTE

- 1 - TEM NO INÍCIO.
- 2 - TEM NO FIM.
- 3 - FIM DOS DADOS.

DIGITAR (1,2 OU 3)2

As informações são fornecidas como no caso de articulações. O terceiro menu permite informar quais são os nós que correspondem a apoios engastados. Nestas condições deve-se digitar os seguintes números de nós:

1, 6, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 15, 10 e 5

Em função dessas informações são calculados os fatores de forma a serem utilizados na montagem da matriz de rigidez da estrutura.

O próximo módulo a ser ativado é aquele que monta a matriz de rigidez da estrutura, armazenando a sua banda superior em um vetor.

Executada a montagem da matriz de rigidez entra em operação o módulo de leitura do carregamento. Como está sendo processada uma laje com carga uniformemente distribuída, o sistema gera automaticamente o carregamento. O resultado da geração é um conjunto de cargas concentradas aplicadas nos nós da grelha equivalente.

Após o processamento da estrutura, obtém-se os seguintes resultados:

NO	DESL. Z
1	0.000000
2	-0.011278
3	-0.023910
4	-0.019852
5	0.000000
6	0.000000
7	-0.009612
8	-0.019807
9	-0.016961
10	0.000000
11	0.000000
12	-0.006243
13	-0.012811
14	-0.011290
15	0.000000
16	0.000000
17	0.000000
18	0.000000
19	0.000000
20	0.000000

Tabela 7.2 Deslocamentos de nós para a estrutura equivalente da figura 7.2.

NO	MX	MY	MX Y
1	8.132	1.621	-0.183
2	-0.631	-0.684	0.298
3	-4.484	-0.328	0.400
4	-4.239	-0.429	-0.412
5	-0.251	-0.049	-0.689
6	6.952	1.390	-0.193
7	-0.719	-0.459	0.744
8	-3.714	-1.486	0.038
9	-3.781	-1.129	-0.681
10	-0.348	0.000	-0.819
11	4.549	0.931	-0.247
12	-0.731	-0.849	1.767
13	-2.313	-2.061	0.381
14	-3.219	-2.354	-1.157
15	-0.248	-0.050	-2.001
16	0.000	0.000	0.206
17	-0.001	0.134	2.372
18	0.000	-0.090	0.702
19	0.000	-0.081	-1.167
20	0.000	0.000	-2.853

Tabela 7.2 Esforços na placa da figura 7.1.

Os esforços foram calculados utilizando-se as diferenças finitas.

Esse problema foi resolvido utilizando-se o subsistema STRUDL: foi escolhido o elemento BPR (Bending Plate Rectangle) de forma retangular. Na Tabela 7.3 foram comparados os resultados obtidos com os dois sistemas nos pontos 14 (carga concentrada) e 3 (nó no meio da borda livre).

	STRUDL		TEORIA DE EQUIVALÊNCIA		DIFERENÇA (%)	
	Nó 14	Nó 3	Nó 14	Nó 3	Nó 14	Nó 3
Desloc. Z	-0,01108	-0,02348	-0,01129	-0,02391	1,89	1,83
MX	+3,124	+4,368	+3,219	4,484	3,04	2,65
MY	+2,304	+0,321	+2,354	0,328	2,17	2,18
MX Y	-1,127	+0,389	-1,157	0,400	2,66	2,82

TABELA 7.3 - Resultados obtidos com o subsistema STRUDL e o sistema proposto.

Na Fig. 7.4 é mostrada a cópia da tela onde foi desenhada a estrutura indeformada.

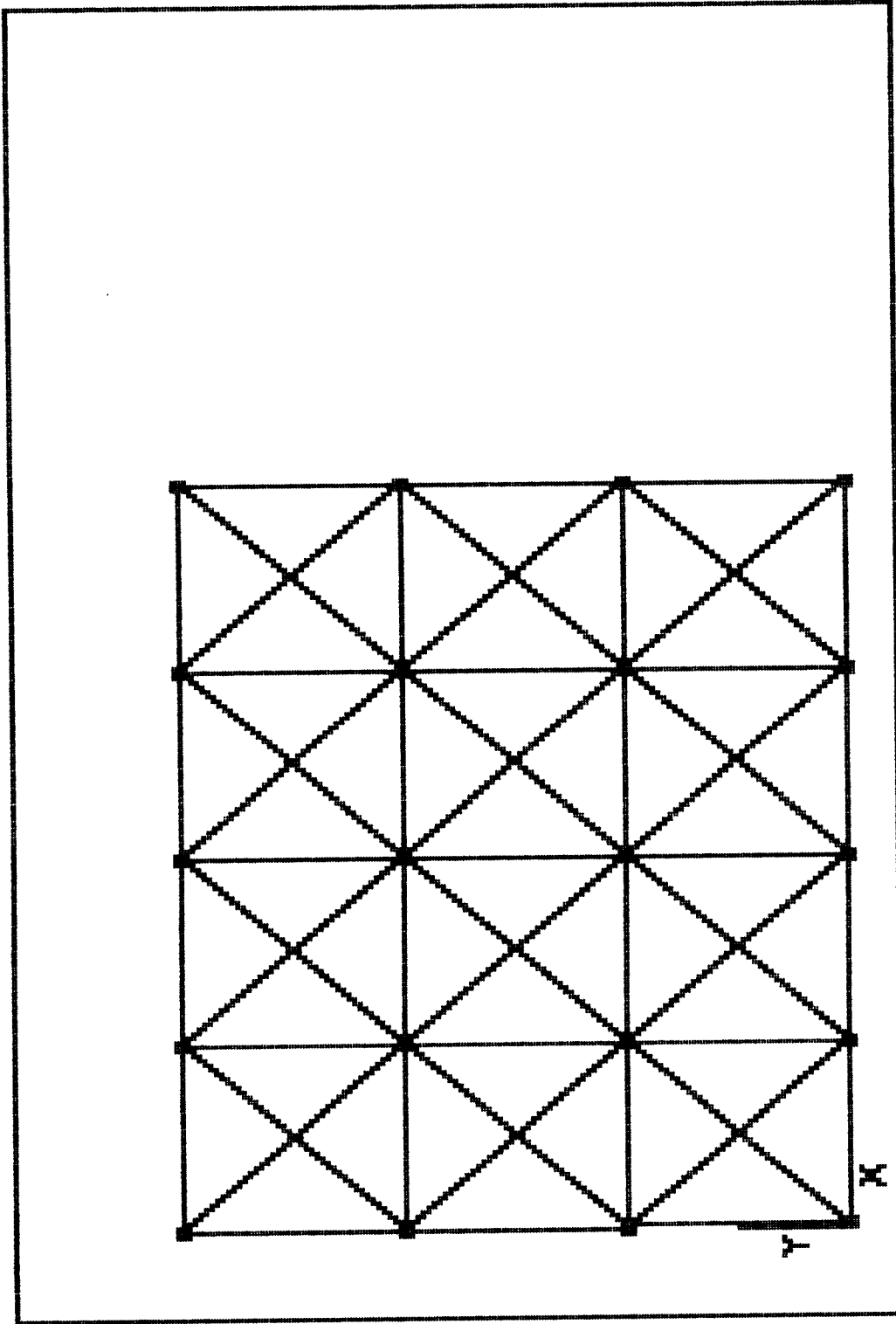


Fig. 7.4 Desenho da malha a ser calculada (impressora "compatível" com a MX-80).

3. EXEMPLO 2

Calcular a viga parede da Fig. 7.5, desprezando a influência do peso próprio. Dados:

$$E = 2 \times 10^6 \text{ tf/m}^2 \quad \text{base} = 15 \text{ cm} \quad \nu = 0,2$$

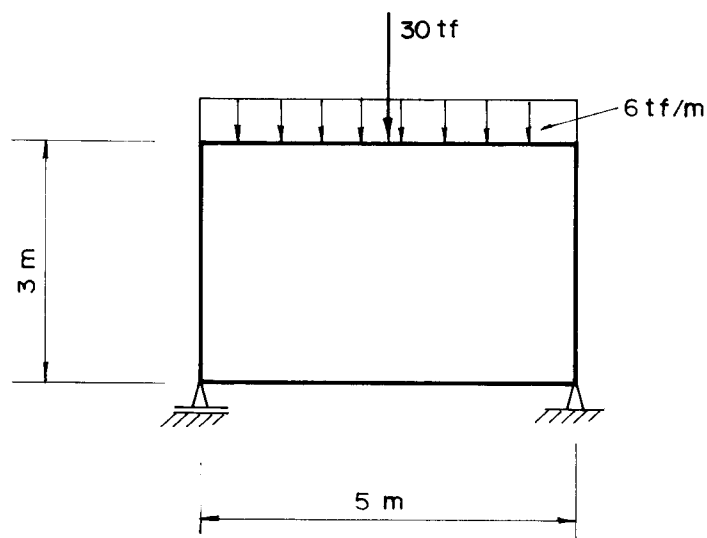


Figura 7.5 — Viga —parede a ser analisada

A viga parede apresenta simetria de forma e carga, razão pela qual foi resolvida pela metade, diminuindo conseqüentemente o tempo de processamento. A Fig. 7.6 mostra o modelo de pórtico equivalente adotado.

A iteração com o usuário é idêntica àquela descrita no exemplo 1. Após digitar as coordenadas dos nós e incidências das barras, o módulo PLOTA desenha a malha na tela. A Fig. 7.7 mostra o desenho impresso em papel. Nessas condições o usuário poderá conferir seus dados de entrada.

Os resultados do processamento encontram-se registrados nas tabelas 7.4, 7.5 e 7.6.

As tensões foram calculadas com as equações (2.94) e (2.95).

Esse problema foi resolvido com o sistema ICES (subsistema STRUDL), que utiliza a técnica dos elementos

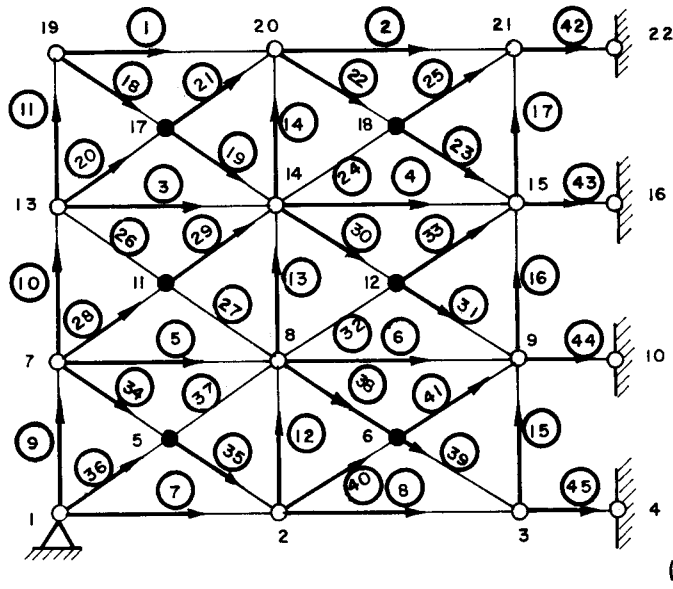
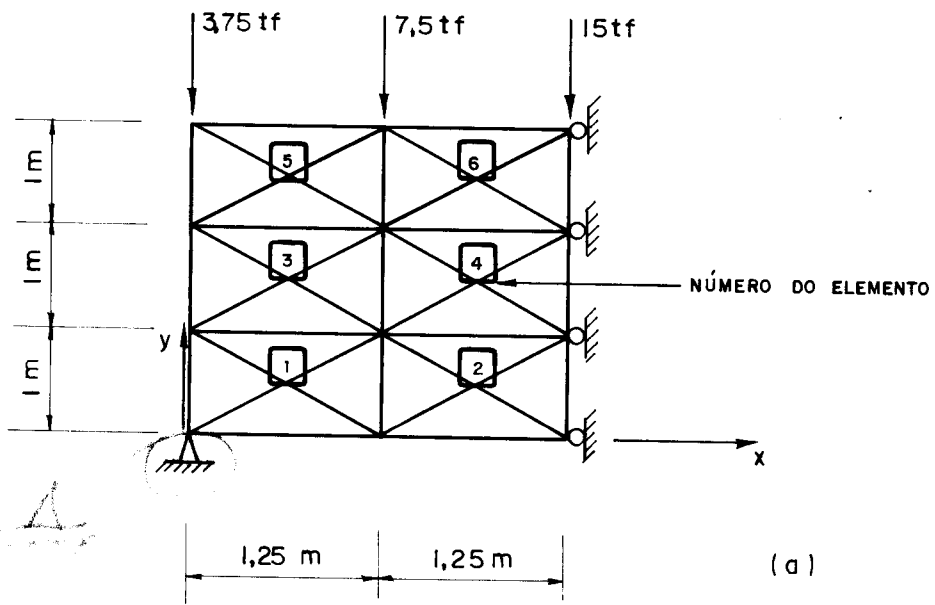


Figura 7.6 — Numeração de elementos (a) e nós, barras (b)

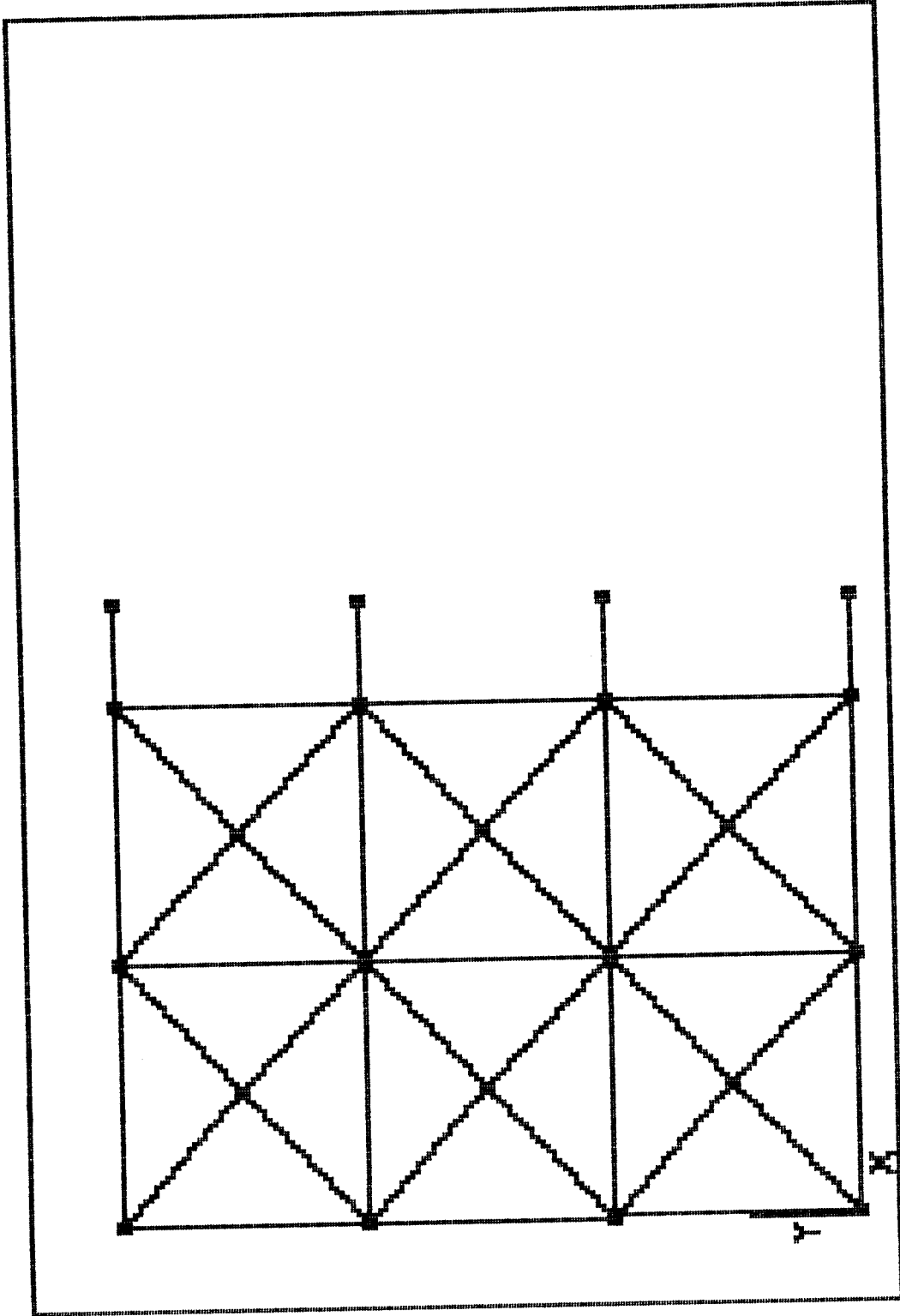


Fig. 7.7 Desenho da malha a ser calculada.

NO	DESL. X	DESL. Y
1	0.0000000	0.0000000
2	-0.0000469	-0.0002986
3	0.0000000	-0.0003120
4	0.0000000	0.0000000
5	0.0000064	-0.0002898
6	-0.0000089	-0.0003491
7	0.0000129	-0.0001686
8	0.0000215	-0.0002712
9	0.0000000	-0.0003684
10	0.0000000	0.0000000
11	0.0000198	-0.0003040
12	0.0000174	-0.0003598
13	0.0000304	-0.0002296
14	0.0000176	-0.0003184
15	0.0000000	-0.0003796
16	0.0000000	0.0000000
17	0.0000494	-0.0003042
18	0.0000384	-0.0004320
19	0.0000670	-0.0002598
20	0.0000642	-0.0003204
21	0.0000000	-0.0004798
22	0.0000000	0.0000000

Tabela 7.4 Deslocamentos de nós para a estrutura equivalente da fig. 7.6.

ELE- MENTO	SIGMA XX	SIGMA YY	TAU XY
1	-64.16	-158.8	-103.33
2	23.23	2.187	-13.42
3	-22.52	-94.70	-61.24
4	-44.75	-65.75	-54.00
5	-21.63	-41.52	-13.50
6	-87.08	-121.4	-57.33

Tabela 7.5 Tensões nos elementos da fig. 7.6 (a).

ELE- MENTO	EPSILON XX	EPSILON YY	GAMA XY
1	-0.0000162	-0.0000730	-0.0000124
2	0.0000112	-0.0000012	-0.0000161
3	-0.0000018	-0.0000451	-0.0000735
4	-0.0000158	-0.0000284	-0.0000648
5	-0.0000066	-0.0000186	-0.0000162
6	-0.0000314	-0.0000521	-0.0000688

Tabela 7.6 Deformações nos elementos da fig. 7.6 (a).

finitos. Foi escolhido um elemento de forma retangular e, em se tratando de um problema de estado plano de tensões, adotou-se o elemento "PSR" (Plane Stress Retangle).

A Fig. 7.8 mostra o sentido positivo da saída dos resultados obtidos com o sistema proposto.

Na Tabela 7.7 foram comparados os resultados obtidos com o subsistema STRUDL (elementos finitos) e a teoria de equivalência para os elementos números 2 e 6.

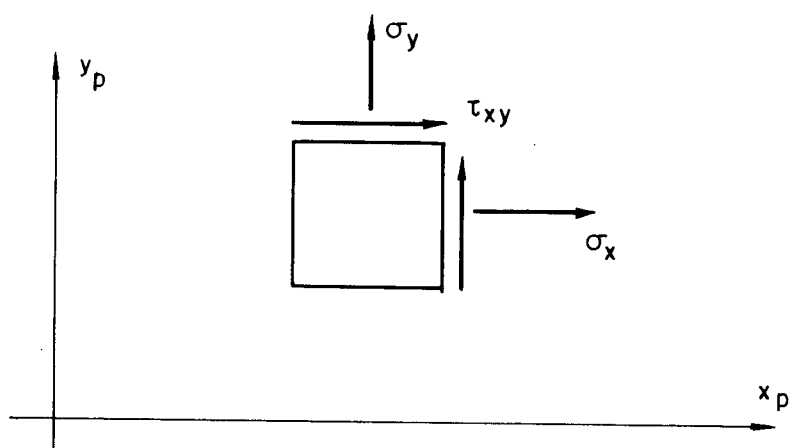


Figura 7.8 — Sentido positivo dos esforços obtidos com o sistema

	STRUDL		TEORIA DE EQUIVALÊNCIA		DIFERENÇA (%)	
	ELEM. 2	ELEM. 6	ELEM. 2	ELEM. 6	ELEM. 2	ELEM. 6
σ_{xx}	22,16	-87,24	23,23	-87,08	4,82	0,18
σ_{yy}	2,11	-117,51	2,187	-121,4	3,64	3,3
τ_{xy}	-13,34	-58,75	-13,42	-57,33	0,6	2,4

TABELA 7.7 - Comparação dos resultados.

4. EXEMPLO 3

Calcular a placa da Fig. 7.9, apoiada em um solo cujo coeficiente de recalque vale 200. Sobre a placa atua uma carga concentrada de intensidade igual a 100, aplicada no centro da placa. Desprezar o efeito do peso próprio.

Dados:

$$E = 3 \times 10^7 \quad \nu = 0,3 \quad t = 0,25 \quad l = 12$$

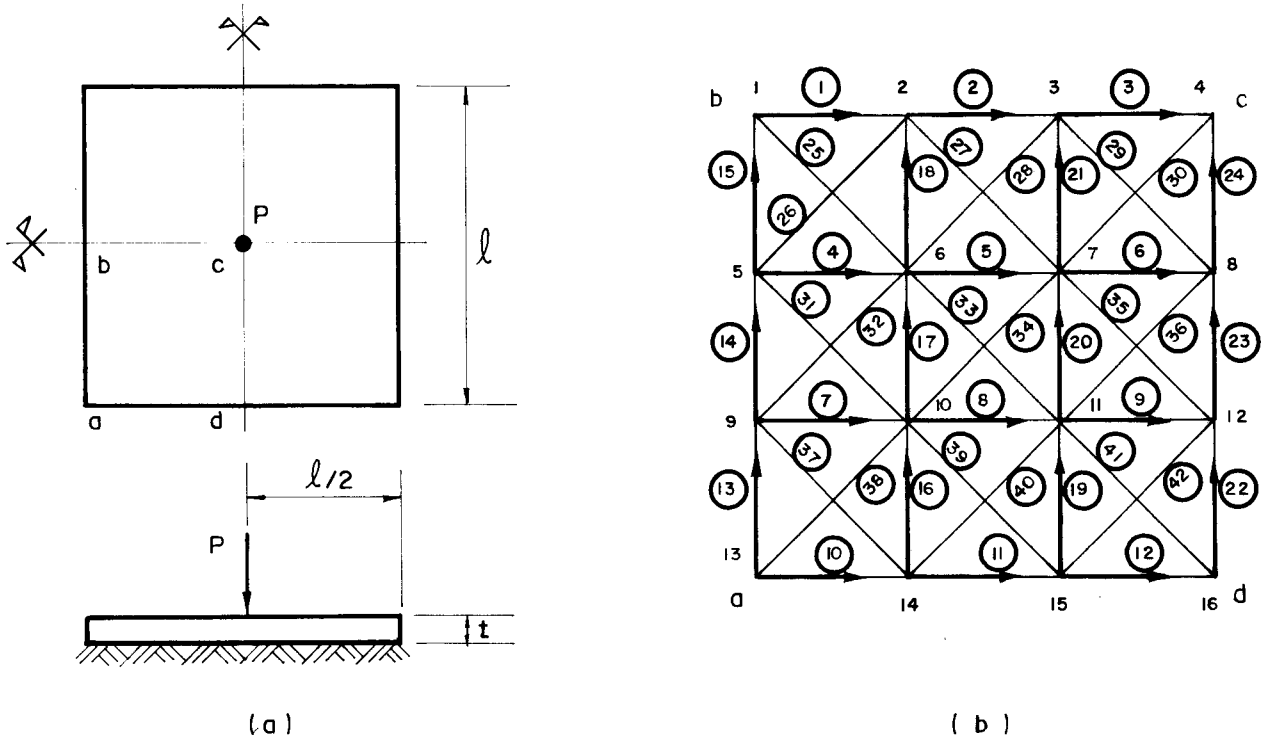


Figura 7.9 — Laje apoiada em solo elástico (a) e grelha equivalente (b)

Como a placa tem simetria de forma e de carga será feita a equivalência para 1/4 da placa (região abcd da Fig. 7.9).

A entrada de dados é análoga à da grelha. Ao escolher a opção "laje sobre apoio elástico", o usuário deverá fornecer as informações:

- a) coeficiente de recalque do solo: 200
- b) definir o tipo de borda; para esse trabalho é utilizado o seguinte menu de opções:

TIPOS DE BORDA:

- 1 -
- 2 - BORDA FORA DO VÉRTICE
- 3 - BORDA NO VÉRTICE
- 4 - BORDA ENTRE VÉRTICES
- 5 - FIM DOS DADOS

DIGITAR (2, 3, 4 ou 5) ?

Essas opções estão de acordo com a teoria exposta no ítem 5.2. Escolher a opção e digitar em seguida o número do nó. Nessas condições deve-se informar os seguintes dados:

OPÇÃO	NÚMERO DO NÓ
3	13
2	9
2	5
3	1
2	2
2	3
2	4
2	14
2	15
2	16

Os resultados do processamento estão nas tabelas 7.8 e 7.9.

NO	DESL. Z
1	-.01184
2	-.01972
3	-.02624
4	-.02884
5	-.01972
6	-.02822
7	-.03582
8	-.03914
9	-.02624
10	-.03582
11	-.04553
12	-.05028
13	-.02884
14	-.03914
15	-.05028
16	-.05638

Tabela 7.8 Deslocamentos de nós para a estrutura equivalente da fig. 7.9 (b).

NO	MX	MY	MX Y
1	0.000	0.000	0.000
2	2.275	0.638	0.080
3	6.513	1.954	0.090
4	8.653	2.596	0.000
5	0.683	2.275	0.070
6	1.930	1.930	0.711
7	7.059	1.919	0.086
8	10.619	1.905	0.000
9	1.954	6.513	0.084
10	1.919	7.059	0.778
11	10.723	10.723	0.906
12	18.327	13.138	0.000
13	2.596	8.653	0.000
14	1.905	10.619	0.000
15	13.138	18.327	0.000
16	26.368	26.368	0.000

Tabela 7.9 Esforços na placa da fig. 7.9 (a).

Resolvendo esse problema pelo processo de Ritz a flecha no centro da placa vale $-0,0528$. Através do processo de equivalência obteve-se $-0,05638$, o que representa um erro de 6%.

No processo de Ritz deve-se calcular séries trigonométricas duplas, o que provoca erros de truncamento nos resultados obtidos.

Além disso, a placa foi calculada admitindo dimensão infinita em uma das direções. Essas simplificações certamente irão influenciar nos resultados dos cálculos. Portanto, o erro de 6% é um erro admissível.

Para demonstrar a capacidade de processamento gráfico dos microcomputadores de uso profissional, na fase de desenvolvimento do projeto foi feito o cálculo de um pórtico sob a ação do vento (cargas horizontais) e foi desenhada em tela a estrutura indeformada sobreposta com a deformada, conforme pode ser visto na Fig. 7.10.

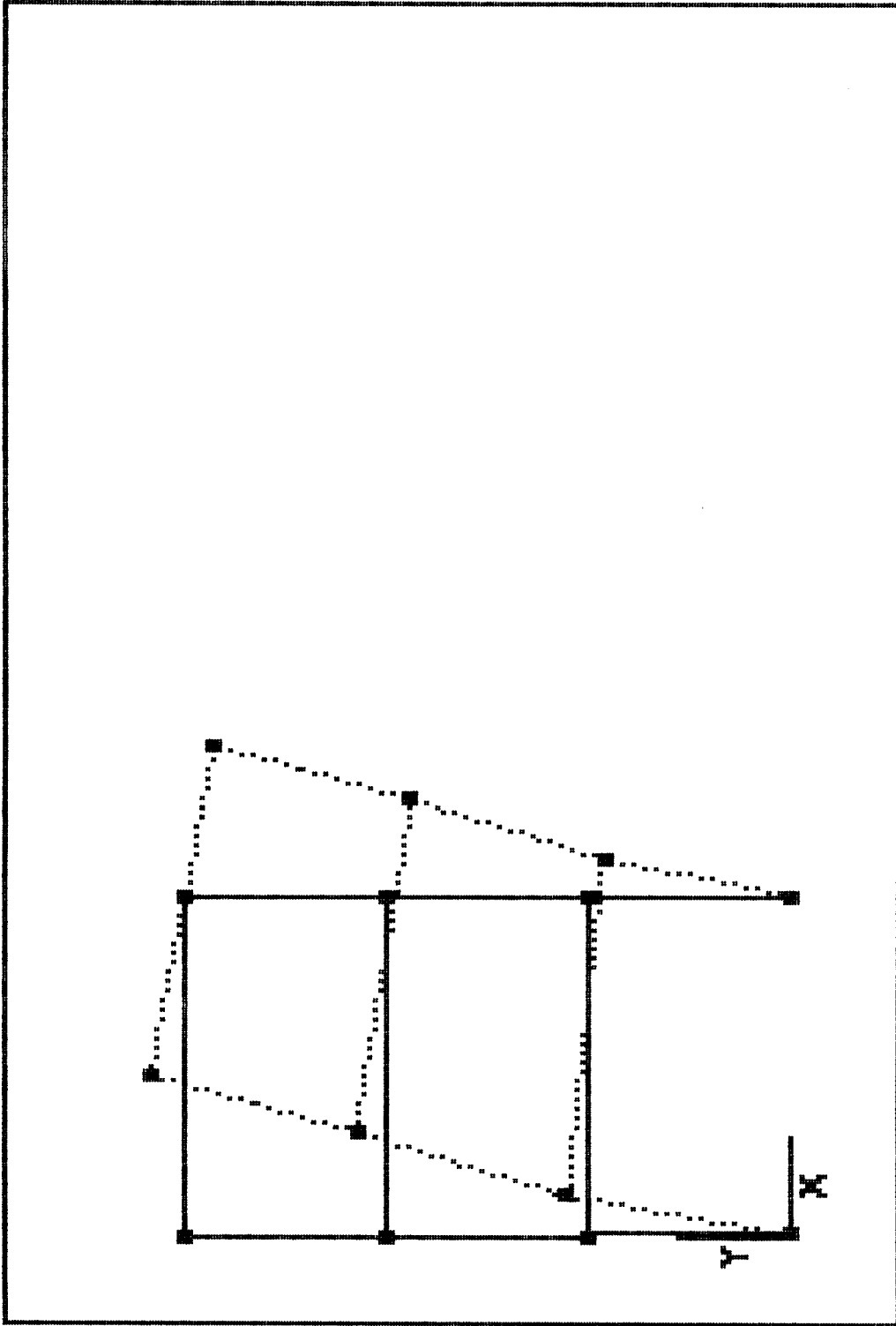


Fig. 7.10 Pórtico sob a ação de cargas horizontais: estrutura indeformada sobreposta com a deformada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O exame dos resultados obtidos com o sistema nos diversos problemas resolvidos mostrou que ele pode ser utilizado para resolver estruturas correntes com precisão satisfatória.

Como a estrutura contínua é simulada por uma ma-lha composta por barras a montagem da matriz de rigidez é muito simples e econômica quando se pensa em consumo de memória de máquina.

Os modelos utilizados no sistema valem para qual-quer valor do coeficiente de Poisson.

O baixo consumo de memória permite a implantação do sistema em um microcomputador, o que é altamente inte-ressante para o profissional que pretende ter uma capacida-de local de processamento relativamente poderosa.

No sistema existem alguns dados que, embora já estejam com áreas reservadas, não são ainda efetivamente utilizados; é o caso das barras com seção variável e do coeeficiente de dilatação térmica.

O sistema poderá ser ampliado para resolver os seguintes problemas:

- a) estabilidade de chapas
- b) estudo das estruturas tridimensionais
- c) elementos triangulares que permitirão a resolução de lajes esconsas
- d) dimensionamento de seções

Na utilização do sistema na versão atual recomenda-se o uso de malhas aproximadamente quadradas, o que le-va a uma mior precisão nos resultados finais.

ANEXO A

LISTAGENS

As listagens de todos os programas que compõem o sistema para o cálculo de estruturas pelo processo da equivalência estão apresentadas a seguir.

Todos os programas foram escritos na linguagem BASIC (versão applesoft). A rotina de simulação de disco no último banco de 16K de memória (máquina com 64K bytes) foi escrita em assembler. Na listagem tem-se os códigos das instruções de máquina desse programa, representadas no sistema de numeração hexadecimal.

Considerando que nem todas as pessoas dispõem de um tradutor assembler, decidiu-se pela utilização do "mini-assembler" disponível no sistema monitor das máquinas "compatíveis" com o Apple II. Esse tradutor está gravado na memória ROM da máquina.

Para acionar o "mini-assembler" digitar:

CALL - 151 e pressionar a tecla RETURN.

Aparece um asterisco na tela avisando que o "mini-assembler" está ativo. Considere a primeira linha do programa:

9200 4C 18 92 94 92 97 98

O número 9200 identifica a memória onde será iniciada a gravação do programa para simulação em disco. A

instrução de máquina, cujo código de máquina (no sistema hexadecimal de numeração) é 4C será armazenada na memória 9200. As demais serão armazenadas em memórias subsequentes.

Digitar toda a linha e, no final, pressionar a tecla RETURN. Após digitar todo o programa usa-se o comando

```
BSAVE SIMULA, A$9200 , L$9481
```

para gravá-lo em disquete. A fim de voltar ao BASIC, digitar o comando:

```
CTRL C e pressionar a tecla RETURN.
```

Nessas condições, a rotina de simulação ficará gravada em disco. Outros detalhes sobre a utilização do "mini-assembler" poderão ser encontrados no manual do sistema operacional da máquina.

A N E X O B

A LINGUAGEM BASIC NO PROCESSAMENTO CIENTÍFICO

No Brasil existe uma grande desinformação a respeito da linguagem BASIC, provocada principalmente pelo grande atraso do setor de processamento de dados do país. Aliado a isso existe o fato da linguagem ainda não ser padronizada (foi projetada em 1965 e atingiu um grande desenvolvimento a partir de 1980).

Praticamente, cada fabricante de microcomputadores comercializa sua versão da linguagem BASIC: assim, a versão da linguagem depende da capacidade de processamento da máquina.

Por outro lado, o processamento científico no Brasil normalmente é desenvolvido para máquinas grandes, independentemente do porte do problema a ser processado. Com a crise econômica e a disponibilidade de microcomputadores no mercado esse quadro está mudando vagarosamente porque o ítem "custo" passou a ser importante, principalmente em projetos desenvolvidos para o governo.

As versões do BASIC, adequadas para o processamento científico, são aquelas que operam sob os seguintes sistemas operacionais: DOS 3.3, ProDOS e CP/M para máquinas de 8 bits; MS-DOS, UNIX e CPM/86 para máquinas de 16 bits.

Os sistemas operacionais DOS 3.3 e ProDOS suportam uma das versões mais poderosas para este tipo de pro-

cessamento. Quando comparadas com a linguagem FORTRAN tem as seguintes vantagens;

- a) Existência de comandos para o desenho de formas em alta resolução, utilizando como terminal uma televisão comum.
- b) Disponibilidade de funções para o processamento de caracteres, como por exemplo: MID\$, STR\$, CHR\$, LEFT\$, RIGHT\$, VAL, ASC, LEN, etc...
- c) Comandos para formatação de tela.
- d) Precisão de nove dígitos.
- e) Facilidades para executar programas em linguagem de máquina.
- f) Permite o redimensionamento de matrizes.
- g) Existência do compilador e interpretador BASIC.
- h) Ótima relação precisão/consumo de memória.

Quando o programador tem a preocupação de estruturar seus programas, ele encontra dificuldades ao utilizar a linguagem FORTRAN porque não estão disponíveis estruturas de controle do tipo CASE e DOWHILE. Além disso, os comandos de entrada e saída da linguagem são totalmente ultrapassados.

A linguagem FORTRAN ainda é utilizada porque:

- a) Existem muitos programas escritos nessa linguagem.
- b) Resistência das pessoas da área tecno-científica a linguagens modernas e mais adequadas para o desenvolvimento de sistemas. No Brasil existe um grande interesse na resolução de um problema técnico porque as pessoas que atuam nessa área têm, normalmente, poucos conhecimentos de análise de sistemas.
- c) Alguns sistemas operacionais suportam apenas a linguagem FORTRAN para aplicações não administrativas.

A linguagem BASIC é típica das máquinas de pequeno porte. A evolução da tecnologia dos microcomputadores provocou o desenvolvimento da linguagem; nestas condições, o BASIC utiliza normalmente todos os recursos disponíveis em uma determinada máquina, o que não acontece com o FORTRAN que é uma linguagem padronizada ou quase padronizada. Atualmente a Apple Inc. está iniciando a comercialização de um novo microcomputador chamado Macintosh; essa é uma máquina que utiliza uma CPU de 16 bits e a interação com o usuário é feita através dos amplos recursos gráficos existentes no equipamento. A versão da linguagem BASIC disponível para esse microcomputador tem um poder de processamento muito superior ao FORTRAN e é comparável à linguagem PASCAL.

De modo geral, uma linguagem é adequada para o processamento técnico-científico quando, além de executar cálculos, permite a estruturação dos programas, tem recursos gráficos, possibilita o processamento de caracteres eficientemente e permite a criação de arquivos que possam ser processados por outros sistemas disponíveis no mercado. Certamente a linguagem FORTRAN não possui a maioria dessas características existentes no PASCAL, BASIC (versões mais poderosas), C e APL.

Quanto ao item "velocidade de processamento", existem dois fatos que devem ser considerados:

- a) O BASIC disponível na máquina é um interpretador ou compilador?
- b) A CPU do microcomputador é de 16 ou 8 bits?

Normalmente os microcomputadores são comercializados com o interpretador BASIC, que é um tradutor para linguagem de máquina lento. Porém, tem a grande vantagem de permitir o desenvolvimento e a depuração de programas com bastante facilidade, principalmente se forem utilizadas técnicas de estruturação de sistemas e programas.

As CPUs de 8 bits operam normalmente com a velocidade de 1,5 a 2 MHz, enquanto que as CPUs de 16 bits operam em 8 MHz ou mais; considerando iguais as velocidades de leitura e gravação em disco, o processamento em 16 bits é muito rápido.

Portanto, a linguagem BASIC pode ser rápida ou lenta: tudo depende do "hardware" e do "software" básico disponíveis no microcomputador.

Do exposto pode-se concluir que ao utilizar os microcomputadores no processamento técnico-científico, a linguagem a ser utilizada é o BASIC ou então o PASCAL: a linguagem FORTRAN está totalmente ultrapassada e será, com o tempo, substituída por linguagens com capacidade gráfica de processamento e que permitam a utilização de técnicas de estruturação de sistemas e programas.

```
180 REM
190 REM  MODULO PARA GERAR ARQUIVO EXEC
192 REM
194 REM  AUTOR:  ENG. JOAO A. MAGRI
196 REM
200 D$ = CHR$(4)
210 PRINT D$;"OPEN DRIVER"
220 PRINT D$;"WRITE DRIVER"
230 PRINT "RUN OPERACAO"
240 PRINT "RUN CADAS"
250 PRINT "RUN MALHA"
260 PRINT "RUN FLOTA"
270 PRINT "RUN MODELO"
280 PRINT "RUN CARRE"
290 PRINT "RUN MRIG"
300 PRINT "RUN EDSOL"
310 PRINT "RUN ESFREL"
320 PRINT "RUN FLODE"
330 PRINT "END"
340 PRINT D$;"CLOSE DRIVER"
350 END
```

```
80 REM
82 REM  MODULO SUPERVISOR
84 REM
86 REM  AUTOR:  JOAO A. MAGRI
88 REM
90 D$ = CHR$(4): TEXT :A = FRE (0): POKE 216,0
100 FOR J = 1 TO 39:A$ = A$ + "*": NEXT J
110 PRINT : PRINT A$
120 PRINT : PRINT TAB(5);"SISTEMAS PARA O CALCULO ESTA": PRINT

130 PRINT TAB(5);"TICO DE ESTRUTURAS PELO PRO-": PRINT
140 PRINT TAB(5);"CESSO DA EQUIVALENCIA.": PRINT : PRINT : PRINT

150 PRINT TAB(8);"AUTOR:  ENG. JOAO A MAGRI": PRINT
160 PRINT TAB(8);"ULTIMA REVISAO: 08/12/84": PRINT : PRINT
170 PRINT TAB(5);"EQUIVALENCIAS DISPONIVEIS:": PRINT
180 PRINT TAB(8);"1) CHAPA / PORTICO.": PRINT
190 PRINT TAB(8);"2) PLACA / GRELHA.": PRINT : PRINT
200 PRINT A$: GET PF$
210 PRINT D$;"EXEC DRIVER"
220 END
```

```
90 REM
92 REM  MODULO  INSTALACAO
94 REM
96 REM  AUTOR:  ENG.  JOAO  A.  MAGRI
98 REM
100 READ DISCO,IMPE$,TIPE$,CT$,MEMO$
110 POKE 216,0:D$ = CHR$(4)
130 PRINT D$;"OPEN  INSTALACAO"
140 ONERR GOTO 170
145 PRINT D$;"READ  INSTALACAO"
150 INPUT DISCO,IMPE$,TIPE$,C AT AD$,MEMO$
160 GOTO 195
170 IF PEEK(222) = 5 THEN POKE 216,0: GOTO 195
180 PRINT : PRINT TAB(10);"ERRO  NRD  "; PEEK(222): STOP
195 CALL - 936
200 PRINT : PRINT TAB(10);"CONFIGUTACAO  ATUAL:"; PRINT : PRINT

210 PRINT TAB(5);"1 -  NRD  DE  DRIVES  =  ";DISCO: PRINT
220 PRINT TAB(5);"2 -  IMPRESSORA  =  ";IMPE$: PRINT
230 PRINT TAB(5);"3 -  MARCA  =  ";TIPE$: PRINT
240 PRINT TAB(5);"4 -  CARTAO  Z-80  =  ";CT$: PRINT
250 PRINT TAB(5);"5 -  EXPANSAO  DE  16K  =  ";MEMO$
255 PRINT : PRINT TAB(5);"6 -  FIM  DAS  ALTERACOES."
260 PRINT : PRINT : PRINT TAB(10);"QUER  ALTERAR  (S/N)  ";: INPUT
    OP$
270 IF OP$ < > "S" THEN GOTO 420
280 VTAB 19: HTAB 8: CALL - 958
290 PRINT : PRINT : PRINT TAB(8);"OPCAO  NUMERO  ";: INPUT N: IF
    N < 1 OR N > 6 THEN GOTO 280
295 IF N = 6 THEN GOTO 195
300 PRINT : PRINT TAB(8);"VALOR  ATUALIZADO  ";: INPUT V$
310 ON N GOTO 350,360,370,380,390
350 DISCO = VAL(V$): GOTO 280
360 IMPE$ = V$: GOTO 280
370 TIPE$ = V$: GOTO 280
380 CT$ = V$: GOTO 280
390 MEMO$ = V$: GOTO 280
420 PRINT D$;"CLOSE  INSTALACAO"
430 PRINT D$;"DELETE  INSTALACAO"
440 PRINT D$;"OPEN  INSTALACAO"
450 PRINT D$;"WRITE  INSTALACAO"
460 PRINT DISCO: PRINT IMPE$: PRINT TIPE$: PRINT CT$: PRINT MEMO
    $
470 PRINT D$;"CLOSE  INSTALACAO"
480 END
550 DATA 1,N,MX,N,N
```

```
95 REM
96 REM  MODULO PARA CADASTRAR ESTRUTURA
97 REM
98 REM  AUTOR: ENG. JOAO A. MAGRI
99 REM
100 CALL - 936:D# = CHR# (4)
105 FOR BB = 1 TO 30:PT# = PT# + "." : NEXT BB
107 POKE 33,12
110 Y1 = 1
115 DIM NM$(60),NN(60),NB(60),NA(60),NC(60),E(60),G(60),U1(60),Z
    2(60),Z1(60),NE$(60),Z$(7)
116 Z$(1) = "NOME DO PROJETO (MAX 30 CARACT.) ":Z$(2) = "NUMERO
    DE NOS":Z$(3) = "NUMERO DE BARRAS":Z$(4) = "NUMERO DE APOIOS"

117 Z$(5) = "NUMERO DE CARREGAMENTOS":Z$(6) = "NRQ DA ESTRUT. (MA
    X 11 CAR.)"
120 ONERR GOTO 1400
130 PRINT D#;"OPEN GERAIS,L74,D":Y1
140 PRINT D#;"READ GERAIS,R0"
150 INPUT NR
160 FOR K = 1 TO NR
170 PRINT D#;"READ GERAIS,R":K
180 INPUT NM$(K),NN(K),NB(K),NA(K),NC(K),E(K),G(K),U1(K),Z2(K),Z
    1(K),NE$(K)
190 NEXT K
200 CALL - 936:P# = "PROGRAMA PARA CADASTRAR EST.": GOSUB 20300

205 GOSUB 20300
210 PRINT : PRINT TAB( 12);"OPCOES:": PRINT : PRINT
220 PRINT TAB( 5);"1 - CADASTRAR ESTRUTURA.": PRINT : PRINT TAB(
    5);"2 - ELIMINAR ESTRUTURA CADASTRADA.": PRINT
230 PRINT TAB( 5);"3 - LISTAR CADASTRO.": PRINT : PRINT TAB( 5
    );"4 - PARAR.": PRINT : PRINT
240 PRINT TAB( 15);"DIGITAR (1,2,3 OU 4)": GET P#
245 LOMEN:30420: POKE - 13450,98
250 OP% = VAL (P#): IF OP% < 1 OR OP% > 4 THEN GOTO 200
260 ON OP% GOTO 350,600,850,300
300 PRINT D#;"CLOSE GERAIS": END
350 CALL - 936:P# = "CADASTRAMENTO DA ESTRUTURA": GOSUB 20300
360 NR = NR + 1
370 PRINT TAB( 5);Z$(1): PRINT : PRINT : PRINT : PRINT TAB( 5)
    ;Z$(2): PRINT : PRINT TAB( 5);Z$(3): PRINT
380 PRINT TAB( 5);Z$(4): PRINT : PRINT TAB( 5);Z$(5): PRINT
390 PRINT TAB( 5);Z$(6)
395 HTAB 6: VTAB 6: PRINT PT#
400 HTAB 6: VTAB 6: INPUT NM$(NR): IF LEN (NM$(NR)) > 30 THEN GOTO
    400
405 HTAB 19: VTAB 8: PRINT MID$( PT#,1,4)
410 HTAB 19: VTAB 8: INPUT NN(NR): IF NN(NR) < = 0 THEN GOTO 4
    10
415 HTAB 22: VTAB 10: PRINT MID$( PT#,1,4)
420 HTAB 22: VTAB 10: INPUT NB(NR): IF NB(NR) < = 0 THEN GOTO
    420
425 HTAB 22: VTAB 12: PRINT MID$( PT#,1,4)
430 HTAB 22: VTAB 12: INPUT NA(NR): IF NA(NR) < = 0 THEN GOTO
    430
435 HTAB 29: VTAB 14: PRINT MID$( PT#,1,4)
440 HTAB 29: VTAB 14: INPUT NC(NR): IF NC(NR) < = 0 THEN GOTO
    440
445 HTAB 34: VTAB 16: PRINT MID$( PT#,1,7)
```

```
450 HTAB 34: VTAB 16: INPUT NE$(NR): IF LEN (NE$(NR)) > 11 THEN
    GOTO 450
460 HTAB 9: VTAB 19: PRINT "DADOS CORRETOS (S/N)";: GET P$
470 IF P$ < > "S" THEN GOTO 400
490 PRINT NM$(NR): PRINT NN(NR): PRINT NB(NR): PRINT NA(NR): PRINT
    NC(NR): PRINT E: PRINT G: PRINT U1: PRINT Z2: PRINT Z1: PRINT
    NE$(NR)
500 GOTO 200
595 REM
596 REM ELIMINAR REGISTRO
597 REM
600 CALL - 936:P$ = "ELIMINAR ESTRUTURA DO CADASTRO": GOSUB 203
    00: PRINT : PRINT
610 HTAB 5: VTAB 5: PRINT Z$(6): VTAB 7: HTAB 5: PRINT MID$(PT
    $,1,12): HTAB 5: VTAB 7: INPUT BR$: PRINT : PRINT
615 IF BR$ = "FIM" THEN GOTO 200
620 FOR K = 1 TO NR
630 IF NE$(K) = BR$ THEN GOTO 680
640 NEXT K: HTAB 5: VTAB 20: PRINT "ESTRUTURA NAO CADASTRADA.": GOTO
    610
650 CALL - 958
680 CALL - 958: PRINT : PRINT : PRINT : PRINT TAB( 8);"SERÁ EL
    IMINADA A ESTRUTURA ";BR$
690 PRINT : PRINT : PRINT TAB( 8);"POSSO CONTINUAR (S/N) ";: GET
    P$: IF P$ < > "S" THEN GOTO 600
695 J = 0
700 FOR K = 1 TO NR
710 IF NE$(K) = BR$ THEN GOTO 750
720 J = J + 1
730 PRINT D$;"WRITE GERAIS,R";J
740 PRINT NM$(NR): PRINT NN(NR): PRINT NB(NR): PRINT NA(NR): PRINT
    NC(NR): PRINT E: PRINT G: PRINT U1: PRINT Z2: PRINT Z1: PRINT
    NE$(NR)
750 NEXT K
760 NR = NR - 1
770 PRINT D$;"WRITE GERAIS,R0"
780 PRINT NR
790 GOTO 200
845 REM
846 REM MODULO PARA LISTAGEM DO CADASTRO
847 REM
850 CALL - 936:P$ = "LISTAGEM DO CADASTRO": GOSUB 20300
860 PRINT : PRINT : PRINT TAB( 5);"QUER SAIDA PARA TELA OU IMPR
    ESSORA (T/I) ";: GET P$: PRINT : PRINT
870 IF P$ = "I" THEN PRINT D$;"PR#1": GOTO 1200
880 IF P$ < > "T" THEN GOTO 850
890 PRINT TAB( 5);"QUER LISTAR TODO O CADASTRO (S/N) ";: GET P$
    $
900 IF P$ < > "S" THEN GOSUB 1000: GOTO 1007
902 REM
904 REM LISTA TODO O CADASTRO
906 REM
930 FOR K = 1 TO NR
940 CALL - 936: PRINT TAB( 5);Z$(1): PRINT : PRINT TAB( 7);NM
    $(K)
945 PRINT : PRINT
950 PRINT TAB( 5);Z$(2);" ";NN(K): PRINT
960 PRINT TAB( 5);Z$(3);" ";NB(K): PRINT : PRINT TAB( 5);Z$(4)
    ;" ";NA(K): PRINT
970 PRINT TAB( 5);Z$(5);" ";NC(K): PRINT : PRINT TAB( 5);Z$(6)
    ;" ";NM$(K): PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
980 VTAB 22: HTAB 3: PRINT "P/ CONT. ==> RETURN : F ==> FIM";:
    GET PP$
```

```
985 IF PS# = "S" THEN GOTO 990
986 IF PP# = "F" THEN PP# = "": GOTO 200
988 IF PS# = "N" THEN GOSUB 1000: GOTO 1007
990 NEXT K
995 GOTO 200
996 REM
997 REM LISTA DADOS DE UMA EMPRESA
998 REM
1000 CALL - 936
1005 VTAB 2: PRINT TAB( 5);Z$(6);" F PARA TERMINAR. "; INPUT P
    P#: RETURN
1007 IF PP# = "F" THEN PS# = "": GOTO 200
1010 FOR K = 1 TO NR
1020 IF NE$(K) = PP# THEN GOTO 940
1030 NEXT K
1040 HTAB 5: VTAB 20: PRINT "ESTRUTURA NAO CADASTRADA.": GOSUB 1
    005: GOTO 1007
1195 REM
1196 REM RELATORIO EM IMPRESSORA
1197 REM
1200 SLOT = 1
1202 POKE 1656 + SLOT,72
1210 PRINT TAB( 3);"NOME DO PROJETO"; TAB( 32);"NRD"; TAB( 39);
    "NRD"; TAB( 47);"NRD"; TAB( 55);"NRD"; TAB( 63);"NRD"
1220 PRINT TAB( 32);"NDS"; TAB( 37);"BARRAS"; TAB( 45);"APOIOS"
    ; TAB( 53);"CARRE."; TAB( 60);"ESTRUTURA": PRINT
1230 FOR K = 1 TO NR
1240 PRINT NM$(K); TAB( 32);NN(K); TAB( 39);NB(K); TAB( 47);NA(K
    ); TAB( 54);NC(K); TAB( 60);NE$(K): PRINT
1250 NEXT K
1260 PRINT D#;"PR#0": GOTO 200
1400 IF PEEK (222) = 5 THEN POKE 216,0: GOTO 200
1410 PRINT : PRINT : PRINT "ERRO NRD = "; PEEK (222): STOP
20300 VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT P#: NORMAL
    : PRINT : RETURN
```

```
85 REM
90 REM MODULO MALHA
100 REM
102 REM AUTOR: ENG. JOAO A. MAGRI
104 REM
108 TEXT : CLEAR : POKE 216,0:A = FRE (0): POKE 222,15: POKE 20
    3,30
110 P# = "PROGRAMA PARA GERAR MALHA": CALL - 936:D# = CHR# (4)
120 GOSUB 20300:KD = 1
130 VTAB 5: HTAB 5: INPUT "NUMERO DA ESTRUTURA ";NE
140 PRINT D#;"OPEN GERAIS,L74,D";KD
150 PRINT D#;"READ GERAIS,R";NE
160 INPUT NM#,NN,NB,NA,NC,E,G,U1,Z2,Z1
170 PRINT D#;"CLOSE GERAIS"
175 IF PEEK (222) = 5 THEN STOP
180 DIM XN(NN),YN(NN),NOX(NN),BAZ(NB),A1(NB),A2(NB)
190 P# = "OPKOES:": GOSUB 20300
200 VTAB 5: HTAB 5: PRINT "1 - CRIAR MALHA.": VTAB 7: HTAB 5: PRINT
    "2 - CRIAR INCIDENCIAS."
210 VTAB 9: HTAB 5: PRINT "3 - LISTAGEM NA IMPRESSORA.": VTAB 11
    : HTAB 5: PRINT "4 - PARAR.": VTAB 15: HTAB 10: INPUT "DIGITA
    R (1,2,3,QU 4)";OP: IF OP < 1 OR OP > 4 THEN GOTO 190
220 ON OP GOTO 300,700,1200,1400
300 K = 0
```

```
310 CALL - 936:P# = "COORDENADAS DOS NOS": GOSUB 20300: VTAB 4:
    HTAB 5: INPUT "NUMERO DO NO ";N1%
320 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "COORDENADA X ";XN(N1%): VTAB 8: HTAB
    5: INPUT "COORDENADA Y ";YN(N1%)
330 VTAB 10: HTAB 5: INPUT "NRO DO NO OU GERAR ";NF#
340 K = K + 1:NO%(N1%) = N1%:NF% = VAL (NF#)
360 N1% = NF%: IF K < NN THEN CALL - 936: VTAB 2: PRINT TAB( 5
    );"NRO DO NO = ";N1%: GOTO 320
370 GOTO 460
400 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 5: INPUT "NRO DO NO (FINAL) ";NF%:
    VTAB 4: HTAB 5: INPUT "COORD. X (FINAL) ";XN(NF%): VTAB 6: HTAB
    5: INPUT "COORD. Y (FINAL) ";YN(NF%)
410 VTAB 8: HTAB 5: INPUT "INCREMENTO ";IN%:NO%(NF%) = NF%
420 DX = (NF% - N1%) / IN%:IX = (XN(NF%) - XN(N1%)) / DX:IY = (YN
    (NF%) - YN(N1%)) / DX:DX = DX - 1:L = 1
430 FOR J = N1% + IN% TO NF% - IN% STEP IN%
440 NO%(J) = J:XN(J) = XN(N1%) + L * IX:YN(J) = YN(N1%) + L * IY:
    L = L + 1
450 NEXT J:K = K + L: IF K < NN THEN GOTO 310
460 FOR J = 1 TO NN
470 IF NO%(J) > 0 THEN GOTO 500
480 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 5: PRINT "COORD. DO NO ";J:" NAO F
    ORAM ": PRINT : PRINT "INFORMADAS.":K = K - 1: GOTO 310
490 GOSUB 20100
500 NEXT J: GOSUB 20200
510 LK = 3: FOR J = 1 TO NN: PRINT
520 PRINT TAB( 2):NO%(J): TAB( 11): INT (1000 * XN(J) + .5) / 1
    000: TAB( 25): INT (1000 * YN(J) + .5) / 1000:LK = LK + 2
530 IF LK < 21 THEN GOTO 610
540 GOSUB 20000: IF P# = "S" THEN LK = 3: GOSUB 20200: GOTO 610
550 VTAB 2: HTAB 5: INPUT "NRO DO NO ERRADO ";N1%
560 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 5: PRINT "INFORMACOES ERRADAS:"
570 VTAB 4: PRINT TAB( 3):"NUMERO DO NO = ";NO%(N1%)
580 VTAB 4: HTAB 3: PRINT "COORD. X = ";XN(IN%): VTAB 8: PRINT TAB(
    3):"COORD. Y = ";YN(N1%): VTAB 11: PRINT TAB( 5):"INFORMACOE
    S CORRETAS:": VTAB 13
590 HTAB 3: INPUT "NRO DO NO (CORRIGIDO) ";N1%
600 VTAB 15: HTAB 3: INPUT "COORD. X (CORRIGIDA) ";XN(N1%): VTAB
    17: HTAB 3: INPUT "COORD. Y (CORRIGIDA) ";YN(N1%): GOTO 510
610 NEXT J: GOSUB 20000: GOTO 190
680 REM
690 REM ***CRIAR INCIDENCIAS***
695 REM
700 K = 0: CALL - 936:P# = "INCIDENCIA DAS BARRAS:": GOSUB 20300

710 VTAB 4: HTAB 5: INPUT "NUMERO DA BARRA ";NB%
720 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "NRO DO NO INICIAL OU GERAR ";N1#
730 IF ASC ( LEFT# (N1#,1)) = 65 THEN GOTO 800
740 K = K + 1:BA%(NB%) = NB%:A1(NB%) = VAL (N1#): VTAB 8: HTAB 5
    : INPUT "NRO DO NO FINAL ";A2(NB%)
750 IF K < NB THEN CALL - 936: GOTO 710
760 GOTO 910
800 BA%(NB%) = NB%: CALL - 936: VTAB 2: HTAB 5: INPUT "NRO DA BA
    RRA FINAL ";BF%: VTAB 4: HTAB 5: INPUT "NRO DO NO INICIAL ";N
    1%: VTAB 6: HTAB 5: INPUT "NRO DO NO FINAL ";NF%
820 VTAB 8: HTAB 5: INPUT "INCREMENTO ";IN%:DX = NF% - N1%:L = 1

825 A1(NB%) = N1%:A2(NB%) = NF%
830 FOR J = NB% + IN% TO BF% STEP IN%
840 BA%(J) = J:L = L + 1:A1(J) = NF%:A2(J) = NF% + DX:NF% = NF% +
    DX
```

```
850 NEXT J
860 K = K + L: IF K < NB THEN CALL - 936: GOTO 710
870 FOR J = 1 TO NB
880 IF BAX(J) > 0 THEN GOTO 900
890 CALL - 936: VTAB 3: PRINT "INCIDENCIA DA BARRA ";J;" NAO FO
RNECIDA.": GOSUB 20100:K = K - 1: GOTO 710
900 NEXT J
910 CALL - 936:L = 3: GOSUB 20250
920 FOR J = 1 TO NB: PRINT
930 PRINT TAB( 3);BAX(J); TAB( 13);A1(J); TAB( 24);A2(J)
940 L = L + 2: IF L < 20 THEN GOTO 1000
950 GOSUB 20000:L = 3: IF P# = "S" THEN CALL - 936: GOSUB 2025
0: GOTO 1000
960 PRINT : PRINT : PRINT TAB( 3);"NRO DA BARRA COM INC. ERRADA
": INPUT NBX: CALL - 936: VTAB 2: HTAB 5: PRINT "INFORMACD
ES ERRADAS:"
970 VTAB 4: HTAB 3: PRINT "NRO DA BARRA ";BAX(NBX): VTAB 6: HTAB
3: PRINT "NO INICIAL ";A1(NBX): VTAB 8: HTAB 3: PRINT "NO FIN
AL ";A2(NBX): VTAB 11: HTAB 5: PRINT "INFORMACDES CORRETAS:"
980 VTAB 13: HTAB 3: INPUT "NRO DA BARRA ";NBX: VTAB 15: HTAB 3:
INPUT "NO INICIAL ";NIX: VTAB 17: HTAB 3: INPUT "NO FINAL ";
NF%
990 BAX(NBX) = NBX:A1(NBX) = NIX:A2(NBX) = NF%: GOTO 910
1000 NEXT J: GOSUB 20000: IF P# < > "S" THEN GOTO 960
1005 GOTO 190
1080 REM
1090 REM *** LISTAGEM NA IMPRESSORA ***
1095 REM
1200 PRINT D#;"PR#1"
1210 GOSUB 20200
1220 FOR J = 1 TO NN
1230 PRINT TAB( 2);"NO": TAB( 11); INT (1000 * XN(J) + .5) / 10
00; TAB( 25); INT (1000 * YN(J) + .5) / 1000
1240 NEXT J
1250 PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
1260 GOSUB 20250
1280 FOR J = 1 TO NB%
1290 PRINT TAB( 3);BAX(J); TAB( 13);A1(J); TAB( 24);A2(J): PRINT

1300 NEXT J: GOTO 190
1380 REM
1390 REM ***GRAVACAO NO DISQUETE***
1395 REM
1400 CALL - 936
1410 NF# = "MALHA." + NM#: CALL - 936: VTAB 3: HTAB 5: INPUT "NR
O DO DRIVE ";KD
1420 PRINT D#;"OPEN ";NF#;" ,D";KD
1422 PRINT D#;"DELETE ";NF#
1425 PRINT D#;"OPEN ";NF#;" ,D";KD
1430 PRINT D#;"WRITE ";NF#
1450 FOR J = 1 TO NN
1460 PRINT XN(J): PRINT YN(J): PRINT KD: PRINT KD
1470 NEXT J
1480 FOR J = 1 TO NB
1490 PRINT BAX(J): PRINT A1(J): PRINT A2(J)
1500 NEXT J
1510 PRINT D#;"CLOSE ";NF#
1520 PRINT D#;"RUN SUPER"
19900 REM
19970 REM
19980 REM ***ROTINA PARA RESPOSTA S/N***
20000 PRINT : HTAB 5: INPUT "DADOS CORRETOS (S/N) ";P#: RETURN
```



```
20080 REM
20090 REM ***ROTINA P/ PERGUNTA: CONTINUAR...***
20095 REM
20100 PRINT : HTAB 5: INPUT "PARA CONTINUAR PRES/ TECLA RETURN."
      ;P#: CALL - 936: RETURN
20180 REM
20190 REM ***CABECALHO PARA COORDENADAS***
20195 REM
20200 CALL - 936: VTAB 1: PRINT TAB( 10);"COORDENADAS DOS NOS"
      : PRINT : PRINT TAB( 2);"NO": TAB( 10);"COORD. X": TAB( 25);
      "COORD. Y": RETURN
20240 REM
20245 REM ***CABECALHO PARA INCIDENCIAS***
20246 REM
20250 PRINT TAB( 13);"INCIDENCIAS": PRINT : PRINT
20260 PRINT TAB( 2);"BARRA"; TAB( 11);"NO INI-"; TAB( 22);"NO F
      I-": PRINT TAB( 12);"CIAL"; TAB( 23);"NAL": PRINT : RETURN
20300 CALL - 936: VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT
      P#: NDRMAL : PRINT : RETURN
```

```
60 REM
62 REM MODULO PLOTA
64 REM
66 REM AUTOR: ENG. JOAO A. MAGRI
67 REM
70 DW = 1: CALL - 936
75 TEXT : CLEAR : POKE 216,0:A = FRE (0): POKE 221,3: POKE 33,3
5: POKE 45,74
80 TEXT :P# = "PROGRAMA PARA PLOTAR MALHAS": GOSUB 20300
90 VTAB 5: HTAB 5: PRINT "1 - PLOTAR.": VTAB 7: HTAB 5: PRINT "2
- EDITAR.": VTAB 9: HTAB 5: PRINT "3 - PARAR.":KD = 1
95 POKE 33,5
100 VTAB 13: HTAB 10: INPUT "DIGITAR (1,2OU 3)":OP: IF OP < 1 OR
OP > 3 THEN GOTO 80
105 ON OP GOTO 110,700,1000
110 CALL - 936: VTAB 5: HTAB 2: PRINT "MAX ABSCISSA = 279 MILIM
/": VTAB 7: HTAB 2: PRINT "MAX/ ORDEN/ 159 MILIM/": VTAB 9: HTAB
2:PI = 3.14159
120 INPUT "FATOR DE ESCALA ";SF
130 VTAB 15: HTAB 2: INPUT "ORIGEM DOS EIXOS(DE REF. : XO, YO ";
XO,YO:D# = CHR# (4)
140 VTAB 19: HTAB 2: PRINT "ANG. DO EIXO REF. X COM": HTAB 2: INPUT
"EIXO X HORIZONTAL ";PX:PY = 180 - PX:PY = PY * PI / 180
150 CALL - 936: VTAB 3: PRINT TAB( 6);"DEFINICAO DOS EIXOS:": VTAB
5: HTAB 2: PRINT "FATOR DE ESCALA = ";SF: PRINT : PRINT TAB(
2);"ORIGEM DOS EIXOS: XO = ";XO;" YO = ";YO: PRINT
160 PRINT TAB( 2);"ANG. EIXO DE REF. X COM EIXO HOR. X ";PX: GOSUB
20200: IF P# < > "S" THEN GOTO 100
165 PX = PX * PI / 180
170 CALL - 936: VTAB 3: HTAB 5: INPUT "NUMERO DA ESTRUTURA ";NE

175 IF DW = 0 THEN GOTO 208
180 PRINT D#;"OPEN GERAIS,L74,D";KD
190 PRINT D#;"READ GERAIS,R";NE
195 IF PEEK (222) = 5 THEN STOP
200 INPUT NM#,NN,NB,NA,NC,E,G,U1,Z2,Z1
205 PRINT D#;"CLOSE GERAIS"
207 DIM XN(NN),YN(NN),BA%(NB),A1(NB),A2(NB):DW = 0
208 NF# = "MALHA." + NM#: POKE 33,4
209 PRINT D#;"OPEN ";NF#;" ,D";KD
210 PRINT D#;"READ ";NF#
215 FOR J = 1 TO NN
220 INPUT XN(J),YN(J),ZW,ZW
230 NEXT J
240 FOR J = 1 TO NB
250 INPUT BA%(J),A1(J),A2(J)
260 NEXT J
270 PRINT D#;"CLOSE ";NF#
320 Z1 = 0:Z2 = 20: GOSUB 6100:Z1 = 0:Z2 = 0: GOSUB 6150
330 Z1 = 20:Z2 = 0: GOSUB 6150:Z1 = 8:Z2 = - 2: GOSUB 6100
340 Z1 = 12:Z2 = - 6: GOSUB 6150:Z1 = 12:Z2 = - 2: GOSUB 6100
350 Z1 = 8:Z2 = - 6: GOSUB 6150:Z1 = - 6:Z2 = 12: GOSUB 6100
360 Z1 = - 4:Z2 = 10: GOSUB 6150
370 Z1 = - 2:Z2 = 12: GOSUB 6100:Z1 = - 4:Z2 = 10: GOSUB 6150
380 Z1 = - 4:Z2 = 8: GOSUB 6150
400 FOR J = 1 TO NN
410 XR = XN(J):YR = YN(J): GOSUB 6000
420 HPLOT XT,YT
430 NEXT J
435 A2(24) = 18:A1(7) = 1:A2(7) = 2
440 FOR J = 1 TO NB
450 AA = A1(J):BB = A2(J)
460 XR = XN(AA):YR = YN(AA): GOSUB 6000:AA = XT:CC = YT
```

```
470 XR = XN(BB):YR = YN(BB): GOSUB 6000
480 HPLOT AA,CC TO XT,YT
490 NEXT J
500 INPUT P#: CALL - 936: GOTO 80
680 REM
690 REM ***FUNCAO DE EDICAO***
695 REM
700 F1 = 0
702 TEXT : CALL - 936: VTAB 2: HTAB 13: PRINT "FUNCOES DE EDICA
O:": VTAB 5: HTAB 5: PRINT "1 - EDITAR COORDENADAS.": VTAB 7:
HTAB 5: PRINT "2 - EDITAR INCIDENCIAS."
703 VTAB 9: HTAB 5: PRINT "3 - RETORNAR.": VTAB 13: HTAB 10: INPUT
"DIGITAR (1,2 OU 3) ":OP
705 ON OP GOTO 750,800,850
750 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 5: INPUT "NUMERO DO NO ERRADO ":NE
: VTAB 4: HTAB 5: INPUT "COORD. X (REVISADA) ":X1: VTAB 6: HTAB
5: INPUT "COORD. Y (REVISADA) ":Y1
760 PRINT : PRINT : GOSUB 20200: IF P# < > "S" THEN GOTO 750
770 F1 = 1:XN(NE) = X1:YN(NE) = Y1: GOTO 702
800 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 5: INPUT "NRO DA BARRA ERRADA ":BA
: VTAB 4: HTAB 5: INPUT "NO INICIAL ":X1: VTAB 6: HTAB 5: INPUT
"NO FINAL ":Y1
810 PRINT : GOSUB 20200: IF P# < > "S" THEN GOTO 800
820 F1 = 1:BA%(BA) = BA:A1(BA) = X1:A2(BA) = Y1: GOTO 702
845 REM
846 REM ***ROTINA DE FINALIZACAO***
847 REM
850 IF F1 = 0 THEN CALL - 936: GOTO 80
855 PRINT D#:"OPEN ":NF#:",D":KD
860 PRINT D#:"WRITE ":NF#
880 FOR J = 1 TO NN
890 PRINT XN(J): PRINT YN(J): PRINT KD: PRINT KD
900 NEXT J
910 FOR J = 1 TO NB
920 PRINT BA%(J): PRINT A1(J): PRINT A2(J)
930 NEXT J
940 PRINT D#:"CLOSE ":NF#
960 CALL - 936: GOTO 80
1000 REM
1010 PRINT D#:"OPEN ESCALA,L50,D":KD
1020 PRINT D#:"WRITE ESCALA,R":NE
1030 PRINT SF: PRINT XO: PRINT YO: PRINT PX: PRINT PY
1035 PRINT D#:"CLOSE ":NF#
1040 PRINT D#:"RUN SUPER"
6000 XT = XO + SF * (XR * COS (PX) - YR * SIN (PY)):YT = YO + S
F * (XR * SIN (PX) + YR * COS (PY)): RETURN
6100 XR = Z1:YR = Z2: GOSUB 6000: HPLOT XT,YT: RETURN
6150 XR = Z1 / SF:YR = Z2 / SF: GOSUB 6000: HPLOT TO XT,YT: RETURN

19900 REM
19970 REM
19980 REM ***ROTINA PARA RESPOSTAS S/N***
20080 REM
20090 REM ***ROTINA PARA PERGUNTA: CONTINUAR***
20100 PRINT : HTAB 5: INPUT "PARA CONTINUAR PRES/ TECLA RETURN."
:P#: HOME : RETURN
20200 PRINT : PRINT : HTAB 5: INPUT "DADOS CORRETOS (S/N)":P#: RETURN

20280 REM
20290 REM ***ROTINA PARA CENTRALIZAR***
20295 REM
20300 VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT P#: NORMAL
: PRINT : RETURN
```

```
185 REM
190 REM  MODULO MODELO
192 REM
194 REM  AUTOR:  ENG. JOAO A. MAGRI
196 REM
198 TEXT : POKE 216,0: POKE - 15610,12:A = FRE (0)
200 D# = CHR# (4): CALL - 936:KD = 1
210 P# = "PROGRAMA PARA LER DATACTER/ ELASTICAS": GOSUB 20300
220 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "NUMERO DA ESTRUTURA ";NE
230 PRINT D#;"OPEN GERAIS,L74,D";KD
240 PRINT D#;"READ GERAIS,R";NE
250 INPUT NM#,NN,NB,NA,NC,E,G,U1,Z2,Z1
255 PRINT D#;"CLOSE GERAIS":P# = "MALHA." + NM#
256 PRINT D#;"OPEN ";P#;" ,D";KD
257 PRINT D#;"READ ";P#
260 DIM AR(NB),MI(NB),XN(NN),YN(NN),BA%(NB),A1(NB),A2(NB),TI(NB)
,AF(NN),NL(NN),BR(NN),ML(NN),AD(NN)
270 FOR J = 1 TO NN: INPUT XN(J),YN(J),ZW,ZW: NEXT J
280 FOR J = 1 TO NB: INPUT BA%(J),A1(J),A2(J): NEXT J
300 PRINT D#;"CLOSE ";P#
305 POKE 104,64: POKE 103,1: POKE 24576,0
310 VTAB 8: HTAB 5: INPUT "MODULO DE ELASTICIDADE ";E: VTAB 10: HTAB
5: INPUT "MOD. DE ELAST. TRASVERSAL ";G
320 GOSUB 20000: IF P# < > "S" THEN CALL - 936: GOTO 310
330 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 10: PRINT "TIPO DE ESTRUTURA": VTAB
4: HTAB 5: PRINT "1 - LAJE.": VTAB 6: HTAB 5: PRINT "2 - LAJE
SOBRE APOIO ELASTICO."
335 LOMEN:16348
340 VTAB 8: HTAB 5: PRINT "3 - CHAPA.": VTAB 10: HTAB 5: PRINT "
4 - PORTICO.": VTAB 12: HTAB 5: PRINT "5 - GRELHA.": VTAB 14:
HTAB 5: PRINT "6 - RETORNAR.": VTAB 18: HTAB 15: INPUT "DIGI
TAR (1,2,3,4,5, OU 6)";TP
350 IF TP < 1 OR TP > 6 THEN GOTO 330
360 ON TP GOTO 2000,2000,2000,500,500,400
400 PRINT D#;"RUN SUPER"
500 K = 0: CALL - 936
510 VTAB 2: HTAB 5: INPUT "NRD DA BARRA ";NB%:U6 = 0: GOSUB 2100
0
520 IF U6 = 1 THEN CALL - 936: GOTO 510
530 VTAB 4: HTAB 5: INPUT "MOM. DE INERCIA JX OU GERAR ";A#
540 IF ASC ( LEFT# (A#,1)) = 65 THEN GOTO 600
550 K = K + 1: IF G > 0 THEN GOTO 570
555 IF GG < 0 THEN PRINT "O MODULO DE ELASTICIDADE TRASVERSAL
DEVE SER POSITIVO.": GET PP#: GOTO 310
560 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "AREA DA SECAD TRANSV. ";AR(NB%): GOTO
580
570 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "MOM. DE INERCIA A TORCAO JT ";AR(NB%)
580 MI(NB%) = VAL (A#): IF K < NB THEN CALL - 936: GOTO 510
590 GOTO 680
600 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "NRD DA BARRA FINAL ";BF%: GOSUB 21000
: IF U6 = 1 THEN CALL - 936: GOTO 600
610 VTAB 8: HTAB 5: INPUT "INCREMENTO ";IN%:D% = BF% - NB%: IF G
> 0 THEN GOTO 630
620 VTAB 10: HTAB 5: INPUT "AREA DA SEC. TRANSV. ";Z1: GOTO 640
630 VTAB 12: HTAB 5: INPUT "MOM. DE INER. A TORCAO JT ";Z1
640 VTAB 12: HTAB 5: INPUT "MOM. DE INER. FLEXAO JX ";Z2
650 FOR J = NB% TO BF% STEP D%
660 K = K + 1:AR(J) = Z1:MI(J) = Z2: NEXT J
670 IF K < NB THEN CALL - 936: GOTO 510
680 FOR J = 1 TO NB:TI(J) = 0:AD(J) = 0: NEXT J
690 IF TP = 1 OR TP = 2 THEN GOTO 760
```

```
700 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 3: PRINT "ARTICULACDES NAS EXTREMI
D. DAS BARRAS": VTAB 4: HTAB 5: PRINT "1 - TEM NO INICIO.": VTAB
6: HTAB 5: PRINT "2 - TEM NO FIM."
710 VTAB 8: HTAB 5: PRINT "3 - TEM NOS DOIS.": VTAB 10: HTAB 5: PRINT
"4 - DADOS SOBRE ARTIC. TERMINARAM.": VTAB 13: HTAB 15: INPUT
"DIGITAR (1,2,3, OU 4)": IA: IF IA < 1 OR IA > 4 THEN GOTO 70
0
720 IF IA = 4 THEN GOTO 760
730 VTAB 16: HTAB 5: INPUT "NRD DA BARRA ";BIX: GOSUB 21000: IF
U6 = 1 THEN CALL - 936: GOTO 730
740 GOSUB 20000: IF P# < > "S" THEN GOTO 700
750 TI(BIX) = IA CALL - 936: GOTO 700
760 FOR J = 1 TO NN:AP(J) = 0:NL(J) = 0: NEXT J
762 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 4: PRINT "APOIOS ENGASTADOS SEM CO
RTANTE.": VTAB 4: HTAB 6: PRINT "1 - TEM NO INICIO.": VTAB 6:
HTAB 6: PRINT "2 - TEM NO FIM."
764 VTAB 8: HTAB 6: PRINT "3 - FIM DOS DADOS (APOIOS).":
766 VTAB 13: HTAB 5: PRINT "OPCAD.": TAB( 15);"NRD DA BARRA": PRINT

767 PRINT TAB( 7);: INPUT BF%;
768 IF BF% = 3 THEN GOSUB 20000: IF P# < > "S" THEN GOTO 762
769 IF BF% = 3 THEN GOTO 772
770 HTAB 18: INPUT NBX:AD(NBX) = BF%: GOTO 767
772 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 7: PRINT "NUMERO DOS APOIOS.": PRINT
: PRINT
774 FOR J = 1 TO NA: INPUT " ";NBX;:AP(NBX) = 1: NEXT J: PRINT :
PRINT : PRINT : GOSUB 20000
776 IF P# < > "S" THEN GOTO 772
790 FOR J = 1 TO NA
820 IF TF < > 2 THEN GOTO 860
830 FOR J = 1 TO NN: IF AP(J) = 1 OR AP(J) = 2 THEN GOTO 850
840 AP(J) = 3
850 NEXT J: REM AP(J)=3 SIGNIFICA APOIO SOBRE MOLAS***
860 Z1 = 0
870 FOR M = 1 TO NN
880 IF AP(M) = 1 OR AP(M) = 2 THEN GOTO 900
890 Z1 = Z1 + 1:NL(Z1) = M
900 NEXT M
910 IF NN < INT (Z1 + NA) THEN PRINT "DADOS INCONSISTENTES. PA
ROU NA LINHA 910.": STOP
920 Z2 = 3 * Z1:J = Z2 * (Z2 + 1) / 2:U1 = J
930 P1# = "CAGE." + NM#
940 PRINT D#;"OPEN ";P1#;","D";KD
950 PRINT D#;"DELETE ";P1#
960 PRINT D#;"OPEN ";P1#;","D";KD
965 PRINT D#;"WRITE ";P1#
980 FOR M = 1 TO NB
990 J1 = A1(M):J2 = A2(M):CC = XN(J2) - XN(J1):SS = YN(J2) - YN(J
1):Z6 = SQR (CC * CC + SS * SS)
1000 CC = CC / Z6:SS = SS / Z6
1010 IF AR(M) = 0 THEN GOTO 1070
1020 H = AR(M) / Z6:G1 = 4 * MI(M) / Z6:G2 = G1: IF TI(M) < = 0 THEN
F = .5 * G1: GOTO 1080
1030 F = 0
1040 IF TI(M) = 2 THEN G2 = 0:G1 = 0.75 * G1: GOTO 1080
1050 IF TI(M) < 2 THEN G1 = 0:G2 = .75 * G2: GOTO 1080
1060 G1 = 0:G2 = 0: GOTO 1080
1070 REM ***ROTINA PARA CALC. DE SECAD VAR.***
1080 IF G > 0 THEN H = H * G / F: IF TI(M) > 0 THEN H = 0
1090 J = J1:K = 0
1100 IF AP(J) = 1 THEN J = 0: GOTO 1150
1120 FOR I = 1 TO Z1: IF NL(I) = J THEN GOTO 1140
```

```
1130 NEXT I
1140 J = I
1150 IF K = 0 THEN J1 = J:J = J2:K = 1: GOTO 1100
1160 J2 = J
1180 PRINT Z#: PRINT H: PRINT F: PRINT G1: PRINT G2: PRINT J1: PRINT
      J2: PRINT CC: PRINT SS: PRINT TI(M)
1200 NEXT M
1210 PRINT D#;" CLOSE ";P1#
1220 P1# = "MALHA." + NM#
1230 PRINT D#;"OPEN ";P1#";",D";KD
1240 PRINT D#;"WRITE ";P1#
1250 FOR J = 1 TO NN
1260 PRINT XN(J): PRINT YN(J): PRINT AP(J): PRINT NL(J)
1270 NEXT J
1280 FOR J = 1 TO NB
1290 PRINT BAX(J): PRINT A1(J): PRINT A2(J)
1300 NEXT J
1315 PRINT D#;"CLOSE ";P1#
1320 PRINT D#;"OPEN GERAIS,L74,D";KD
1330 PRINT D#;"WRITE GERAIS,R";NE
1340 PRINT NM#: PRINT NN: PRINT NB: PRINT NA: PRINT NC: PRINT E:
      PRINT G: PRINT U1: PRINT Z2: PRINT Z1:TP
1350 PRINT D#;"CLOSE GERAIS"
1360 PRINT D#;"RUN SUPER"
2000 CALL - 936: IF TP = 3 THEN VTAB 2: HTAB 5: INPUT "ESPESSU
      RA DA CHAPA ";TH
2010 VTAB 2: HTAB 5: INPUT "ESPESSURA DA LAJE ";TH
2020 VTAB 4: HTAB 5: INPUT "COEF. DE POISSON ";PS
2030 VTAB 7: HTAB 5: INPUT "NDS QUE COMPOEM UM ELEMENTO (SENT. A
      NTIHORAR. ";N1,N2,N3,N4
2040 CC = ABS (XN(N2) - XN(N1)):SS = ABS (YN(N4) - YN(N1))
2050 IF TP = 1 THEN GOTO 2180
2060 IF TP < > 2 THEN GOTO 330
2070 VTAB 9: HTAB 5: INPUT "COEF. DE RECALQUE DO SOLO ";CT
2080 GOSUB 20000: IF P# < > "S" THEN GOTO 2000
2090 CT = CT * SS * CC
2100 FOR J = 1 TO NN:BR(J) = 1: NEXT J
2110 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 10: PRINT "TIPOS DE BORDA:": VTAB
      4: HTAB 5: PRINT "2 - VERTICE.": VTAB 6: HTAB 5: PRINT "3 - B
      ORDA ENTRE VERTICES.": VTAB 8: HTAB 5: PRINT "4 - VERTICES EN
      TRE DEGRAUS."
2120 VTAB 10: HTAB 5: PRINT "5 - FIM DOS DADOS.": VTAB 13: HTAB
      10
2130 PRINT : PRINT : PRINT TAB( 5);"TIPO ": INPUT K: PRINT : HTAB
      5
2140 IF K = 5 THEN GOTO 2180
2150 IF K > 5 THEN GOTO 2110
2155 INPUT "NRO DO NO ";NB%
2160 GOSUB 20000: IF P# < > "S" THEN GOTO 2110
2170 BR(NB%) = K: GOTO 2130
2180 CALL - 936: VTAB 2: HTAB 10: PRINT "BARRAS //S AD EIXO X "
2190 VTAB 4: HTAB 5: INPUT "NRO DA BARRA INICIAL ";NB%
2200 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "NRO DA BARRA FINAL ";BF%
2205 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "INCREMENTO EM X ";IX
2210 VTAB 8: HTAB 5: INPUT "NRO DA ULTIMA BARRA // A Y ";K
2215 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "INCREMENTO EM Y ";IY
2220 VTAB 13: PRINT "OBS. AS DEMAIS BARRAS SERAO CONSIDER. DIAGO
      NAIS"
2230 GOSUB 20000: IF P# < > "S" THEN GOTO 2180
2235 IF TP = 3 THEN GOTO 2600
2240 AL = CC / SS:JA = 2 * (1 - PS * PS):JA = 1 / JA:JA = JA * (T
```

```
H ^ 3) / 12:IE = (AL * AL - PS) * SS * JA / AL:IT = AL * (1 -
3 * PS) * SS * JA * E / G
2250 FOR J = NB% TO BF%:MI(J) = IE:AR(J) = IT: NEXT J
2255 IE = (1 - AL * AL * PS) * SS * JA:IT = AL * (1 - 3 * PS) * 5
S * JA * E / G
2260 FOR J = BF% + 1 TO K:MI(J) = IE:AR(J) = IT: NEXT J
2270 IT = SQR (CC * CC + SS * SS):BE = IT / SS:IE = PS * SS * (B
E ^ 3) * JA / AL
2280 FOR J = K + 1 TO NB%:MI(J) = IE:AR(J) = 0: NEXT J
2282 P1$ = "LJPT." + NM$
2284 PRINT D$:"OPEN ";P1$;" ,D";KD
2285 PRINT D$:"DELETE";P1$
2286 PRINT D$:"OPEN ";P1$;" ,D";KD
2287 PRINT D$:"WRITE ";P1$
2288 PRINT TH: PRINT PS: PRINT IX: PRINT IY: PRINT NB%: PRINT BF
%: PRINT K
2289 PRINT D$:"CLOSE ";P1$
2290 IF TP < > 2 THEN GOTO 680
2300 DIM CT(NN): REM ***DIMENSIONAMENTO DE CT***
2310 FOR J = 1 TO NN:ML(J) = 0: NEXT J
2320 FOR J = 1 TO NN
2330 K = BR(J):K3 = 3 * J
2340 IF K < 1 OR K > 4 THEN PRINT "CODIGO DE BORDA ERRADO.": STOP

2350 ON K GOTO 2360,2370,2380,2390
2360 ML(K3) = CT: GOTO 2400
2370 ML(K3) = .25 * CT: GOTO 2400
2380 ML(K3) = .5 * CT: GOTO 2400
2390 ML(K3) = .75 * CT
2400 NEXT J
2410 P1$ = "MOLA." + NM$
2420 PRINT D$:"OPEN ";P1$;" ,D";KD
2430 PRINT D$:"DELETE ";P1$
2440 PRINT D$:"OPEN ";P1$;" ,D";KD
2450 PRINT D$:"WRITE ";P1$
2460 FOR J = 1 TO 3 * NN
2470 PRINT ML(J)
2480 NEXT J: PRINT D$:"CLOSE ";P1$
2490 GOTO 680
2600 CG = 1 / ( TAN (CC / SS)) ^ 2:GT = ( TAN (CC / SS)) ^ 2
2610 LA = (1 - 2 * PS) * (1 + PS):LA = PS * E / LA:MI = 2 * (1 +
PS):MI = E / MI:VL = SS * CC * TH:AL = CC / SS
2620 FOR J = NB% TO BF%
2630 MI(J) = 0:AR(J) = VL * (LA + .5 * MI * (1 - CG)) / (E * AL *
SS)
2640 NEXT J
2650 FOR J = 1 TO BF% + 1 TO K
2660 MI(J) = 0:AR(J) = VL * (L + .5 * MI * (1 - GT)) / (E * SS)
2670 NEXT J:IT = SQR (CC ^ 2 + SS ^ 2):GT = ( SIN (CC / SS)) ^
2:CG = ( COS (CC / SS)) ^ 2:GA = IT / SS
2690 AR(J) = E * GA * SS * 4 * GT * CG:AR(J) = 2 * VL * MI(J) / A
R(J)
2700 MI(J) = 6 * E * 4 * GT * CG:MI(J) = GA * SS * VL * (MI - LA)
/ MI(J)
2710 NEXT J: GOTO 2290
19970 REM
19980 REM ***ROTINA DADOS CORRETOS (S/N)***
19985 REM
20000 PRINT : HTAB 5: INPUT "DADOS CORRETOS (S/N)";P$: RETURN
20080 REM
20090 REM ***ROTINA P/ CONTINUAR***
20095 REM
20100 PRINT : HTAB 5: INPUT "PARA CONTINUAR PRES/ TECLA RETURN."
:P$: HOME : RETURN
20280 REM
20290 REM ***ROTINA PARA CENTRALIZAR***
```

```
20295 REM
20300 VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT P#: NORMAL
      : PRINT : RETURN
21000 FOR J = 1 TO NB: IF NB% = BA%(J) THEN GOTO 21020
21010 NEXT J: CALL - 936: VTAB 2: HTAB 5: PRINT "NRO DA BARRA N
      AD CADASTRADO.": PRINT : PRINT TAB( 5); "NRO DADO = "; NB%: U6 =
      1: GOSUB 20100
21020 RETURN

180 REM
190 REM ***MODULO P/ LEITURA DO CARREG.***
195 REM
196 REM AUTOR: ENG. JOAO A. MAGRI
197 REM
200 D# = CHR# (4): CALL - 936: P# = "FROG. P/ LER CARREG.": GOSUB
      20300
210 A = FRE (0): CLEAR : POKE 110,9
220 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "NUMERO DA ESTRUTURA "; NE: KD = 1
222 PRINT D#: "OPEN GERAIS, L74, D": KD
224 PRINT D#: "READ GERAIS, R": NE
226 INPUT NM#, NN, NB, NA, NC, E, G, U1, Z2, Z1, TP
228 PRINT D#: "CLOSE GERAIS"
230 P1# = "MALHA." + NM#
235 DIM TI(NB), CA(NB, 9), AP(NN)
238 DIM NL(NN)
242 PRINT D#: "OPEN "; P1#: ", D": KD
250 PRINT D#: "READ "; P1#
280 FOR J = 1 TO NN
290 INPUT XX, YY, AP(J), NL(J)
300 NEXT J
310 FOR J = 1 TO NB
320 INPUT BA%(J), XX, YY
330 NEXT J
340 PRINT D#: "CLOSE "; P1#
350 P2# = "CAGE." + NM#
360 PRINT D#: "OPEN "; P2#: ", D": KD
370 PRINT D#: "READ "; P2#
390 FOR J = 1 TO NB
400 INPUT CA(J, 1), CA(J, 2), CA(J, 3), CA(J, 4), CA(J, 5), CA(J, 6), CA(J, 7
      ), CA(J, 8), CA(J, 9), TI(J)
410 NEXT J
420 PRINT D#: "CLOSE "; P2#
430 P1# = "CARGA." + NM#
815 DIM Q(3 * NN), T(6)
820 FOR J = 1 TO 6: T(J) = 0: NEXT J
830 FOR J = 1 TO Z2: Q(J) = 0: NEXT J
840 PRINT D#: "OPEN "; P1#: ", L60, D": KD
850 PRINT D#: "DELETE "; P1#
860 PRINT D#: "OPEN "; P1#: ", L60, D": KD
870 X9 = 1
980 FOR I = 1 TO NB
885 PRINT D#: "WRITE "; P1#: ", R": X9
890 FOR J = 1 TO 6
900 PRINT T(J)
910 NEXT J: X9 = X9 + 1: NEXT I
915 PRINT D#: "CLOSE "; P1#
920 HOME : PRINT TAB( 10); "INFORMACOES P/ CARREG.": PRINT : PRINT
930 INPUT "NRO DE NOS CARREGADOS "; N4: PRINT
940 INPUT "NRO DE CARGAS CONC. "; N1: PRINT
950 INPUT "NRO DE CARGAS UNIF. DIST. "; N2: PRINT
960 INPUT "NRO DE CARGAS LIN. DIST. "; N3: PRINT
970 IF N4 = 0 THEN GOTO 1080
980 IF N4 < 0 THEN HOME : PRINT "DADO ERRADO.": GOSUB 20100
```



```
985 IF TP < = 2 THEN GOSUB 9000
990 HOME : FOR I = 1 TO N4: PRINT
1000 INPUT "NRD DO NO ";U9: PRINT
1010 INPUT "CARGA NA DIR. X ";Q1: PRINT
1020 INPUT "CARGA NA DIR. Y ";Q2: PRINT
1030 INPUT "MOM. FLETOR NO NO ";Q3: PRINT
1040 FOR J = 1 TO Z1
1050 IF NL(J) < > U9 THEN GOTO 1070
1060 Q(3 * J - 2) = Q1:Q(3 * J - 1) = Q2:Q(3 * J) = Q3
1070 NEXT J: NEXT I: GOTO 1085
1080 GOSUB 6000
1083 IF N1 = 0 AND N2 = 0 AND N3 = 0 THEN GOTO 1280
1085 PRINT D#;"OPEN ";P1#;"L60,D";KD
1090 X9 = 1
1130 FOR M = 1 TO NB
1135 PRINT D#;"READ ";P1#;"R";X9
1140 FOR J = 1 TO 6
1150 INPUT T(J): NEXT J
1155 X9 = X9 + 1
1170 JD(6) = 3 * J2:JD(5) = JD(6) - 1:JD(4) = JD(6) - 2:JD(3) = 3
    * J1:JD(2) = JD(3) - 1:JD(1) = JD(3) - 2
1220 FOR I = 1 TO 6:J = JD(I)
1230 IF J > 0 THEN Q(J) = Q(J) - T(I)
1240 NEXT I: NEXT M
1260 PRINT D#;"CLOSE "P1#
1280 P3# = "CARNO." + NM#
1290 PRINT D#;"OPEN ";P3#;"D";KD
1293 PRINT D#;"DELETE ";P3#
1295 PRINT D#;"OPEN ";P3#;"D";KD
1299 PRINT D#;"WRITE ";P3#
1300 FOR J = 1 TO 3 * NN
1320 PRINT Q(J)
1330 NEXT J: PRINT D#;"CLOSE ";P3#
1340 PRINT D#;"RUN SUPER"
6000 IF N1 < = 0 THEN GOTO 6300
6005 PRINT D#;"OPEN ";P1#;"L60,D";KD
6030 HOME : PRINT TAB( 10);"CARGAS CONC. NAS BARRAS": FOR I = 1
    TO N1:U6 = 0
6040 PRINT : INPUT "NRD DA BARRA ";Z3: PRINT
6050 GOSUB 20700
6060 IF U6 = 1 THEN GOTO 6040
6110 GOSUB 20800
6120 PRINT D#;"READ ";P1#;"R";Z3
6130 FOR J = 1 TO 6
6140 INPUT T1(J): NEXT J: PRINT D#
6150 INPUT "CARGA CONCENTRADA ";P: PRINT
6160 INPUT "DIST. (EM REL. INIC. BARRA) ";D1: PRINT
6170 GOSUB 7300
6180 FOR J = 1 TO 6:T(J) = T(J) + T1(J): NEXT J
6220 PRINT D#;"WRITE ";P1#;"R";Z3
6230 FOR J = 1 TO 6
6240 PRINT T(J)
6250 NEXT J: PRINT D#
6270 NEXT I: REM FECHA O LOOPING 6030
6280 PRINT D#;"CLOSE ";P1#
6300 IF N2 < = 0 THEN GOTO 6570
6305 PRINT D#;"OPEN ";P1#;"L60,D";KD
6310 HOME : PRINT TAB( 10);"CARGA DIST. NAS BARRAS ": PRINT
6320 FOR I = 1 TO N2:U6 = 0
6330 PRINT : INPUT "NRD DA BARRA ";Z3: PRINT
6340 GOSUB 20700: IF U6 = 1 THEN GOTO 6330
6400 GOSUB 20800
```

```
6410 PRINT D#;"READ ";P1#;"R";Z3
6420 FOR J = 1 TO 6
6430 INPUT T1(J): NEXT J: PRINT D#
6440 INPUT "CARGA UNIF. DIST. ";P1
6450 GOSUB 8000
6460 FOR J = 1 TO 6:T(J) = T(J) + T1(J): NEXT J
6500 PRINT D#;"WRITE ";P1#;"L60,D";KD
6510 FOR J = 1 TO 6
6520 PRINT T(J)
6530 NEXT J: PRINT D#
6550 NEXT I
6560 PRINT D#;"CLOSE ";P1#
6570 RETURN
7290 POKE 33,2: POKE - 16540,12
7300 C1 = Z6 - D1:TT = P * D1 * C1 / Z6 ^ 2:T(6) = TT * D1:T(3) =
- TT * C1
7310 IF IA > 0 THEN GOTO 7400
7320 T(2) = (T(3) + T(6) - P * C1) / Z6:T(5) = - P - T(2)
7330 IF G < = 0 THEN GOTO 7350
7340 TT = T(2):T(2) = - T(3):T(3) = TT:TT = T(5):T(5) = - T(6):
T(6) = TT
7350 T(1) = - T(2) * SS:T(2) = T(2) * CC:T(4) = - T(5) * SS:T(5)
) = T(5) * CC
7360 RETURN
7400 IF IA > 2 THEN GOTO 7440
7410 IF IA = 0 THEN GOTO 7430
7420 T(6) = T(6) - T(3) / 2:T(3) = 0: GOTO 7320
7430 T(3) = T(3) - T(6) / 2:T(6) = 0: GOTO 7320
7440 T(3) = 0:T(6) = 0: GOTO 7320
8010 IF IA > 0 THEN GOTO 8060
8020 T(2) = P1 * Z6 / 2:T(5) = T(2)
8030 IF G < = 0 THEN GOTO 8050
8040 TT = T(2):T(2) = - T(3):T(3) = TT:TT = T(5):T(5) = - T(6):
T(6) = TT
8050 T(1) = - T(2) * SS:T(2) = T(2) * CC:T(4) = - T(5) * SS:T(5)
) = T(5) * CC
8055 RETURN
8060 IF IA = 1 THEN T(6) = T(6) - T(3) / 2:T(3) = 0: GOTO 8020
8070 IF IA = 2 THEN T(3) = T(3) - T(6) / 2:T(6) = 0: GOTO 8020
8080 T(3) = 0:T(6) = 0: GOTO 8020
9000 N4 = NN: RETURN
19970 REM
19980 REM
19990 REM *** ROTINA PARA RESPOSTA S/N ***
20000 PRINT : PRINT TAB( 5);"DADOS CORRETOS (S/N) ";; INPUT P#;
RETURN
20080 REM
20100 PRINT : PRINT TAB( 5);"PARA CONTINUAR PRES/ TECLA RETURN
";; INPUT P#; HOME : RETURN
20280 REM
20290 REM ***ROTINA PARA CENTRALIZAR***
20295 REM
20300 VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT P#: NORMAL
: PRINT : RETURN
20670 REM
20680 REM *** ROTINA PARA VERIFICAR SE A BARRA ESTA CADASTRADA
***
20690 REM
20700 FOR L = 1 TO NB: IF Z3 = BA(L) THEN GOTO 20720
20710 NEXT L: PRINT TAB( 5);"NRO DA BARRA NAO CADASTRADO.": PRINT
: PRINT TAB( 5);"NRO DADO = ";;Z3:U6 = 1: GOSUB 20100
```

```
20720 RETURN
20800 Z6 = CA(Z3,1):H = CA(Z3,2):F = CA(Z3,3):G1 = CA(Z3,4):G2 =
      CA(Z3,5):J1 = CA(Z3,6):J2 = CA(Z3,7):CC = CA(Z3,8):SS = CA(Z3
      ,9):IA = TI(Z3)
20810 RETURN

180 REM
185 REM *** MODULO MRIG: MONTA A MATRIZ DE RIGIDEZ ***
190 REM
194 REM AUTOR: ENG. JOAO A. MAGRI
196 REM
197 TEXT : F0KE 103,1:A = FRE (0):HIMEN:32443
200 D$ = CHR$(4): CALL - 936:KD = 1:TP = 0
210 P$ = "PROG. F/ MONTAR A M. R.": GOSUB 20300
220 VTAB 6: HTAB 5: INPUT "NUMERO DA ESTRUTURA ";NE
230 PRINT D$;"OPEN GERAIS,L74,D";KD
240 PRINT D$;"READ GERAIS,R";NE
250 INPUT NM$,NN,NB,NA,NC,E,G,U1,Z2,Z1,TP,BAN
260 PRINT D$;"CLOSE GERAIS"
280 DIM ML(MM),R(6,6),JD(6),RO(6,6),RN(6,6)
285 P1$ = "MDLA." + NM$
290 PRINT D$;"OPEN ";P1$;",D";KD
300 ONERR GOTO 360
310 PRINT D$;"READ ";P1$
320 FOR J = 1 TO 3 * NN
330 INPUT ML(J)
340 NEXT J: PRINT D$;"CLOSE ";P1$
350 POKE 216,0:TP = 2: GOTO 380
360 IF PEEK (222) = 5 THEN POKE 216,0: PRINT D$;"DELETE ";P1$:
      GOTO 380
370 CALL - 936: PRINT "ERRO NA LINHA 290": PRINT "ERRO NRO "; PEEK
      (222): STOP
380 P1$ = "CAGE." + NM$
390 PRINT D$;"OPEN ";P1$;",D";KD
400 PRINT D$;"READ ";P1$
420 DIM RF(U1)
425 CALL - 936
430 FOR M = 1 TO NB
435 PRINT TAB(5);"BARRA ";M;" SENDO PROCESSADA.": PRINT
440 FOR J = 1 TO 6: FOR I = 1 TO 6:R(I,J) = 0: NEXT I: NEXT J
445 POKE 35,9
450 INPUT Z6,H,F,G1,G2,J1,J2,CC,SS,XX
460 GOSUB 5000
480 FOR I = 1 TO 6
490 FOR J = 1 TO 6
500 IP = JD(I):JP = JD(J)
510 IF IP < = 0 THEN GOTO 540
520 IF JP < = 0 THEN GOTO 540
525 IF JP > BAN THEN GOTO 540
530 IF JP > = IP THEN K = (IP - 1) * (6 * Z1 - IP) / 2 + JP:RF(
      K) = RF(K) + R(I,J)
540 NEXT J: NEXT I
550 NEXT M
560 PRINT D$;"CLOSE ";P1$
570 P1$ = "RIGIDEZ." + NM$
580 PRINT D$;"OPEN ";P1$;",D";KD
590 PRINT D$;"DELETE ";P1$
600 PRINT D$;"OPEN ";P1$;",D";KD
610 PRINT D$;"WRITE ";P1$
620 FOR J = 1 TO U1
630 PRINT RF(J)
640 NEXT J
650 PRINT D$;"CLOSE ";P1$
660 PRINT D$;"RUN SUPER"
```

```
5000 R(1,1) = H:R(2,3) = (F + G1) / Z6:R(2,6) = (F + G2) / Z6
5010 R(2,2) = (R(2,3) + R(2,6)) / Z6:R(4,4) = R(1,1):R(1,4) = -
      R(1,1): IF G > 0 THEN GOTO 5040
5020 R(3,6) = F:R(3,3) = G1:R(6,6) = G2:R(5,5) = R(2,2)
5030 R(2,5) = - R(2,2):R(3,5) = - R(2,3):R(5,6) = - R(2,6): GOTO
      5060
5040 R(3,3) = R(2,2):R(6,6) = R(3,3):R(2,5) = F:R(2,2) = G1:R(5,5
      ) = G2:R(3,6) = - R(3,3)
5050 R(2,3) = - R(2,3):R(5,6) = R(2,6):R(3,5) = - R(5,6):R(2,6)
      = - R(2,3)
5060 FOR I = 1 TO 6: FOR J = 1 TO 6
5061 REM
5070 ROT(I,J) = 0: IF I - J > 0 THEN R(I,J) = R(J,I)
5080 NEXT J: NEXT I
5090 ROT(1,1) = CC:ROT(2,2) = CC:ROT(4,4) = CC:ROT(5,5) = CC:ROT(
      3,3) = 1:ROT(6,6) = 1:ROT(1,2) = SS
5100 ROT(4,5) = SS:ROT(2,1) = - SS:ROT(5,4) = - SS
5110 FOR I = 1 TO 6: FOR J = 1 TO 6:RN(I,J) = 0: FOR K = 1 TO 6
5120 RN(I,J) = RN(I,J) + R(I,K) * ROT(K,J)
5130 NEXT K: NEXT J: NEXT I
5140 FOR I = 1 TO 6: FOR J = 1 TO 6:R(I,J) = 0: FOR K = 1 TO 6
5150 R(I,J) = R(I,J) + ROT(K,I) * RN(K,J)
5160 NEXT K: NEXT J: NEXT I: GOSUB 5170: RETURN
5170 JD(6) = 3 * J2:JD(5) = JD(6) - 1:JD(4) = JD(6) - 2
5180 JD(3) = 3 * J1:JD(2) = JD(3) - 1:JD(1) = JD(3) - 2: RETURN
20280 REM
20290 REM ***ROTINA PARA CENTRALIZAR***
20295 REM
20300 VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT P#: NORMAL
      : PRINT : RETURN

295 REM
296 REM ***MODULO SOLUCAO DO SISTEMA***
297 REM
298 REM AUTOR ENG. JOAO A. MAGRI
299 REM
300 CLEAR :D# = CHR# (4): CALL - 936:KD = 1:P# = "RESOLUCAO DO
      SIST. DE EQUACOES.": GOSUB 20300
310 VTAB 6: HTAB 9: INPUT "NRO DA ESTRUTURA ";NE
320 PRINT D#;"OPEN GERAIS,L74,D";KD
330 PRINT D#;"READ GERAIS,R";NE
340 INPUT NM#,NN,NB,NA,NC,E,G,U1,Z2,Z1
350 PRINT D#;"CLOSE GERAIS"
355 DIM Q(3 * NN),RF(U1),X(3 * NN)
360 P1# = "CARNO." + NM#:P2# = "RIGIDEZ." + NM#
415 GOTO 420: PRINT D#;"OPMN ";P1#;"D";KD
420 PRINT D#;"OPEN ";P1#;"D";KD
430 PRINT D#;"READ ";P1#
440 FOR J = 1 TO 3 * NN
450 INPUT Q(J)
460 NEXT J
470 PRINT D#;"CLOSE ";P1#
480 PRINT D#;"OPEN ";P2#;"D";KD
490 PRINT D#;"READ ";P2#
500 FOR J = 1 TO U1
510 INPUT RF(J)
520 NEXT J
530 PRINT D#;"CLOSE ";P2#
540 BB = 1
550 PRINT RF(BB),RF(BB + 1):BB = BB + 2: IF BB < = U1 THEN GOTO
      550
560 INPUT PP#
1329 IF RF(1) < = 0 THEN GOSUB 20340: STOP
```

```
1390 RF(1) = SQR (RF(1));N = Z2;LF = U1 / Z2
1400 FOR J = 2 TO LF
1410 RF(J) = RF(J) / RF(1)
1420 NEXT J
1430 FOR I = 2 TO N
1450 IC = (I - 1) * LF + 1;D1 = RF(IC)
1455 FOR L = 1 TO I - 1
1460 LI = (L - 1) * LF + I - L + 1
1465 D1 = D1 - RF(LI) * RF(LI)
1470 NEXT L
1475 IF RF(IC) < = 0 THEN GOSUB 20340: STOP
1480 RF(IC) = SQR (D1)
1490 FOR J = I + 1 TO LF
1495 IJ = (I - 1) * LF + J - I + 1
1500 D = RF(IJ)
1505 FOR L = 1 TO I - 1
1510 LI = (L - 1) * LF + I - L + 1;LJ = (L - 1) * LF + J - L + 1
1515 D1 = D1 - RF(LI) * RF(LJ)
1520 NEXT L
1535 RF(IJ) = D1 / RF(IC)
1536 NEXT J: NEXT I
1538 Q(1) = Q(1) / RF(1)
1540 FOR I = 2 TO LF
1545 D1 = Q(I)
1550 FOR L = 1 TO I - 1
1555 LI = (L - 1) * LF + I - L + 1
1560 D1 = D1 - RF(LI) * Q(L)
1565 NEXT L
1570 II = (I - 1) * LF + 1
1575 Q(I) = D1 / RF(II)
1580 NEXT I;NN = (N - 1) * LF + 1
1585 X(N) = Q(N) / RF(NN)
1590 FOR L = 1 TO N - 1
1595 K = N - L;K1 = K + 1
1600 FOR J = K1 TO LF
1605 KJ = (K - 1) * LF + J - K + 1
1610 X(K) = Q(K) - RF(KJ) * X(J)
1615 NEXT J
1620 X(K) = Q(K) / RF((K - 1) * LF + 1)
1625 NEXT L
1650 STOP
1700 P4# = "SOEQ." + NM#
1710 PRINT D#;"OPEN ";P4#;" ,D";KD
1720 PRINT D#;"WRITE ";P4#
1730 FOR J = 1 TO 3 * NN
1740 PRINT X(J)
1750 NEXT J
1760 PRINT D#;"CLOSE ";P4#
1765 STOP
1780 PRINT D#;"OPEN ";P1#;" ,D";KD
1790 PRINT D#;"WRITE ";P1#
1800 FOR J = 1 TO 3 * NN
1810 PRINT Q(J)
1820 NEXT J: PRINT D#;"CLOSE ";P1#
1840 PRINT D#;"RUN SUPER"
19970 REM
19980 REM
19990 REM *** ROTINA PARA RESPOSTA S/N ***
20000 PRINT : PRINT TAB( 5);"DADOS CORRETOS (S/N) ";: INPUT F#:
RETURN
20080 REM
```

```
20100 PRINT : PRINT TAB( 5);"PARA CONTINUAR PRES/ TECLA RETURN
      ";: INPUT P#: HOME : RETURN
20295 REM
20296 REM ***ROTINA P/ CENTRALIZAR***
20297 REM
20300 VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT P#: NORMAL
      : PRINT : RETURN
20340 PRINT : PRINT TAB( 10);"MATRIZ DE RIGIDEZ NAO E POSITIVA
      DEFINIDA.": RETURN

280 REM
282 REM *** IMPRESSAO RELATORIOS ***
284 REM
285 REM AUTOR: ENG. JOAO A. MAGRI
286 REM
300 D# = CHR# (4):KD = 1: CALL - 936:P# = "CALCULO DE ESFORCOS
      E RELATORIO": GOSUB 20300:UZ = 0
305 DEF FN E6(Z) = INT (Z * 10 ^ 6) / 1000
306 DEF FN E5(Z) = INT (Z * 10 ^ 5) / 1000
307 LOMEN:16000
310 VTAB 5: HTAB 5: INPUT "QUER SAIDA PARA TELA (S/N) ";IP#
312 H# = CHR# (9):L# = CHR# (12)
315 IF IP# = "S" THEN UZ = 1
320 VTAB 7: HTAB 5: INPUT "NRD DA ESTRUTURA ";NE
330 PRINT D#;"OPEN GERAIS,L74,D";KD
340 PRINT D#;"READ GERAIS,R";NE
350 INPUT NM#,NN,NB,NA,NC,E,G,U1,Z2,Z1,TP: PRINT D#;"CLOSE GERAI
      S"
365 DIM R(6,6),T(6),XN(NN),YN(NN),X(3 * NN),A1(NB),A2(NB),NL(NN)

367 IF TP < = 3 THEN DIM XC(NN),Y(NN),FX(NN),FY(NN),MX(NN),MY(
      NN),XYM(NN)
370 P1# = "CAGE." + NM#:P2# = "CARGA." + NM#:P4# = "SOEQ." + NM#:
      P5# = "MALHA." + NM#:P6# = "LJPT." + NM#
372 PRINT D#;"OPEN ";P4#;" ,D";KD
374 PRINT D#;"READ ";P4#
376 FOR J = 1 TO 3 * NN
378 INPUT X(J)
379 NEXT J: PRINT D#;"CLOSE ";P4#
380 PRINT D#;"OPEN ";P5#;" ,D";KD
381 PRINT D#;"READ ";P5#
382 FOR J = 1 TO NN
383 INPUT XN(J),YN(J),AP(J),NL(J): NEXT J
384 FOR J = 1 TO NB
385 INPUT BA(J),A1(J),A2(J): NEXT J
386 PRINT D#;"CLOSE ";P5#
389 PRINT D#;"OPEN ";P1#;" ,D";KD
390 PRINT D#;"OPEN ";P2#;" ,L60,D";KD
395 ON TP GOSUB 6000,6100,2310,2310
398 POKE - 12340,8: POKE 103,1
400 FOR M = 1 TO NB
410 FOR I = 1 TO 6: FOR J = 1 TO 6:R(I,J) = 0: NEXT J: NEXT I
420 PRINT D#;"READ ";P1#
430 INPUT Z6,H,F,G1,G2,J1,J2,CC,SS,IA
440 PRINT D#;"READ ";P2#;" ,R";M
450 FOR J = 1 TO 6
460 INPUT T(J)
470 NEXT J: PRINT D#
480 GOSUB 5000
1770 FOR L = 1 TO 6: FOR K = 1 TO 6
1780 KS = JD(K): IF KS > 0 THEN T(L) = T(L) + R(L,K) * X(KS)
1790 NEXT K: NEXT L
```

```
1800 TA = T(1) * CC + T(2) * SS:FA = T(2) * CC - T(1) * SS
1810 TB = T(4) * CC + T(5) * SS:FB = T(5) * CC - T(4) * SS
1815 IF TP = 1 OR TP = 2 THEN GOSUB 7000: GOTO 1860: REM DIF.
    FINITAS
1817 IF TP = 3 THEN GOSUB 8000: GOTO 1860: REM CALC. SIGMA
1830 TB = INT (100 * TB + .5) / 100:FB = INT (100 * FB + .5) /
    100:T(6) = INT (T(6) * 100 + .5) / 100
1840 PRINT TAB( 2);M; TAB( 8);A1(M); TAB( 13);TA; TAB( 23);FA; TAB(
    33);T(3)
1850 PRINT TAB( 8);A2(M); TAB( 13);TB; TAB( 23);FB; TAB( 33);T(
    6); PRINT
1860 PG = PG + 3: IF U2 = 0 THEN IF PG > 21 THEN GOSUB 20100:PG
    = 3: GOSUB 20300
1865 IF U2 = 0 THEN GOSUB 20100
1870 NEXT M
1875 PRINT D#;"CLOSE ";P1#
1876 PRINT D#;"CLOSE ";P2#
1880 ON TP GOSUB 6200,6400,20500,20500
1890 FOR K = 1 TO Z2
1895 X(K) = X(K) / E: PRINT X(K): NEXT K: INPUT PF#
1896 IF TP < = 2 THEN GOSUB 6500: GOTO 2030
1897 IF TP = 3 THEN GOSUB 6600: GOTO 2030
1898 FOR K = 1 TO 3 * NN
1900 IF G = 0 THEN GOTO 2010
2000 U3 = INT (X(3 * K - 2) * 10 ^ 6) / 1000:U4 = INT (X(3 * K -
    1) * 10 ^ 6) / 1000:U5 = INT (X(3 * K) * 10 ^ 5) / 1000: GOTO
    2020
2010 U3 = INT (X(3 * K - 2) * 10 ^ 5) / 1000:U4 = INT (X(3 * K -
    1) * 10 ^ 5) / 1000:U5 = INT (X(3 * K) * 10 ^ 6) / 1000
2020 PRINT TAB( 1);NL(K); TAB( 48);U3; TAB( 59);U4; TAB( 72);U5
2030 PG = PG + 3: IF U2 = 0 THEN IF PG > 21 THEN GOSUB 20000:PG
    = 3: GOSUB 20500
2040 NEXT K
2042 IF TP = 3 THEN GOSUB 12000
2045 IF U2 = 0 THEN GOSUB 20100
2060 F2# = "CODES." + NM#: REM CODES CONTEM AS COORDEN/ DESLOC/

2070 PRINT D#;"OPEN ";P2#;";,D";KD
2075 IF G > 0 THEN GOTO 2300
2110 K = 1
2120 FOR J = 1 TO Z1
2122 XN(NL(J)) = XN(NL(J)) + X(3 * J - 2):YN(NL(J)) = YN(NL(J)) +
    X(3 * J - 1)
2124 NEXT J
2130 PRINT D#;"WRITE ";F2#
2140 FOR J = 1 TO NN
2150 PRINT XN(J): PRINT YN(J)
2160 NEXT J
2170 PRINT D#;"CLOSE ";P1#
2180 PRINT D#;"CLOSE ";P2#
2190 PRINT D#;"RUN SUPER"
2300 PRINT D#;"WRITE ";F2#
2312 FOR J = 1 TO Z1
2314 XN(NL(J)) = XN(NL(J)) + X(3 * J): NEXT J
2316 FOR J = 1 TO NN
2320 PRINT X(J)
2330 NEXT J: GOTO 2180
```

```
5000 R(1,1) = H:R(2,3) = (F + G1) / Z6:R(2,6) = (F + G2) / Z6
5010 R(2,2) = (R(2,3) + R(2,6)) / Z6:R(4,4) = R(1,1):R(1,4) = -
      R(1,1): IF G > 0 THEN GOTO 5040
5020 R(3,6) = F:R(3,3) = G1:R(6,6) = G2:R(5,5) = R(2,2)
5030 R(2,5) = - R(2,2):R(3,5) = - R(2,3):R(5,6) = - R(2,6): GOTO
      5060
5040 R(3,3) = R(2,2):R(6,6) = R(3,3):R(2,5) = F:R(2,2) = G1:R(5,5
      ) = G2:R(3,6) = - R(3,3)
5050 R(2,3) = - R(2,3):R(5,6) = R(2,6):R(3,5) = - R(5,6):R(2,6)
      = - R(2,3)
5060 FOR I = 1 TO 6: FOR J = 1 TO 6
5061 REM
5070 ROT(I,J) = 0: IF I - J > 0 THEN R(I,J) = R(J,I)
5080 NEXT J: NEXT I
5090 ROT(1,1) = CC:ROT(2,2) = CC:ROT(4,4) = CC:ROT(5,5) = CC:ROT(
      3,3) = 1:ROT(6,6) = 1:ROT(1,2) = SS
5100 ROT(4,5) = SS:ROT(2,1) = - SS:ROT(5,4) = - SS
5110 FOR I = 1 TO 6: FOR J = 1 TO 6:RN(I,J) = 0: FOR K = 1 TO 6
5120 RN(I,J) = RN(I,J) + R(I,K) * ROT(K,J)
5130 NEXT K: NEXT J: NEXT I
5140 FOR I = 1 TO 6: FOR J = 1 TO 6:R(I,J) = 0: FOR K = 1 TO 6
5150 R(I,J) = R(I,J) + ROT(K,I) * RN(K,J)
5160 NEXT K: NEXT J: NEXT I
5170 JD(6) = 3 * J2:JD(5) = JD(6) - 1:JD(4) = JD(6) - 2
5180 JD(3) = 3 * J1:JD(2) = JD(3) - 1:JD(1) = JD(3) - 2: RETURN
6000 PRINT : PRINT TAB( 5);"NO"; TAB( 12);"MX"; TAB( 22);"MY"; TAB(
      32);"MXY": PRINT : RETURN
6100 PRINT : PRINT TAB( 2);"ELE-"; TAB( 9);"SIGMA"; TAB( 18);"S
      IGMA"; TAB( 27);"TAU XY": PRINT " MENTO"; TAB( 11);"XX"; TAB(
      20);"YY": PRINT : RETURN
6200 PRINT TAB( 5);"NO"; TAB( 13);"DESL. Z": PRINT : RETURN
6400 PRINT TAB( 5);"NO"; TAB( 13);"DESL. X"; TAB( 26);"DESL. Y"
      : PRINT : RETURN
6500 U3 = X(3 * K):U3 = FN E6(U3): PRINT TAB( 5);K; TAB( 14);U3
      : RETURN
6600 U3 = X(3 * K - 2):U4 = X(3 * K - 1)
6610 U3 = FN E6(U3):U4 = FN E6(U4)
6620 PRINT TAB( 5);K; TAB( 14);U3; TAB( 27);U4
6630 RETURN
7000 PRINT D#;"OPEN ";P6#;" ,D";KD
7010 PRINT D#;"READ ";P6#
7020 INPUT TH,PS,IX,IY,NB%,BF%,KY
7030 PRINT D#;"CLOSE";P6#
7040 D1 = (E * TH ^ 3) / (12 * (1 - PS * PS))
7050 FOR J = 1 TO NN:XC(J) = 0: NEXT J
7060 KS = 3 * J1
7070 IF KS > 0 THEN XC(A1(J)) = X(KS)
7080 KS = 3 * J2
7090 IF KS > 0 THEN XC(A2(J)) = X(KS)
7100 IC = IX:LA = ABS (XN(NB%) - XN(NB% + IX)):D1 = D1 / LA ^ 2
7110 FOR L = NB% TO NF% STEP IX
7115 GOSUB 7800
7130 J = L:D1 = D1 * LA ^ 2:LA = ABS (XN(BF% + 1) - XN(BF% + 1 +
      IY)):D1 = D1 / LA ^ 2
7140 FX(A1(L)) = Y(1) - 2 * Y(2) + Y(3)
7150 FOR K = 2 TO IX + 1
7160 JJ = BA(J)
7170 FX(A2(JJ)) = Y(K) - 2 * Y(K + 1) + Y(K + 2)
7180 J = J + 1
7190 NEXT K: NEXT L
7200 IC = IX
7210 FOR L = BF% + 1 TO KY STEP IY
7220 GOSUB 7800
```



```
7230 RETURN
7240 FOR K = 2 TO IY + 1
7250 JJ = BA(J)
7260 FY(A2(JJ)) = Y(K) - 2 * Y(K + 1) + Y(K + 2):J = J + 1
7270 NEXT K: NEXT L
7280 FOR K = 1 TO NN
7290 MX(K) = - D1 * (FX(K) + PS * FY(K))
7300 MY(K) = - D1 * (FY(K) + PS * FX(K))
7310 D2 = D1 * (1 - PS) / (4 * LA ^ 2):XYM(K) = D2 * (Y(K + 1) -
    Y(K - 1) - X(K + 1) + Y(K - 1))
7800 J = L
7810 FOR K = 2 TO IC + 1
7820 JJ = BA(J):Y(K) = XC(A1(JJ)):J = J + 1
7830 NEXT K
7840 Y(K) = XC(A2(JJ))
7850 IF AP(A1(L)) = 0 THEN GOTO 7900
7860 IG62 = 0 OR G1 < > 0 AND G2 < > 0 THEN GOTO 7880
7870 Y(1) = - Y(3)
7880 IF G1 < > 0 AND G2 < > 0 THEN Y(1) = Y(3)
7890 GOTO 7910
7900 Y(1) = 2 * Y(2) - Y(3)
7910 IF AP(A2(L + IC - 1)) = 0 THEN GOTO 7960
7920 IF G1 = 0 OR G1 < > 0 AND G2 < > 0 THEN GOTO 7940
7930 Y(K + 1) = - Y(K - 1)
7940 IF G1 = 0 THEN Y(K + 1) = Y(K - 1)
7950 GOTO 7970
7960 Y(K + 1) = 2 * Y(K) - Y(K - 1)
7970 RETURN
12000 PRINT TAB( 2);"ELE-"; TAB( 9);"EPSILON"; TAB( 18);"EPSILO
    N"; TAB( 27);"GAMA XY"
12010 PRINT " MENTO"; TAB( 11);"XX"; TAB( 20);"YY"; PRINT
12080 GOSUB 13000: GOSUB 14000
12090 PRINT : PRINT TAB( 2);"ELE-"; TAB( 9);"SIGMA"; TAB( 18);"
    SIGMA"; TAB( 27);"TAU XY"
12100 PRINT " MENTO"; TAB( 11);"XX"; TAB( 20);"YY"; PRINT
12110 GOSUB 13000: GOSUB 14000
12120 RETURN
19980 REM
19990 REM *** ROTINA PARA RESPOSTA S/N ***
20000 PRINT : PRINT TAB( 5);"DADOS CORRETOS (S/N) ";; INPUT P#:
    RETURN
20100 PRINT : PRINT TAB( 5);"PARA CONTINUAR PRES/ TECLA RETURN
    ";; INPUT P#: HOME : RETURN
20270 REM
20280 REM *** CABEDALHO PARA ESFORÇOS ***
20300 VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT P#: NORMAL
    : PRINT : RETURN
20310 PRINT : PRINT "BARRA"; TAB( 8);"NO"; TAB( 13);"FORÇA"; TAB(
    23);"FORÇA"; TAB( 33);"MOMENTO"
20320 PRINT TAB( 13);"NORMAL"; TAB( 22);"CORTANTE"; TAB( 33);"F
    LETOR"; GOTO 20350
20330 PRINT : PRINT "BARRA"; TAB( 8);"NO"; TAB( 13);"MOMENTO"; TAB(
    23);"MOMENTO"; TAB( 33);"FORÇA"
20340 PRINT TAB( 13);"TORSOR"; TAB( 23);"FLETOR"; TAB( 32);"COR
    TANTE"
20350 PRINT : RETURN
20500 HOME :PG = 4: IF G > 0 THEN GOTO 20530
20510 PRINT " NO"; TAB( 8);"DESL. X"; TAB( 19);"DESL. Y"; TAB( 3
    2);"ROT. Z"
20520 PRINT TAB( 32);"(*10+3)"; GOTO 20550
20530 PRINT " NO"; TAB( 8);"ROT. X"; TAB( 20);"ROT. Y"; TAB( 33)
    ;"DESL. Z"
20540 PRINT TAB( 8);"(*10+3)"; TAB( 20);"(*10+3)"
```

```
20550 PRINT : RETURN
20700 FOR L = 1 TO NB: IF Z3 = BA(L) THEN GOTO 20720
20710 NEXT L: PRINT TAB( 5);"NRO DA BARRA NAO CADASTRADO.": PRINT
      : PRINT TAB( 5);"NRO DADO = ";Z3:U6 = 1: GOSUB 20100
20720 RETURN

270 REM
273 REM *** PLOTA ESTRUTURAS ***
275 REM AUTOR: ENG. JOAO A. MABRI
278 REM
299 LOMEM: 16384
300 D# = CHR# (4):KD = 1: CALL - 936:P# = "PLOTA ESTRUTURA DEFO
      RMADA": GOSUB 20300
305 POKE - 16620,7:A = FRE (0): CLEAR
310 VTAB 5: HTAB 5: INPUT "NRO DA ESTRUTURA ";NE
315 PRINT D#;"OPEN GERAIS,L74,D";KD
316 POKE 33,4: POKE 34,12: POKE 35,1
320 PRINT D#;"READ GERAIS,R";NE
340 INPUT NM#,NN,NB,NA,NC,E,G,U1,Z2,Z1
350 PRINT D#;"CLOSE GERAIS"
355 G = 5
360 P1# = "MALHA." + NM#:P2# = "EXE-1" + NM#
365 DIM XN(NN),YN(NN),XD(NN),YD(NN),X1(NN),X2(NN),ZN(NN),A1(NB),
      A2(NB),C(3,3),YP(NN),XP(NN),ZF(NN),X4N(NN),Y4N(NN),Z4N(NN)
366 DIM X(NN),Y1(NN)
370 PRINT D#;"OPEN ";P1#;",D";KD
380 PRINT D#;"READ ";P1#
390 FOR J = 1 TO NN
400 INPUT XN(J),YN(J),XR,XR
410 NEXT J
412 FOR J = 1 TO NB
413 INPUT XR,A1(J),A2(J): NEXT J
414 PRINT D#;"CLOSE ";P1#
419 IF G > 0 THEN GOTO 430: REM GRELHA
423 FOR J = 1 TO NN
425 INPUT X1(J),Y1(J)
427 NEXT J: GOTO 437
430 FOR J = 1 TO NN
432 PRINT "ND ";J;: INPUT X(J): PRINT
435 NEXT J
437 PRINT D#;"CLOSE ";P2#
440 PRINT D#;"OPEN ESCALA,L50,D";KD
450 PRINT D#;"READ ESCALA,R",NE
455 INPUT SF,X0,Y0,FX,FY
460 PRINT D#;"CLOSE ESCALA"
480 VTAB 7: HTAB 5: INPUT "FATOR DE ESCALA P/ EST/ DEFOR/ (EM %)
      ";DS
485 FOR J = 1 TO NN:ZN(J) = 0: NEXT J
490 IF G > 0 THEN GOTO 540
500 DIM ZD(NN)
510 FOR J = 1 TO NN:ZD(J) = X(J) * DS / 100: NEXT J
540 FOR J = 1 TO NN
550 XD(J) = XN(J) + (X1(J) - XN(J)) * DS:YD(J) = YN(J) + (Y1(J) -
      YN(J)) * DS
560 NEXT J
630 CALL - 936:P# = "OPCOES": GOSUB 20300: TEXT
640 VTAB 5: HTAB 3: PRINT "1 - PLOTAR ESTRUTURA INDEFORMADA.": VTAB
      7: HTAB 3: PRINT "2 - PLOTAR O PORTICO DEFORMADO.": VTAB 9: HTAB
      3: PRINT "3 - PLOTAR E SUPERPOR DEF/ E INDEF/."
650 VTAB 11: HTAB 3: PRINT "4 - GIRAR E PLOTAR A GRELHA DEFORMAD
      A.": VTAB 13: HTAB 3: PRINT "5 - GIRAR E PLOTAR AS DUAS.": VTAB
      15: HTAB 3: PRINT "6 - RETORNAR.":F1 = 0
```

```
660 VTAB 19: HTAB 10: INPUT "DIGITAR (1,2,3,4,5 OU 6) ";OP: IF 0
    P < 1 OR OP > 6 THEN GOTO 630
670 ON OP GOSUB 700,1000,1200,1250,1600,685
680 GOTO 630
685 PRINT D#;"RUN SUPER"
700 GOSUB 9900
710 GOSUB 6300
720 FOR I = 1 TO NN
730 XR = XN(I):YR = YN(I): GOSUB 6000
740 FOR JY = YT - 1 TO YT + 1
750 HPLLOT XT - 1,JY TO XT + 1,JY
760 NEXT JY: NEXT I
770 FOR I = 1 TO NB
780 AA = A1(I):BB = A2(I):XR = XN(AA):YR = YN(AA): GOSUB 6000:AA =
    XT:CC = YT
790 XR = XN(BB):YR = YN(BB): GOSUB 6000
800 HPLLOT AA,CC TO XT,YT
810 NEXT I
820 IF F1 < > 0 THEN RETURN
830 GET P#: RETURN
1000 IF F1 = 0 THEN GOSUB 9900: GOSUB 6300
1010 FOR I = 1 TO NN
1020 XR = XD(I):YR = YD(I): GOSUB 6000
1030 FOR JY = YT - 1 TO YT + 1
1040 HPLLOT XT - 1,JY TO XT + 1,JY
1050 NEXT JY: NEXT I
1060 FOR J = 1 TO NB
1070 AA = A1(J):BB = A2(J):XR = XD(AA):YR = YD(AA): GOSUB 6000:AA =
    XT:CC = YT
1080 XR = XD(BB):YR = YD(BB): GOSUB 6000
1085 IF LH# = "C" THEN HPLLOT AA,CC TO XT,YT: GOTO 1130
1090 DX = XT - AA:DY = YT - CC:Q = SQR (DX * DX + DY * DY):UX =
    DX / Q:UY = DY / Q
1100 FOR L = 0 TO Q STEP 2
1110 XX = AA + L * UX:YY = CC + L * UY: HPLLOT XX,YY
1120 NEXT L
1130 NEXT J: GET P#: RETURN
1200 F1 = 1: GOSUB 700: GOSUB 1000
1210 RETURN
1246 PRINT D#;"PR#0"
1247 PRINT CHR# (9);"G";X#
1248 PRINT D#;"PR#0"
1250 FOR J = 1 TO NN:XP(J) = XD(J):YP(J) = YD(J):ZP(J) = ZD(J): NEXT
    J
1255 TEXT : CALL - 936:P# = "OPCODES:": GOSUB 20300
1260 VTAB 5: HTAB 5: PRINT "1 - ROTACAO EM X.": VTAB 7: HTAB 5: PRINT
    "2 - ROTACAO EM Y.": VTAB 9: HTAB 5: PRINT "3 - ROTACAO EM Z.
    ": VTAB 11: HTAB 5: PRINT "4 - RETORNAR."
1270 VTAB 14: HTAB 5: INPUT "DIGITAR (1,2,3 OU 4)";YR: IF YR < 1
    OR YR > 4 THEN GOTO 1255
1280 CALL - 936: VTAB 3: HTAB 5: INPUT "ANGULO DE ROTACAO (EM G
    RAUS) ";AG:AG = AG * 3.14159 / 180
1285 VTAB 5: HTAB 5: INPUT "QUER LINHA CHEIA OU PONTILHADA (C/P)
    ";LH#: IF LH# < > "C" AND LH# < > "P" THEN GOTO 1285
1300 ON YR GOSUB 1350,1450,1500,1310
1305 GOTO 1255
1310 FOR J = 1 TO NN:XD(J) = XP(J):YD(J) = YP(J):ZD(J) = ZP(J): NEXT
    J: RETURN
1360 GOSUB 8000
1370 FOR I = 1 TO NN
1380 GOSUB 9700
```

```
1450 GOSUB 9800
1460 FOR I = 1 TO NN
1470 GOSUB 9700: NEXT I
1480 GOSUB 1000: RETURN
1497 REM
1498 REM *** ROTACAD EM Z ***
1499 REM 1500 GOSUB 2500
1510 FOR I = 1 TO NN
1520 GOSUB 9700: NEXT I
1530 GOSUB 1000: RETURN
1800 GOSUB 1255
1810 FOR J = 1 TO NN
1820 XP(J) = XD(J):YP(J) = YD(J):ZP(J) = ZD(J)
1830 X4N(J) = XN(J):Y4N(J) = YN(J):Z4N(J) = ZN(J)
1840 NEXT J:F1 = 1
1850 ON YP GOSUB 1980,2100,2300,1930
1930 FOR J = 1 TO NN
1940 XD(J) = XP(J):YD(J) = YP(J):ZD(J) = YP(J):XN(J) = X4N(J):YN(
    J) = Y4N(J):ZN(J) = Z4N(J): NEXT J: RETURN
1950 NEXT J: RETURN
1980 GOSUB 9600:F2 = 1: GOSUB 8000
1990 FOR I = 1 TO NN
2000 GOSUB 11000: REM CALCULA CENTRO DE ROTACAO P/ INDEFORMADA
2010 NEXT I: GOSUB 700
2020 F2 = 0: GOSUB 8000
2030 FOR I = 1 TO NN
2040 GOSUB 9700: NEXT I: GOSUB 1000: RETURN
2110 FOR I = 1 TO NN
2120 GOSUB 11000: NEXT I: GOSUB 700:F2 = 0: GOSUB 8000
2130 FOR I = 1 TO NN
2140 GOSUB 9700: NEXT I: GOSUB 1000: RETURN
2230 F2 = 0: GOSUB 8000
2300 GOSUB 2500
2310 FOR I = 1 TO NN
2320 GOSUB 11000: NEXT I: GOSUB 700
2340 FOR I = 1 TO NN: GOSUB 9700: NEXT I: GOSUB 1000: RETURN
2500 C(1,1) = COS (AG):C(1,2) = SIN (AG):C(1,3) = 0:C(2,1) = -
    SIN (AG):C(2,2) = COS (AG):C(2,3) = 0:C(3,1) = 0:C(3,2) = 0
    :C(3,3) = 1: RETURN
6000 XT = X0 + SF * (XR * COS (PX) - YR * SIN (PY)):YT = Y0 + S
    F * (XR * SIN (PX) + YR * COS (PY)): RETURN
6100 XR = Z1 / SF:YR = Z2 / SF: GOSUB 6000: HPLLOT XT,YT: RETURN
6150 XR = Z1 / SF:YR = Z2 / SF: GOSUB 6000: HPLLOT TO XT,YT: RETURN

6300 HPLLOT 0,0 TO 279,0 TO 279,159 TO 0,159 TO 0,0: RETURN
8000 SX = 0:SY = 0:SZ = 0
8010 FOR I = 1 TO NN
8015 IF F2 = 0 THEN A7 = ZD(I): GOTO 8020
8017 A7 = ZN(I)
8020 SX = SX + XN(I):SY = SY + YN(I):SZ = SZ + A7
8030 NEXT I
8040 XC = SX / NN:YC = SY / NN:ZC = ZC / NN: RETURN
9600 C(1,1) = 1:C(1,2) = 0:C(1,3) = 0:C(2,1) = 0:C(2,2) = COS (A
    B):C(2,3) = SIN (AB)
9610 C(3,1) = 0:C(3,2) = - SIN (AB):C(3,3) = 0: RETURN
9700 A1 = XN(I) - XC:A2 = YN(I) - YC:A3 = ZD(I) - ZC
9710 XD(I) = XC + A1 * C(1,1) + A2 * C(2,1) + A3 * C(3,1)
9720 YD(I) = YC + A1 * C(1,2) + A2 * C(2,2) + A3 * C(3,2)
9730 ZD(I) = ZC + A1 * C(1,3) + A2 * C(2,3) + A3 * C(3,3): RETURN
```

```
9800 C(1,1) = COS (AG):C(1,2) = 0:C(1,3) = - SIN (AG):C(2,1) =
0:C(2,2) = 1:C(2,3) = 0:C(3,1) = SIN (AG):C(3,2) = 0:C(3,3) =
COS (AG): RETURN
9920 Z1 = 20:Z2 = 0: GOSUB 6150:Z1 = 8:Z2 = - 2: GOSUB 6100
9930 Z1 = 12:Z2 = - 6: GOSUB 6150:Z1 = 12:Z2 = - 2: GOSUB 6100
9940 Z1 = 8:Z2 = - 6: GOSUB 6150:Z1 = - 6:Z2 = 12: GOSUB 6100
9950 Z1 = - 4:Z2 = 10: GOSUB 6150
9960 Z1 = - 2:Z2 = 12: GOSUB 6100:Z1 = - 4:Z2 = 10: GOSUB 6150
9970 Z1 = - 4:Z2 = 8: GOSUB 6150: RETURN
11000 A1 = XN(I) - XC:A2 = YN(I) - YC:A3 = ZN(I) - ZC
11010 XN(I) = XC + A1 * C(1,1) + A2 * C(2,1) + A3 * C(3,1)
11020 YN(I) = YC + A1 * C(1,2) + A2 * C(2,2) + A3 * C(3,2)
11030 ZN(I) = ZC + A1 * C(1,3) + A2 * C(2,3) + A3 * C(3,2): RETURN
20296 REM
20297 REM ***ROTINA DE CENTRALIZACAO***
20298 REM
20300 VTAB 2: HTAB (40 - LEN (P#)) / 2: INVERSE : PRINT P#: NORMAL
: PRINT : RETURN
```

Módulo de simulação de disco no último banco de memória (16K).

```
*9200.9481
9200- 4C 18 92 9A 94 92 97 98
9208- 90 8F 92 96 92 AF 92 F5
9210- 92 6C 92 9B 93 2B 93 1B
9218- A9 00 8D 47 94 8D 48 94
9220- A9 FF 85 73 A9 91 85 74
9228- A9 3B 85 38 A9 92 85 39
9230- AD EA 03 C9 4C D0 03 20
9238- EA 03 60 48 A9 4C 85 B1
9240- A9 A0 85 B2 A9 93 85 B3
9248- 68 20 1B FD 8E 34 94 A2
9250- 06 DD 03 92 F0 07 CA 10
9258- FB AE 34 94 60 8A 0A AA
9260- BD 0A 92 48 E8 BD 0A 92
9268- 48 AE 34 94 60 8A 48 98
9270- 48 A2 05 BD 35 94 10 12
9278- 8A 48 BC 41 94 BD 3B 94
9280- AA 98 20 24 ED 20 57 DB
9288- 68 AA CA 10 E6 20 8E FD
9290- 68 A8 68 AA 4C E7 92 A9
9298- 01 8D 33 94 A2 00 BD 2F
92A0- 94 9D 00 02 E8 E0 04 90
92A8- F5 A9 06 85 33 A9 8D 60
92B0- A2 00 20 44 93 A2 05 BD
92B8- 35 94 10 10 BD 3B 94 CD
92C0- 49 94 D0 08 BD 41 94 CD
92C8- 4A 94 F0 1B CA 10 E8 A2
92D0- 05 BD 35 94 30 1B A9 80
92D8- 9D 35 94 AD 49 94 9D 3B
92E0- 94 AD 4A 94 9D 41 94 A5
92E8- 33 20 ED FD A2 00 4C 0C
92F0- FD CA 10 DD 30 F1 A2 06
92F8- 20 44 93 A2 05 BD 35 94
9300- 10 15 BD 3B 94 CD 49 94
9308- D0 0D BD 41 94 CD 4A 94
9310- D0 05 A9 00 9D 35 94 CA
9318- 10 E3 30 CB A2 05 A9 00
9320- 9D 35 94 CA 10 FA 20 8E
9328- FD 4C E7 92 A9 E6 85 B1
9330- A9 B8 85 B2 A9 D0 85 B3
9338- A9 1B 85 38 A9 FD 20 2E
9340- 92 A9 8D 60 BD 21 94 F0
9348- 06 20 ED FD E8 D0 F5 20
9350- 6F FD A9 00 8D 49 94 8D
9358- 4A 94 AA BD 00 02 38 E9
9360- B0 90 3C C9 0A B0 38 48
9368- 0E 49 94 2E 4A 94 AD 4A
9370- 94 48 AD 49 94 0E 49 94
9378- 2E 4A 94 0E 49 94 2E 4A
9380- 94 18 6D 49 94 8D 49 94
9388- 68 6D 4A 94 BD 4A 94 68
9390- 18 6D 49 94 8D 49 94 90
9398- 03 EE 4A 94 E8 D0 BC 60
93A0- AD 56 AA C9 93 F0 0B 8A
```

```
93A8- 48 98 48 20 28 92 68 A8
93B0- 68 AA A5 B9 C9 08 90 60
93B8- A5 75 CD 47 94 D0 07 A5
93C0- 76 CD 48 94 F0 52 8A 48
93C8- A5 75 8D 47 94 A5 76 8D
93D0- 48 94 AD 33 94 D0 15 A2
93D8- 05 BD 35 94 10 35 BD 3E
93E0- 94 C5 75 D0 2E BD 41 94
93E8- C5 76 D0 27 A9 AD 20 ED
93F0- FD A5 76 A6 75 20 24 ED 17
93F8- A9 AD 20 ED FD 20 8E FD
9400- AD 33 94 D0 03 20 3A FF
9408- A9 00 8D 33 94 A6 F8 9A
9410- 4C 3F D4 CA 10 C3 68 AA
9418- E6 B8 D0 02 E6 B9 4C B7
9420- 00 D4 D2 C1 D0 BF 00 D2
9428- C5 CD CF D6 C5 BF 00 C3
9430- CF CE D4 00 00 00 00 00
9438- 00 00 00 00 00 00 00 00
9440- 00 00 00 00 00 00 00 00
9448- 00 00 00 FF FF FF FF FF
9450- FF FF FF FF FF FF FF FF
9458- FF FF FF FF FF FF FF FF
9460- FF FF FF FF FF FF FF FF
9468- FF FF FF FF FF FF FF FF
9470- FF FF FF FF FF FF FF FF
9478- FF FF FF FF FF FF FF FF
```

OBSERVAÇÃO: esse módulo recebe parâmetros da rotina solicitante portanto deverá ser executado sob controle dessa rotina. Não é possível executar esse módulo fora do sistema.

B I B L I O G R A F I A

1. ANGEL, I.O. Practical introduction to computer graphics. London, Macmillan Computer Science Series, 1981.
2. ATRE, D. Data-base: structured techniques for design, Performance and management. New York, John Wiley & Sons Inc., 1981.
3. BARBOSA; ESPADA; BELLOMO; Cálculo de diferenças finitas. São Paulo, Nobel Editora, 1973.
4. BARES, R.; MASSONNET, C. Analysis of beam grids and orthotropic plate. New York, Frederic Ungar Publishing Co., 1968.
5. BEAUFAIT; ROWAN; HOADLEY; HACKETT. Computer methods structural analysis. New York, McGraw-Hill Co., 1976.
6. BOWES, H.W.; RUSSEL, T.L. Stress analysis by the finite element method for practicing engineers. London, Lexington Books, 1975.
7. BOWLES, J.E. Structural steel design. New York, McGraw-Hill, 1980.
8. BOWLES, J.E. Soil mechanics. New York, McGraw-Hill, 1978.
9. DEGASPARE, J.C. Aplicações do elemento finito T18 pa-

ra a flexão de placas delgadas elasto-isótropas.
São Carlos, EESCUSP, 1978.

10. GERE, J.W.; WEAVER, W.M. Analysis of framed Structures. Princenton, D. Van Nostrand Co. Inc., 1965.
11. HETÉNYI, M. Beams on elastic foundation. An Arbor, The University of Michigan Press, 1961.
12. HERENNIKOFF, A. Solution of problems of elasticity by the framework method. Trans. ASME, J. Appl. Mech. 8, december 1941, 169-175.
13. HUDSON, W.R.; MATLOCK, H. Cracked pavement with nonuniform support. Journal of Highway Div. ASCE, vol. 93; Nº HW1, New York, april, 1967.
14. KRUSE, R.L. Data structures & program design. New York, Prentice Hall Inc., 1984.
15. LEVENTHAL, L.A. 6502 assembly language programming. New York, McGraw-Hill, 1979.
16. LIVESLEY, R.K. Matrix methods of structural analysis. New York, The Macmillian Company, 1964.
17. LIGHTFOOD, E. A grid framework analogy for laterally loaded plates. International Journal of Mechanic Science, June, 1964, 201-208.
18. MAGRI, J.A. Programação BASIC. São Paulo, Editora Atlas, 1984.
19. MAGRI, J.A. Programação BASIC (máquinas compatíveis com o Apple II). São Paulo, Editora Atlas (no prelo), 1984.
20. MAGRI, J.A. Sistema operacional CP/M. Apostila da FECAP. São Paulo, 1982.
21. MAGRI, J.A. dBASE II: Sistema para o gerenciamento de banco de dados para microcomputadores. São Paulo, Editora Atlas, 1985.

22. MARCO, T. Structured analysis and systems specification. New Jersey, Prentice-Hall Inc., Software Series, 1979.
23. MCCORNICK, C.W. Plane stress analysis. Proc. ASCE, J. Struc. Div. nº 89 (August 1963) 39-54.
24. MARTIN, J. Computer data-base organization. New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1977.
25. MURASHEV, V.I.; SIGALOV, E.Y.; BAIKOV, V.N. Design of reinforced concrete structures. Moscow, Mir Publishers, 1968.
26. SANTOS, L.M. Cálculo de concreto armado. São Paulo, Editora Lauro Modesto dos Santos, 1981.
27. SALAVADORE, M.G.; BARON, M.L. Numerical methods in engineering. New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1961.
28. SARSON, T.; GANE, C. Structures Systems Analysis: tool and techniques. New Jersey, Prentice-Hall Inc. 1979.
29. SUSSEKIND, J.C. Concreto armado - vol. 1 e 2. Porto Alegre, Editora Globo, 1980.
30. TIMOSHENKO, S.; WOINOWSKY, S. Theory of plates and shells. New York, McGraw-Hill, 1959.
31. TIMOSHENKO, S.; YOUNG, D.H. Theory of structures. New York, McGraw-Hill, 1965.
32. TONG, P.; ROSSETOS, J.N. Finite element method - basic technique and implementation. London, MIT Press, 1977.
33. ZIENKIEWICZ, O.C.; CHEUNG, Y.K. The finite element method in structural and continuous mechanics. New York, McGraw-Hill, 1967.
34. ZIENKIEWICZ, O.C. Theory of matrix structural analysis. New York, McGraw-Hill, 1968.

35. ZAKS, R. Programming the 6502. New York, Sibex, 1979.
36. YOURDON, E.; CONSTANTINE, I. Structured design - fundamentals of a discipline of computer program and systems design. New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1979.
37. WEAVER, W. Computer programs for structural analysis. Van Nostrand Company Inc., 1967.
38. WESTERGARD, H.M. Stress in concrete pavements computed by theoretical analysis. Public roads, 7 (April, 1926) p. 25-35.
39. WELLER, W.J. Practical microcomputer programming: the 6502. Evanston, Northers Technology Books, 1980.
40. WILKINSON, J.W. Accounting and information systems. New York, John Willey and Sons, 1979.
41. WARNIER, J.D. Les procédures de traitement et leurs données. Paris, Les Editions D'Organisation, 1979.
42. WARNIER, J.D. Lógica de construção de sistemas. São Paulo, Editora Campus Ltda., 1984.