

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
ÁREA DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

A TÉCNICA DE SUBESTRUTURAS NA  
ANÁLISE DE ESTRUTURAS LINEARES

ENG.<sup>a</sup> MÔNICA PINTO BARBOSA

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

Comissão Examinadora

Suplentes

Titulares

Célia M. Finazzi de Andrade

Mario Pinotti Júnior

Wilson Sérgio Venturini

Francisco A. Rocco Lahr

Helena M.C. Carmo Antunes

(Orientadora)

SÃO CARLOS, JULHO DE 1986

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

aos meus pais Antônio e Estefânia, ao meu irmão Toninho e a Deã Marina amiga e irmã, ofereço.

"A experiência é a fonte única da verdade: somente ela pode nos ensinar qualquer coisa de novo; somente ela pode nos dar a certeza".

Henri Poincaré

## AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Helena M.C. Carmo Antunes que, com sua orientação segura e objetiva, sua compreensão, sua amizade, e seu apoio constante nos momentos mais difíceis, tornou possível a realização deste trabalho,

Aos professores do Departamento de Estruturas da EESC-USP, em especial ao Prof. Marcio Roberto Silva Corrêa, por seu apoio e sua amizade que nos momentos de desânimo reergueu-me e nos momentos de impasse abriu caminhos,

À UNESP, na pessoa dos Profs. Dib Gebara, David de Carvalho e José Sergio Komatsu que me deram as condições de tranquilidade necessárias para a conclusão deste trabalho,

À Regina Siqueira, Franklin, Neuza, Camila, Virgínia e Tuco pela acolhida em São Carlos,

Aos amigos, em especial à Iraides, Elaine e a D.<sup>a</sup> Wilma pelo incentivo,

Ao Jorge L. Costa pelas sugestões e discussões, ao Paiva pelos Back-up e a Suely Sanches pelas traduções,

À CAPES, pelo auxílio financeiro através da concessão de bolsa de estudo,

À Silvana Flores, Rui R. Casale e ao João Paulo Moretti pelos trabalhos de datilografia e desenho,

Aos funcionários do C.P.D. (Centro de Processamento de Dados) da EESC-USP, pelo auxílio prestado, e, sobretudo, pela atenção dispensada, mesmo nas horas de maior congestionamento,

A DEUS, pai e amigo, por sua presença constante.

## R E S U M O

O presente trabalho tem por objetivo mostrar a viabilidade e eficiência do emprego do Processo dos Deslocamentos, através da utilização da Técnica das Subestruturas, na obtenção de esforços e deslocamentos em estruturas lineares.

Para essa análise foram consideradas as estruturas constituídas de diversos tipos de subestruturas, prevendo-se qualquer tipo de interconexão entre elas, não havendo restrições quanto ao ângulo por elas formado, nem quanto ao seu tipo estrutural. Para tanto, foi montado um programa para o computador IBM-370/148 em linguagem FORTRAN, que automatiza esses cálculos.

Diversos exemplos são resolvidos e a precisão da técnica é analisada através de resultados comparativos.

## A B S T R A C T

The aim of this work is to show the viability and efficiency of using the Stiffnes Method employing the Technique of Substructures, for obtaining the stress and strain in linear structures.

For this analysis, structures composed of several kinds of substructures were considered. All kinds of interconnections among the substructures were foreseen, and no restriction with respect to the angle formed between them or to their structural types has been imposed.

A computer program was developed for an IBM-370/148 using the FORTRAN language, to automatize these calculations.

Several examples are solved and the technical precision is analysed by means of comparative results.

## S U M Á R I O

	Pág.
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	
1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	I.1
2 - CONTEÚDO DO TRABALHO .....	I.2
CAPÍTULO II - ANÁLISE DAS ESTRUTURAS LINEARES	
1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	II.1
2 - SISTEMA ESTRUTURAL - HIPÓTESES E DEFINIÇÕES ...	II.2
2.1 - SUBESTRUTURAS PLANAS .....	II.3
2.1.1 - Vigas .....	II.3
2.1.2 - Treliça Plana .....	II.3
2.1.3 - Pórtico Plano .....	II.3
2.1.4 - Grelhas .....	II.3
2.2 - SUBESTRUTURAS ESPACIAIS .....	II.4
2.2.1 - Treliça Espacial .....	II.4
2.2.2 - Pórticos Espaciais .....	II.4
3 - NOTAÇÃO .....	II.4
4 - LIGAÇÃO DAS SUBESTRUTURAS .....	II.6
5 - CARREGAMENTO .....	II.7
6 - SISTEMAS DE REFERÊNCIA .....	II.7
6.1 - SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA O SISTEMA ES TRUTURAL .....	II.7
6.2 - SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA AS SUBESTRUTU RAS .....	II.8

6.3 - SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA AS BARRAS DE UMA SUBESTRUTURA .....	II.8
7 - DESLOCAMENTOS .....	II.11
7.1 - DESLOCAMENTO DO SISTEMA ESTRUTURAL .....	II.11
7.2 - DESLOCAMENTO DAS SUBESTRUTURAS .....	II.12
7.2.1 - Subestruturas Planas .....	II.12
7.2.1.1 - Subestrutura Viga ....	II.12
7.2.1.2 - Subestrutura Treliça Plana .....	II.12
7.2.1.3 - Subestrutura Pórtico Plano .....	II.12
7.2.1.4 - Subestrutura Grelha ...	II.14
7.2.2 - Subestruturas Espaciais .....	II.14
7.2.2.1 - Subestrutura Treliça Espacial .....	II.14
7.2.2.2 - Subestrutura Pórtico Espacial .....	II.14
8 - MATRIZ DE RIGIDEZ E VETOR DOS ESFORÇOS DAS SUB ESTRUTURAS .....	II.14
8.1 - MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA BARRA DE SUBES- TRUTURA .....	II.16
8.1.1 - Matriz de Rigidez de uma Barra de Viga .....	II.16
8.1.2 - Matriz de Rigidez de uma Barra de treliça plana .....	II.16
8.1.3 - Matriz de Rigidez de uma Barra de pórtico plano .....	II.17



8.1.4 - Matriz de rigidez de uma barra de grelha .....	II.17
8.1.5 - Matriz de rigidez de uma barra de treliça espacial .....	II.18
8.1.6 - Matriz de rigidez de uma barra de pórtico espacial .....	II.18
8.2 - CONTRIBUIÇÃO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA BARRA INDIVIDUAL NA MATRIZ DE RIGI DEZ DE UMA SUBESTRUTURA .....	II.20
8.2.1 - Subestruturas Planas .....	II.20
8.2.2 - Subestruturas Espaciais .....	II.21
8.3 - MATRIZ DE RIGIDEZ E VETOR DOS ESFORÇOS DA SUBESTRUTURA REDUZIDO ÀS SUAS COOR- DENADAS EXTERNAS .....	II.22
9 - MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA ESTRUTURAL .....	II.28
10 - CÁLCULO DOS ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS DA ES- TRUTURA .....	II.30
10.1 - DESLOCAMENTOS DAS SUBESTRUTURAS .....	II.30
10.2 - DESLOCAMENTOS E ESFORÇOS DAS BARRAS DAS SUBESTRUTURAS .....	II.31

### CAPÍTULO III - PROGRAMA PARA O CÁLCULO DOS ESFORÇOS

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	III.1
2 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO .....	III.2
3 - VARIÁVEIS UTILIZADAS NO PROGRAMA .....	III.6
4 - PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA .....	III.10

5 - SAÍDA DOS RESULTADOS .....	III.12
6 - LISTAGEM DO PROGRAMA EM LINGUAGEM FORTRAN .....	III.12

#### CAPÍTULO IV - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	IV.1
2 - EXEMPLO Nº 1 .....	IV.2
3 - EXEMPLO Nº 2 .....	IV.10
4 - EXEMPLO Nº 3 .....	IV.17

CONCLUSÕES .....	C.1
------------------	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	R.1
----------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA .....	B.1
--------------------	-----

# C A P Í T U L O I

## INTRODUÇÃO

### 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

As idéias nas quais se baseiam os processos matriciais não são novas. Elas estão ligadas com os princípios estabelecidos por CASTIGLIANO, MAXWELL e MULLER-BRESLAU. A única razão para que estes não tenham sido completamente desenvolvidos e utilizados no começo deste século se deve ao fato de eles conduzirem a um sistema com um grande número de equações. Assim, para uma pequena e simples estrutura, o número de equações simultâneas poderia ser tal que sua solução sem o auxílio de uma eficiente máquina de calcular seria impraticável.

Deste modo, com o surgimento dos computadores digitais de médio a grande porte, o cálculo estrutural foi reorganizado sob diversos processos de cálculo e vários programas computacionais foram sendo desenvolvidos para calcular esforços internos e deslocamentos nas estruturas.

O primeiro desses processos desenvolvidos para o cálculo de estruturas lineares foi o Processo dos Deslocamentos que utiliza matrizes como meio de descrever de forma

compacta os carregamentos, deslocamentos e propriedades elásticas das estruturas.

A maioria dos programas computacionais, para cálculo de esforços em estruturas lineares trata a estrutura global como sendo composta de um único tipo estrutural, seja pórtico, treliça, grelha, plana ou tridimensional, independente dos diversos tipos de estruturas que as possam estar compondo. Porém, para algumas, como por exemplo "*Pórticos de Edifícios Industriais*", que na sua maioria são formados de estruturas lineares do tipo treliça e pórtico, seria interessante ter esses esforços calculados considerando a estrutura global como um todo, com suas barras rigidamente inter-conectadas, para que se leve em consideração na rigidez da estrutura a contribuição de todos os seus elementos, mas também respeitando as diferentes particularidades de cada tipo estrutural que as estejam compondo.

## 2 - CONTEÚDO DO TRABALHO

Nos programas acima mencionados cada nó da estrutura possui de dois a seis deslocamentos independentes. Como o número de nós é geralmente grande, a matriz de rigidez terá uma dimensão tal que torna a solução, quando possível, onerosa.

Para contornar esses problemas a solução utilizada neste trabalho, consiste em se montar um programa para computador que possibilite o tratamento das estruturas lineares, como sendo compostas de diversos tipos de estruturas menores sem nenhuma restrição quanto ao seu posicionamento e ao seu tipo estrutural, quer sejam treliças, pórticos, grelhas, quer sejam planas ou tridimensionais.

Será utilizada para tanto, a técnica das subestruturas. Essa técnica foi introduzida por GABRIEL KRON e consiste em dividir a estrutura em unidades menores denominadas subestruturas, e analisar cada unidade independentemente im

pondo que se mantinham as compatibilidades das forças e dos deslocamentos nas intersecções onde se tem as conexões.

Dessa forma haverá uma redução expressiva na ordem da matriz de rigidez global, e se trabalha com uma subestrutura por vez na memória central do computador, fazendo assim com que a capacidade de execução se torne expressivamente maior. No caso deste trabalho, além das vantagens acima mencionadas, se obterá os deslocamentos e esforços compatíveis aos diferentes tipos estruturais das subestruturas.

É usado o Processo dos Deslocamentos, compatibilizando-se as deformações nos nós comuns a duas ou mais subestruturas. A solução obtida foi programada em linguagem FORTRAN, para computador IBM/370, e os resultados são comparados com exemplos calculados por outros programas disponíveis.

No capítulo II é feita a análise das estruturas lineares, indicando-se como se obtém a matriz de rigidez e o vetor dos esforços das subestruturas, assim como a matriz de rigidez, o vetor dos deslocamentos e os esforços internos finais da estrutura global.

No capítulo III são discutidos os detalhes pertinentes à resolução por computador.

No capítulo IV são apresentados alguns exemplos de cálculo, explorando as potencialidades do programa elaborado para computador, cujos resultados são comparados com as soluções obtidas por outros autores.

C A P Í T U L O    I I

## ANÁLISE DAS ESTRUTURAS LINEARES

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

As estruturas lineares analisadas no presente trabalho serão formadas por subestruturas, quer sejam planas ou tridimensionais, de diferentes tipos: vigas, treliças planas e espaciais, pórticos planos e espaciais e grelhas, interconectadas entre si através dos nós de ligação. Essas subestruturas por sua vez serão compostas por barras e nós.

A análise estática será feita pelo Processo dos Deslocamentos, de acordo com o esquema de cálculo apresentado a seguir.

Numa primeira etapa serão definidas as diversas subestruturas que irão compor o conjunto estrutural, assim como os nós de ligação entre elas e com a chapa-terra, impondo para cada tipo de apoio as devidas condições de contorno.

Na etapa seguinte serão montadas as matrizes de rigidez de cada barra das subestruturas com o objetivo de encontrar suas matrizes de rigidez.

A terceira etapa será a da composição das matrizes de rigidez e vetores dos esforços de cada subestrutura, através da contribuição das barras destas, sendo que o objetivo será o de se encontrar matrizes de rigidez e vetores dos esforços equivalentes, nas coordenadas externas das mesmas (1). Serão consideradas coordenadas externas, aquelas comuns a duas ou mais subestruturas quer planas ou tridimensionais, e à chapa-terra.

A partir do instante em que as matrizes de rigidez e os vetores dos esforços das subestruturas estejam compostos e reduzidos às suas coordenadas externas, determina-se a matriz de rigidez global da estrutura. Com essa matriz de rigidez e com o vetor dos esforços da estrutura, impondo-se as condições de contorno dos apoios, determinam-se os deslocamentos desta, consistindo esta a quarta etapa. Neste ponto é conveniente ressaltar que, somente com as coordenadas de ligação de uma subestrutura com a outra, e com a chapa-terra, é que serão obtidos os elementos da matriz de rigidez e vetor dos esforços da estrutura.

Na quinta e última etapa serão calculados, por retro-substituições, os deslocamentos e os esforços internos nos elementos de cada subestrutura, sendo o cálculo destes o objetivo final do presente trabalho.

As etapas foram assim divididas, com a intenção de uma melhor compreensão, por parte do leitor, do esquema de cálculo utilizado neste trabalho, uma vez que, para se automatizar o processo, algumas etapas deverão ser feitas conjuntamente com a intenção de se trabalhar com apenas uma subestrutura por vez na memória central do computador.

## 2 - SISTEMA ESTRUTURAL - HIPÓTESES E DEFINIÇÕES

Será considerado, como sistema estrutural, a estrutura plana ou tridimensional formada pelas subestruturas também planas ou tridimensionais, que por sua vez, serão formadas por barras e nós, mantendo cada uma delas suas

próprias características. Estas subestruturas poderão se interceptar formando qualquer ângulo.

Apesar de já terem sido mencionadas anteriormente, serão dadas a seguir uma melhor caracterização e algumas considerações a respeito de seus componentes.

## 2.1 - SUBESTRUTURAS PLANAS

### 2.1.1 - Vigas

As vigas serão subestruturas compostas de barras retas, onde uma de suas dimensões predomina sobre as outras duas, recebendo cargas normais ao seu eixo.

### 2.1.2 - Treliça Plana

Consiste em uma subestrutura plana formada de barras retas articuladas nas extremidades, e cujas articulações não apresentam rigidez a rotações. O carregamento externo está aplicado apenas em suas articulações, de tal forma que suas barras somente sejam solicitadas por esforços normais de tração e compressão.

### 2.1.3 - Pórtico Plano

É uma subestrutura constituída de várias barras retas contidas em um único plano e que recebem solicitações coplanares.

### 2.1.4 - Grelhas

São subestruturas constituídas de barras retas



que se cruzam, todas elas contidas em um único plano e cujo carregamento externo aplicado age em direção perpendicular a esse plano ou seja, recebem solicitações não coplanares.

## 2.2 - SUBESTRUTURAS TRIDIMENSIONAIS

### 2.2.1 - Treliça Espacial

É idêntica à treliça plana, exceto que suas barras não pertençam todas a um mesmo plano.

### 2.2.2 - Pórticos Espaciais

São subestruturas formadas de barras retas que não pertençam todas a um mesmo plano, não havendo, portanto, restrições na posição dos nós, na direção de suas barras e na direção das cargas externas aplicadas.

## 3 - NOTAÇÃO

Serão utilizadas as seguintes variáveis:

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| $X, Y, Z$                        | - sistema de referência para o sistema estrutural   |
| $x_s, y_s, z_s$                  | - sistema de referência para uma subestrutura   |
| $x_i, y_i, z_i$                  | - sistema de referência para a barra <u><math>i</math></u> .                                  |
| $\gamma_s, \beta_s$ e $\theta_s$ | - ângulos que relacionam $x_s, y_s, z_s$ da subestrutura $s$ com $X, Y, Z$ .                  |
| $\alpha_i$                       | - ângulo que relaciona $x_i, y_i, z_i$ da barra $i$ da subestrutura $s$ com $x_s, y_s, z_s$ . |

- NB - número de barras de uma subestrutura
- NCS - número de coordenadas da subestrutura
- NS - número de subestruturas de uma estrutura
- NI - número de nós de ligação da estrutura
- $I_y, I_z$  - momentos de inércia da seção transversal de uma barra, em relação aos eixos principais  $y_i$  e  $z_i$  respectivamente
- $I_x$  - momento de inércia da seção transversal, à torção livre de uma barra
- $A_x$  - área da seção transversal de uma barra
- E - módulo de elasticidade
- G - módulo de elasticidade transversal
- L - comprimento de uma barra
- $[RB]_V$  - matriz de rigidez da barra de uma subestrutura tipo viga
- $[RB]_T$  - matriz de rigidez da barra de uma subestrutura tipo treliça plana
- $[RB]_{P P}$  - matriz de rigidez da barra de uma subestrutura tipo pórtico plano
- $[RB]_G$  - matriz de rigidez da barra de uma subestrutura tipo grelha
- $[RB]_{T E}$  - matriz de rigidez da barra de uma subestrutura tipo treliça espacial
- $[RB]_{P E}$  - matriz de rigidez da barra de uma subestrutura tipo pórtico espacial
- $\{DB\}_i^s, \{FB\}_i^s, \{RB\}_i^s$  - deslocamentos, esforços e matriz de rigidez da barra  $i$  de uma subestrutura  $s$
- $[RTF]_i^s$  - matriz que relaciona os deslocamentos da subestrutura  $s$  com os deslocamentos da barra  $i$ , pertencentes a esta subestrutura
- $\{DB\}_j^i$  - deslocamento do nó  $j$  de uma barra  $i$

- $[DS]^s, [FS]^s, [RS]^s$  - deslocamentos, esforços e matriz de rigidez da subestrutura  $s$ , respectivamente
- $[DS_I]^s, [DS_B]^s$  - deslocamentos internos e externos da subestrutura  $s$
- $[FS^*]^s, [RS^*]^s$  - esforços e matriz de rigidez da subestrutura  $s$ , reduzidos às suas coordenadas externas
- $[\beta E]^s$  - matriz que relaciona os deslocamentos do sistema estrutural com os deslocamentos da subestrutura  $s$ , pertencente a este sistema
- $[DE], [FE], [RE]$  - deslocamentos, esforços e matriz de rigidez do sistema estrutural, respectivamente

#### 4 - LIGAÇÃO DAS SUBESTRUTURAS

As subestruturas estarão ligadas entre si e com a chapa-terra através de nós que serão denominados de nós externos ou nós de borda, mantendo sempre a compatibilidade entre as forças e deslocamentos nesses nós. (fig. II-1)

Para cada nó externo de subestrutura, independente de seu tipo estrutural, teremos coordenadas deslocamentos, nas quais irão ser compostas a matriz de rigidez e o vetor dos esforços do sistema estrutural.

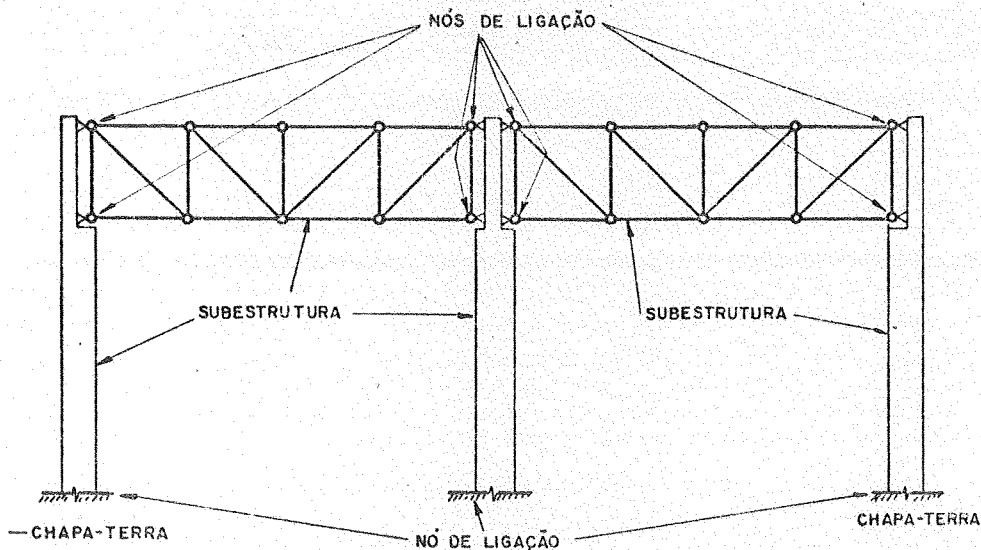


FIGURA II.1 - LIGAÇÃO DAS SUBESTRUTURAS.

## 5 - CARREGAMENTOS

As ações externas atuantes na estrutura poderão estar constituídas de três tipos de carregamento:

- a) Cargas aplicadas diretamente nos nós segundo as coordenadas deslocamentos do sistema estrutural.
- b) Cargas aplicadas nos nós das subestruturas.
- c) Cargas aplicadas nas barras das subestruturas vigas, pórticos e grelhas.

## 6 - SISTEMA DE REFERÊNCIA

### 6.1 - SISTEMAS DE REFERÊNCIA PARA O SISTEMA ESTRUTURAL

O sistema estrutural, quer seja plano ou tridimensional, terá como referência o sistema de eixos cartesia-

nos X, Y, Z, com origem "0" num ponto qualquer do plano ou do espaço respectivamente. (fig. II-2).

## 6.2 - SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA AS SUBESTRUTURAS

Para uma subestrutura, plana ou tridimensional, será adotado como referência, o sistema cartesiano de eixos  $x_s, y_s, z_s$  com origem " $0_s$ " situada num ponto qualquer desta. Para as subestruturas planas os eixos  $x_s$  e  $y_s$  estarão contidos no plano da mesma e o eixo  $z_s$  será perpendicular a este.

A relação entre os sistemas de referência X, Y, Z e  $x_s, y_s, z_s$  será definida pelo ângulo  $\gamma_s$  formado pelos eixos X e  $x_s$ , medindo sempre do primeiro para o segundo, no sentido anti-horário do plano que os contém, e pelos ângulos  $\beta_s$  e  $\theta_s$  formado pelos eixos Y e  $y_s$  e Z e  $z_s$ , respectivamente.

Nas subestruturas espaciais, o sistema de referência  $x_s, y_s$  e  $z_s$  coincide com o do sistema estrutural.

Para facilidade de referência dos elementos componentes da estrutura, será conveniente que a subestrutura seja vista de tal forma que sua origem fique à esquerda do observador. (fig. II-2)

## 6.3 - SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA AS BARRAS DE UMA SUBESTRUTURA.

Para a barra  $i$  de uma subestrutura será adotado, para referência, o sistema cartesiano de eixos  $x_i, y_i, z_i$  com origem em uma de suas extremidades, denominada nó inicial. O eixo  $x_i$  está orientado ao longo do eixo da barra passando pelo centróide das seções, e os eixos  $y_i$  e  $z_i$  serão coincidentes com os eixos principais de inércia da seção transversal.

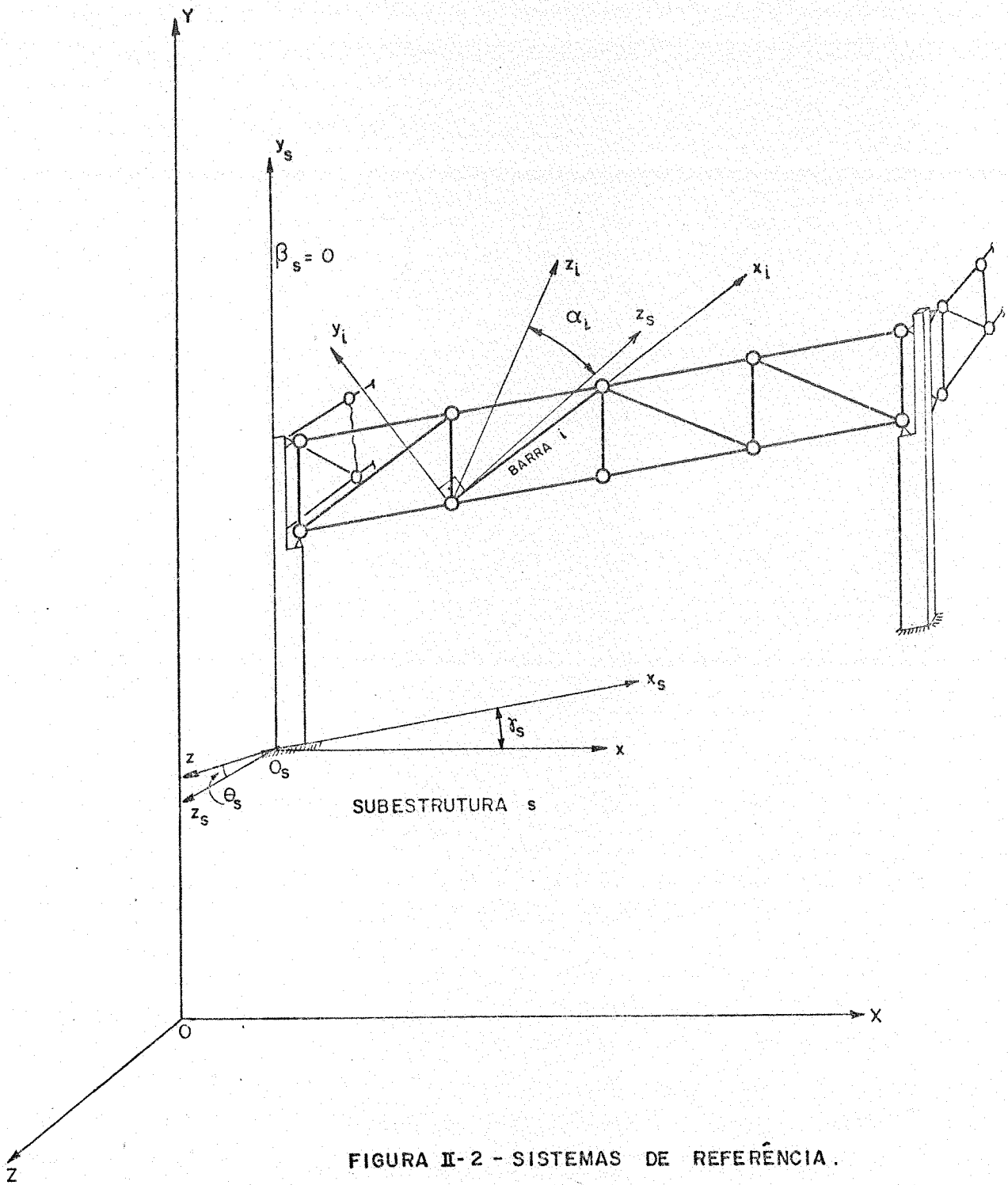


FIGURA II-2 - SISTEMAS DE REFERÊNCIA.

Nas subestruturas planas, a relação entre o sistema de referência  $x_s, y_s, z_s$  e  $x_i, y_i, z_i$  será definida através de seus co-senos diretores. (fig. II-2)

No caso de uma barra de subestrutura espacial a relação entre os dois sistemas será dada em função dos co-senos diretores do eixo  $x_i$  relativos aos eixos  $x_s, y_s, z_s$  respectivamente e pelo ângulo  $\alpha_i$  assim definido:

Chamando de plano A o plano que contém o eixo  $x_i$  e uma reta paralela ao eixo  $y_s$ , portanto perpendicular ao plano  $x_s-z_s$ , e  $y'$  a reta contida no plano A e perpendicular ao eixo  $x_i$ , sendo sua direção tal que sua projeção sobre o eixo  $y_s$  esteja na direção positiva do mesmo, definimos o ângulo  $\alpha_i$  de  $y'$  a  $y_i$ , segundo a regra da mão direita em torno do eixo  $x_i$ . (fig. II-3)

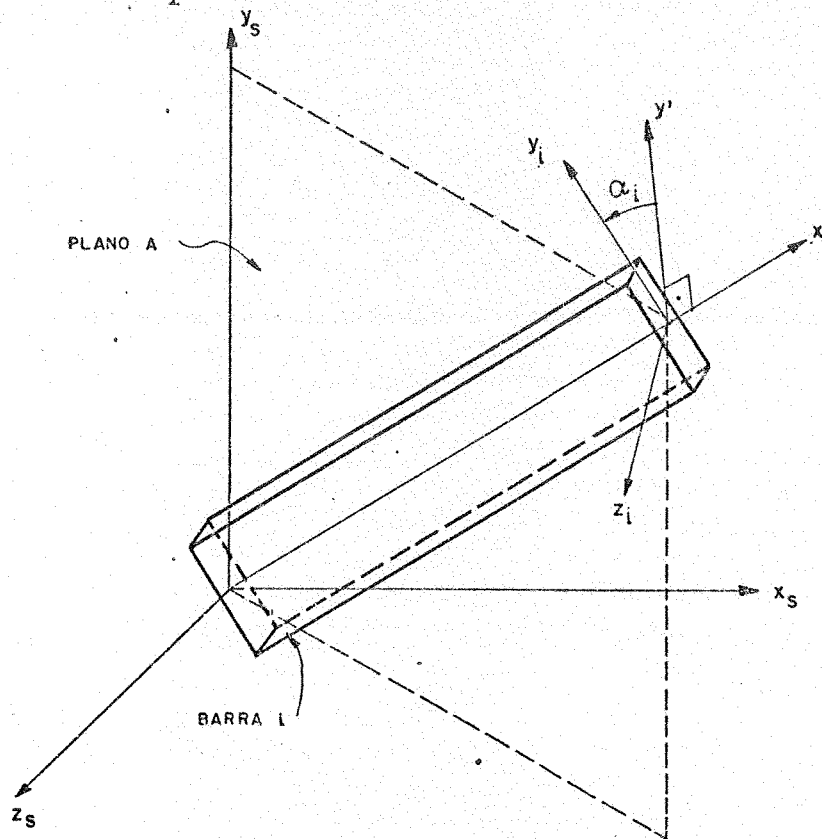


FIGURA II-3 - SISTEMA DE REFERÊNCIA DE UMA BARRA I DE PÓRTICO ESPACIAL.

No caso em que o eixo  $x_i$  seja paralelo a  $y_s$ , o plano A não ficará definido. Neste caso define-se  $\alpha_i$  de

$-x_s$  a  $y_i$ , se o eixo  $x_i$  tem a mesma direção que o eixo  $y_s$  e de  $+x_s$  a  $y_i$  em caso contrário.

7 - DESLOCAMENTOS

7.1 - DESLOCAMENTOS DO SISTEMA ESTRUTURAL

Lembrando que a estrutura será composta de um ou mais tipos iguais e ou diferentes de subestruturas, e chamando de nós de ligação as intersecções entre duas ou mais subestruturas ou de uma subestrutura com a chapa-terra, ter-se-á para qualquer deslocamento de um desses nós as seguintes coordenadas deslocamentos:

- Translações e rotações segundo os eixos X, Y, Z do sistema estrutural.

Os deslocamentos nessas coordenadas estarão contidos no vetor  $\{DE\}$  de ordem  $3n_i \times 1$  para as estruturas planas e  $6n_i \times 1$  para as estruturas espaciais, onde  $n_i$  é o número de nós de ligação da estrutura.

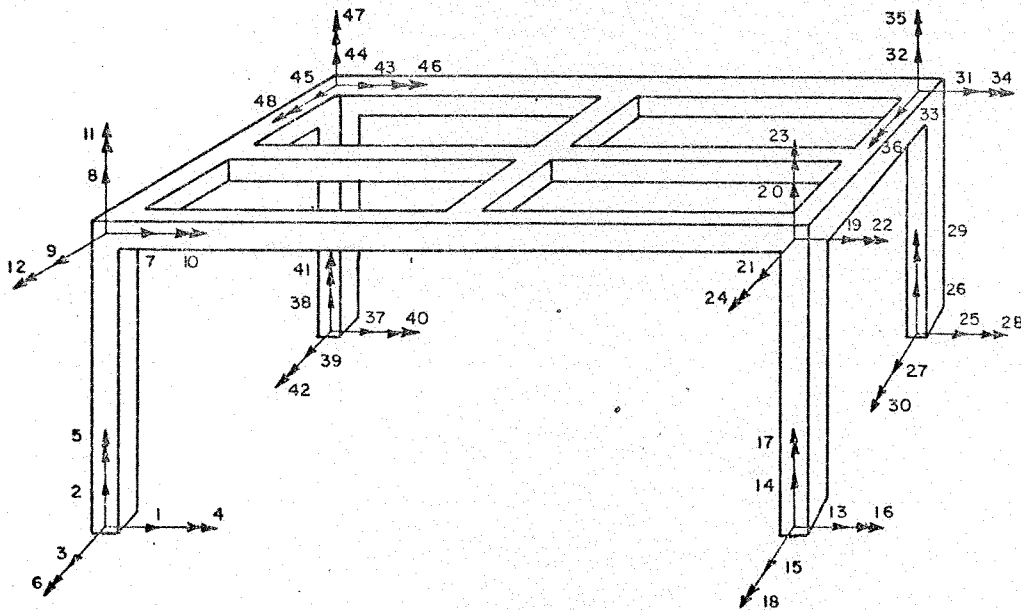


FIGURA IX - 4 - COORDENADAS DESLOCAMENTOS NA ESTRUTURA



## 7.2 - DESLOCAMENTOS DAS SUBESTRUTURAS

Para cada tipo de subestrutura ter-se-á um vetor deslocamento correspondente, onde as translações deverão ser numeradas primeiramente, vindo a seguir as rotações. A ordem de numeração das coordenadas deve obedecer a ordem estabelecida para a numeração dos nós.

### 7.2.1 - Subestruturas Planas

Nas subestruturas planas as translações ou as rotações segundo os eixos  $x_s$  e  $y_s$  deverão ser numeradas primeiramente, vindo a seguir a translação ou a rotação segundo o eixo  $z_s$ .

#### 7.2.1.1 - Subestrutura Viga

As coordenadas deslocamento da subestrutura viga serão a translação vertical segundo o eixo  $y_s$  e a rotação segundo o eixo  $z_s$ . (fig. II-5a).

#### 7.2.1.2 - Subestrutura Treliça Plana

Em uma treliça plana ter-se-á as translações segundo os eixos  $x_s$  e  $y_s$ . (fig. II-5b)

#### 7.2.1.3 - Subestrutura Pórtico Plano

No pórtico plano as coordenadas deslocamento serão as translações segundo os eixos  $x_s$  e  $y_s$  e a rotação segundo o eixo  $z_s$ . (fig. II-5c)

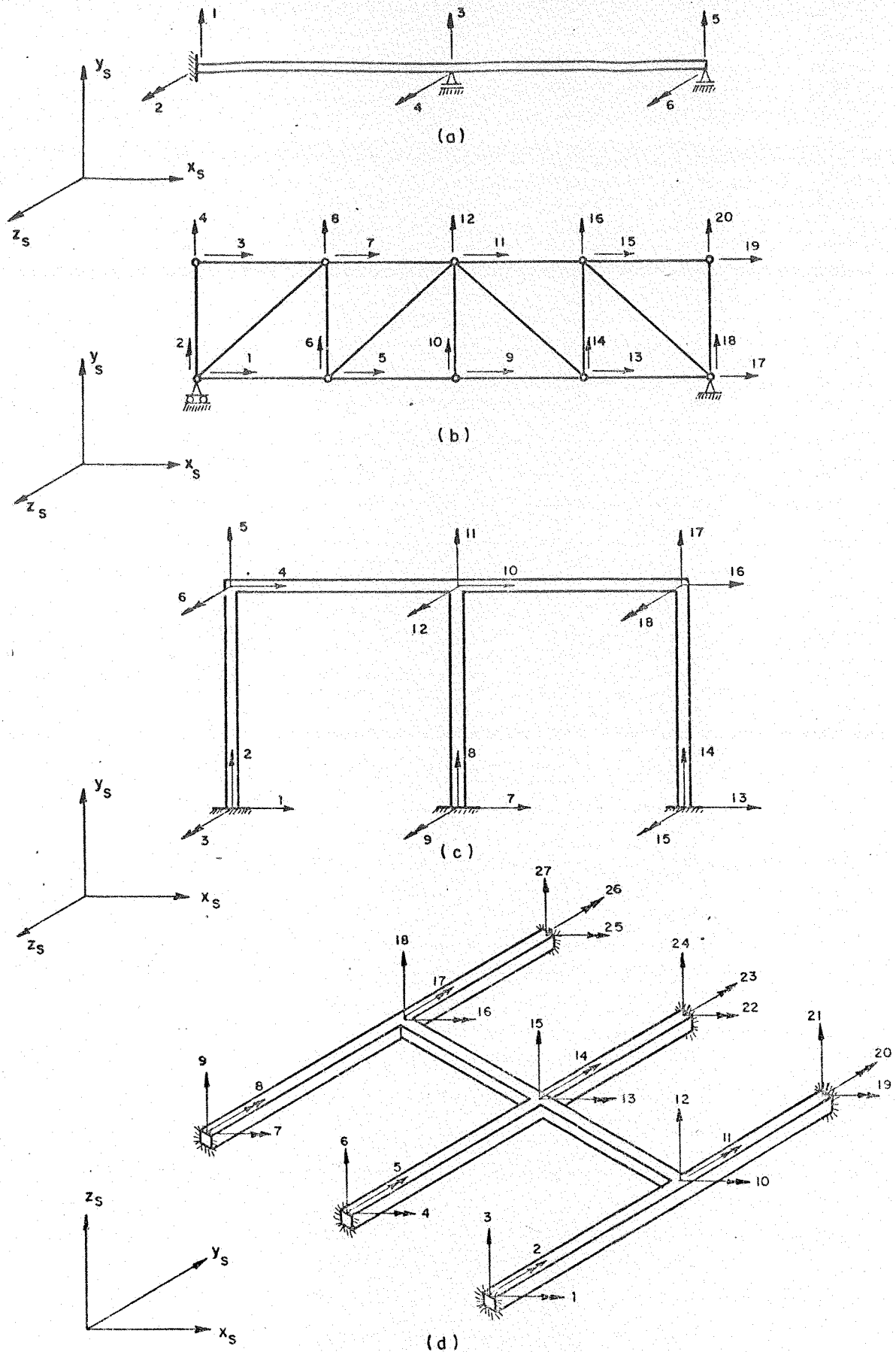


FIGURA II-5 - COORDENADAS DESLOCAMENTOS DAS SUBESTRUTURAS PLANAS.

#### 7.2.1.4 - Subestrutura Grelha

Para as grelhas ter-se-ã as rotações segundo os eixos  $x_s$  e  $y_s$  e a translação segundo o eixo  $z_s$ . (fig. II-5d).

#### 7.2.2 - Subestruturas Espaciais

Nas subestruturas espaciais ter-se-ã o vetor deslocamento, onde as translações segundo os eixos  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$  deverão ser numeradas primeiramente, vindo a seguir as rotações segundo os mesmos eixos.

##### 7.2.2.1 - Subestrutura Treliça Espacial

As coordenadas deslocamento serão as translações segundo os eixos  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$  (fig. II-6a)

##### 7.2.2.2 - Subestrutura Pórtico Espacial

Para um nó do pórtico espacial as coordenadas deslocamento em número de seis, representadas na (fig. II-6b) são as translações e as rotações segundo os eixos  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$ .

### 8 - MATRIZ DE RIGIDEZ E VETOR DOS ESFORÇOS DAS SUBESTRUTURAS

A matriz de rigidez de cada subestrutura será composta, através da contribuição das rigidezes de todas as barras que a compõe, nas coordenadas da mesma. O vetor dos esforços será conseguido também pela contribuição dos esforços externos aplicados nas barras e diretamente nos nós da subes

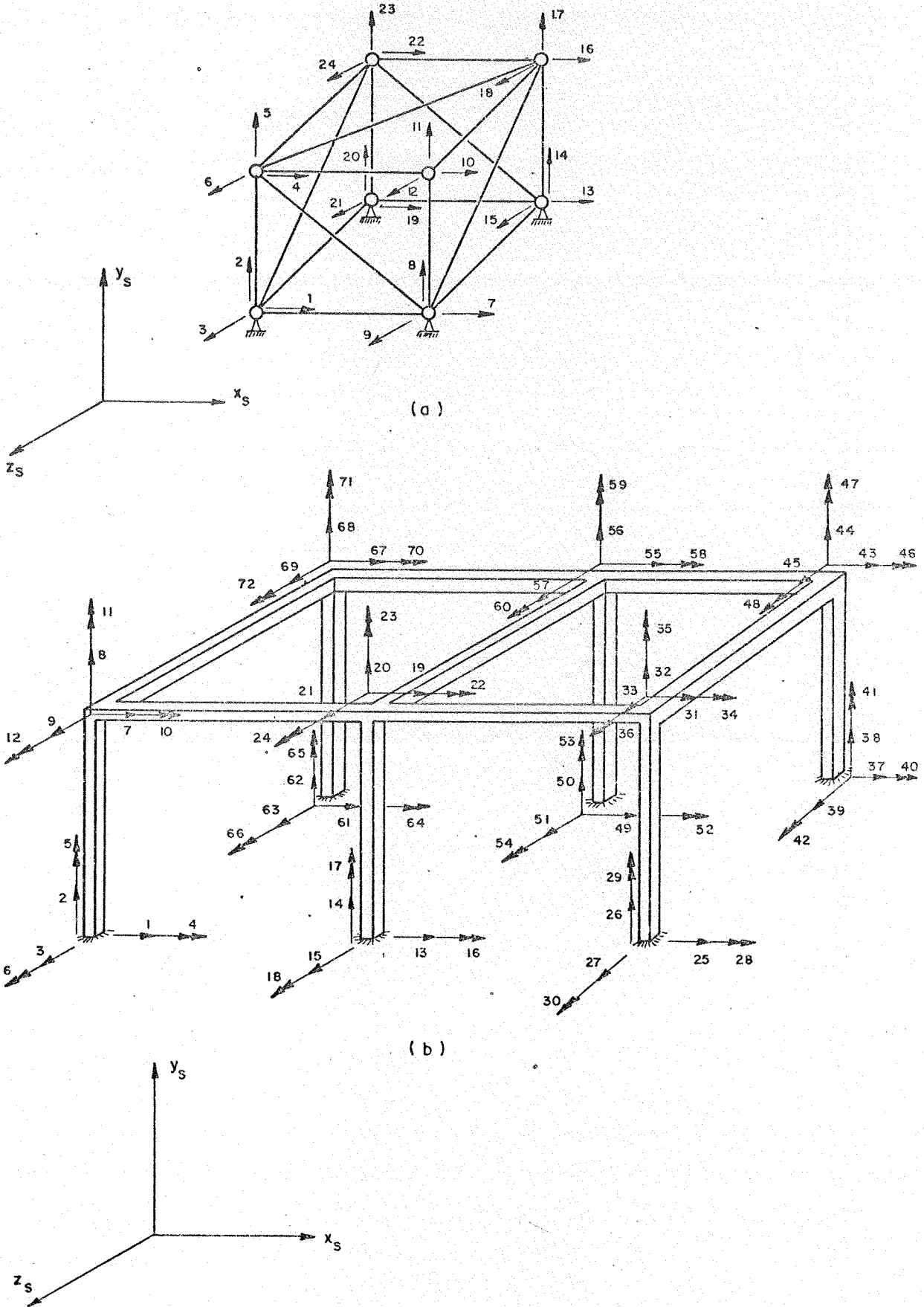


FIGURA II-6 - COORDENADAS DESLOCAMENTOS DAS SUBESTRUTURAS ESPACIAIS.

estrutura, na direção e sentido das componentes do vetor deslocamento da mesma.

### 8.1 - MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA BARRA DE SUBESTRUTURA

Para uma barra de subestrutura, ter-se-á uma matriz de rigidez de acordo com os deslocamentos de extremidade de cada tipo, variando portanto a ordem de cada uma.

#### 8.1.1 - Matriz de Rigidez de uma Barra de Viga

Para uma barra da subestrutura viga, com dois deslocamentos por extremidade ter-se-á a matriz de rigidez da barra da viga, de ordem 4x4:

$$[RB]_V = \begin{bmatrix} \frac{12EI_z}{L^3} & & & \\ \frac{6EI_z}{L^2} & \frac{4EI_z}{L} & & \\ -\frac{12EI_z}{L^3} & -\frac{6EI_z}{L^2} & \frac{12EI_z}{L^3} & \\ \frac{6EI_z}{L^2} & \frac{2EI_z}{L} & -\frac{6EI_z}{L^2} & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix} \quad \text{SIMÉTRICA}$$

#### 8.1.2 - Matriz de Rigidez de uma Barra de Treliça Plana

Para uma barra de treliça plana ter-se-á também uma matriz de rigidez de ordem 4x4, ou seja:

$$[RB]_{T P} = \begin{bmatrix} \frac{EA_x}{L} & & & & & \\ & 0 & 0 & & & \\ & \frac{EA_x}{L} & 0 & & \frac{EA_x}{L} & \\ & 0 & 0 & & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{SIMÉTRICA}$$

8.1.3 - Matriz de Rigidez de uma Barra de Pórtico Plano

Com os três possíveis deslocamentos em cada extremidade da barra de um pórtico plano ter-se-á a matriz de rigidez, de ordem 6x6:

$$[RB]_{P P} = \begin{bmatrix} \frac{EA_x}{L} & & & & & \\ & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & & & \\ & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & \frac{4EI_z}{L} & & \\ -\frac{EA_x}{L} & 0 & 0 & \frac{EA_x}{L} & & \\ & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} \\ & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \quad \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix} \quad \text{SIMÉTRICA}$$

8.1.4 - Matriz de Rigidez de uma Barra de Grelha

Em uma barra de grelha ter-se-á a seguinte matriz de rigidez de ordem 6x6:

$[RB]_G =$

$\frac{GI_x}{L}$					
0	$\frac{4EI}{L}y$				
0	$\frac{6EI}{L^2}y$	$\frac{12EI}{L^3}y$			
$-\frac{GI_x}{L}$	0	0	$\frac{GI_x}{L}$		
0	$\frac{2EI}{L}y$	$\frac{6EI}{L^2}y$	0	$\frac{4EI}{L}y$	
0	$\frac{6EI}{L^2}y$	$-\frac{12EI}{L^3}y$	0	$\frac{6EI}{L^2}y$	$\frac{12EI}{L^3}y$

SIMÉTRICA

8.1.5 - Matriz de Rigidez de uma Barra de Treliça Espacial

A ordem da matriz de rigidez de uma barra de treliça espacial é de 6x6, que será:

$[RB]_{TE} =$

$\frac{EA_x}{L}$					
0	0				
0	0	0			
$-\frac{EA_x}{L}$	0	0	$\frac{EA_x}{L}$		
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0

SIMÉTRICA

8.1.6 - Matriz de Rigidez de uma Barra de Pórtico Espacial

No caso mais geral, de uma barra de um pórtico espacial com seis deslocamentos por extremidade, ter-se-á a seguinte matriz de rigidez, de ordem 12x12:

$\frac{EA x}{L}$	$\frac{12EI z}{L^3}$	$\frac{12EI y}{L^3}$	$\frac{EI x}{L}$	$\frac{4EI y}{L}$	$\frac{4EI z}{L}$	$\frac{EA x}{L}$	$\frac{12EI z}{L^3}$	$\frac{6EI y}{L^2}$	$\frac{6EI x}{L}$	$\frac{12EI y}{L^3}$	$\frac{12EI z}{L^3}$	$\frac{6EI y}{L^2}$	$\frac{6EI x}{L}$	$\frac{12EI x}{L}$	$\frac{6EI y}{L^2}$	$\frac{4EI y}{L}$	$\frac{4EI z}{L}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SIMÉTRICA

[RB] P E



## 8.2 - CONTRIBUIÇÃO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA BARRA INDIVIDUAL NA MATRIZ DE RIGIDEZ DE UMA SUBESTRUTURA

### 8.2.1 - Subestruturas Planas

Com exceção das vigas contínuas, onde os deslocamentos de suas barras coincidem com os da subestrutura, os deslocamentos  $\{DB\}_i^s$  da barra individual  $i$ , são relacionados aos deslocamentos  $\{DS\}^s$  da subestrutura  $s$  à qual pertence através da relação:

$$\{DB\}_i^s = [RTF]_i^s \cdot \{DS\}^s \quad (1)$$

A matriz de transformação genérica é composta da seguinte forma:

$$[RTF]_i^s = \begin{bmatrix} D & C & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -C & D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -C & D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

onde:  $D = \cos(\beta_i(j))$

$C = \text{sen}(\beta_i(j))$

Assim, a matriz de rigidez  $[RS]_s$  da subestrutura plana  $s$ , devido às contribuições das barras desta subestrutura será (4):

$$[RS]_s = \sum_{i=1}^{NB} [RTF]_i^s{}^T [RB]_i^s [RTF]_i^s \quad (2)$$

## 8.2.2 - Subestruturas Espaciais

Para a subestrutura espacial, os deslocamentos  $\{DB\}_i^i$  da barra individual  $i$  são relacionados aos deslocamentos  $\{DB\}_s^s$  da subestrutura  $s$  a qual pertence através da mesma relação da equação (1)

No entanto, a matriz de transformação genérica de ordem  $(NCS \times 2) \cdot NB \times (NCS \times 2) \cdot NB$  é composta através da rotação dos eixos no espaço. Deste modo, todos os possíveis tipos de deslocamentos dos nós devem ser considerados, compondo assim a matriz  $[RTF]_i^i$ :

$$[RTF]_i^s = \begin{bmatrix} [R] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [R] & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [R] & [0] \\ [0] & [0] & [0] & [R] \end{bmatrix}$$

onde a matriz  $[R]$  de ordem  $3 \times 3$  é:

$$[R] = \begin{bmatrix} c_x & & c_z \\ \frac{-c_x c_y \cos \alpha_i - c_z \sin \alpha_i}{c_x^2 + c_z^2} & c_x^2 + c_z^2 \cos \alpha_i & \frac{-c_y c_z \cos \alpha_i + c_x \sin \alpha_i}{c_x^2 + c_z^2} \\ \frac{c_x c_y \sin \alpha_i - c_z \cos \alpha_i}{c_x^2 + c_z^2} & -c_x^2 + c_z^2 \sin \alpha_i & \frac{c_y c_z \sin \alpha_i + c_x \cos \alpha_i}{c_x^2 + c_z^2} \\ c_y & & c_z \end{bmatrix}$$

onde: a)  $c_x$ ,  $c_y$  e  $c_z$  são os co-senos diretores das barras, calculados a partir das coordenadas dos nós. (2)

b) o ângulo  $\alpha_i$  é dado como parte da descrição da própria subestrutura, consistindo na terceira rotação em torno do eixo  $x_i$ , conforme foi explicitado no item 6.3, fazendo que os eixos  $y_i$  e  $z_i$  coincidam com os eixos principais da seção

transversal. No caso das treliças espaciais, o ângulo  $\alpha_i$  é igual a zero.

Da mesma forma anterior a matriz de rigidez  $[RS]^s$  da subestrutura espacial  $s$ , será fornecida pela equação (2).

### 8.3 - MATRIZ DE RIGIDEZ E VETOR DOS ESFORÇOS DA SUBESTRUTURA REDUZIDO AS SUAS COORDENADAS EXTERNAS

Os deslocamentos  $\{DS\}^s$  serão organizados em deslocamentos nas coordenadas externas ou de borda (B) e internas (I), sendo que as coordenadas externas das subestruturas serão aquelas dos nós comuns a duas ou mais subestruturas, ou à chapa-terra.

Com os deslocamentos rearranjados dessa forma é possível rearranjar a matriz de rigidez  $[RS]^s$  e o vetor dos esforços  $\{FS\}^s$  através da troca de linhas e colunas, ou através do rearranjo da numeração dos nós da subestrutura independente da numeração adotada pelo usuário, até se obter: <sup>(5)</sup>

$$\begin{bmatrix} [RS_{II}] & [RS_{IB}] \\ [RS_{BI}] & [RS_{BB}] \end{bmatrix}^s \cdot \begin{Bmatrix} \{DS_I\} \\ \{DS_B\} \end{Bmatrix}^s = \begin{Bmatrix} \{FS_I\} \\ \{FS_B\} \end{Bmatrix}^s \quad (3)$$

Os deslocamentos internos  $\{DS_I\}$  podem ser substituídos pela soma de dois outros,  $\{DS_I^0\}$  e  $\{DS_I^*\}$ . O primeiro,  $\{DS_I^0\}$ , contendo os deslocamentos internos provocados pelos esforços internos  $\{FS_I\}$  quando se impõe que todos os deslocamentos  $\{DS_B\}$  sejam nulos, aplicando segundo essas coordenadas externas, esforços  $\{FS_B^0\}$  de engastamento perfeito. O outro  $\{DS_I^*\}$ , contendo os deslocamentos internos devidos à superposição dos esforços externos  $\{FS_B\}$  com  $(-1) \cdot \{FS_B^0\}$ . Assim os deslocamentos  $\{DS\}^s$  ficarão:

$$\{DS\}^s = \begin{Bmatrix} \{DS_I\}^s \\ \{DS_B\}^s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{DS_I^0\}^s \\ \{0\}^s \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \{DS_I^*\}^s \\ \{DS_B\}^s \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Os esforços  $\{FS\}^s$  correspondentes serão:

$$\{FS\}^s = \begin{Bmatrix} \{FS_I\}^s \\ \{FS_B\}^s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{FS_I^0\}^s \\ \{FS_B^0\}^s \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \{0\}^s \\ \{FS^*\}^s \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Os quatro vetores introduzidos,  $\{DS_I^0\}^s$ ,  $\{DS_I^*\}^s$ ,  $\{FS_B^0\}^s$  e  $\{FS^*\}^s$  podem ser determinados, substituindo as equações (4) e (5) na equação (3), tendo-se:

Para os deslocamentos externos nulos:

$$\begin{bmatrix} [RS_{II}]^s & [RS_{IB}]^s \\ [RS_{BI}]^s & [RS_{BB}]^s \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{DS_I^0\}^s \\ \{0\}^s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{FS_I\}^s \\ \{FS_B^0\}^s \end{Bmatrix}$$

donde:

$$\{DS_I^0\}^s = [RS_{II}]^s^{-1} \cdot \{FS_I\}^s \quad (6)$$

$$\{FS_B^0\}^s = [RS_{BI}]^s \cdot [RS_{II}]^s^{-1} \cdot \{FS_I\}^s \quad (7)$$

Para a outra parcela de deslocamentos:

$$\begin{bmatrix} [RS_{II}]^s & [RS_{IB}]^s \\ [RS_{BI}]^s & [RS_{BB}]^s \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{DS_I^*\}^s \\ \{DS_B\}^s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{0\}^s \\ \{FS^*\}^s \end{Bmatrix}$$

donde:

$$\{DS_I^*\}^s = -[RS_{II}]^s^{-1} \cdot [RS_{IB}]^s \cdot \{DS_B\}^s \quad (8)$$

$$\{FS^*\}^s = [RS_{BI}]^s \cdot \{DS_I^*\}^s + [RS_{BB}]^s \cdot \{DS_B\}^s \quad (9)$$

Substituindo a equação (8) na equação (9) tem-se:

$$\{FS^*\}^s = \left( [RS_{BB}]^s - [RS_{BI}]^s \cdot [RS_{II}]^{s-1} \cdot [RS_{IB}]^s \right) \{DS_B\}^s$$

Chamando  $[RS^*]^s$  a matriz de rigidez reduzida da subestrutura s:

$$[RS^*]^s = [RS_{BB}]^s - [RS_{BI}]^s \cdot [RS_{II}]^{s-1} \cdot [RS_{IB}]^s \quad (10)$$

ter-se-ã simultaneamente

$$\{FS^*\}^s = [RS^*]^s \cdot \{DS_B\}^s \quad (11)$$

Substituindo os valores de  $\{FS_B^0\}^s$  da equação (7) na equação

$$\{FS_B\}^s = \{FS_B^0\}^s + \{FS^*\}^s \quad \text{obtida da relação (5)}$$

ter-se-ã:

$$\{FS^*\}^s = \{FS_B\}^s - [RS_{BI}]^s \cdot [RS_{II}]^{s-1} \cdot \{FS_I\}^s \quad (12)$$

Substituindo os valores de  $\{DS_I^0\}^s$  da equação (6) e  $\{DS_I^*\}^s$  da equação (8) em

$$\{DS_I\}^s = \{DS_I^0\}^s + \{DS_I^*\}^s$$

tem-se:

$$\{DS_I\}^s = [RS_{II}]^{s-1} \cdot \{FS_I\}^s - [RS_{II}]^{s-1} \cdot [RS_{IB}]^s \cdot \{DS_B\}^s \quad (13)$$

Para evitar os problemas inerentes à inversão de matrizes, tais como imprecisões e menor eficiência, optou-se no presente trabalho utilizar o processo proposto em (3) para se encontrar as matrizes de rigidez e os vetores dos esforços das subestruturas reduzidas às coordenadas externas,  $[RS^*]^s$  e  $[FS^*]^s$ , bem como os deslocamentos internos dos mesmos.

Esse processo consiste em se transformar as matrizes de rigidez, já rearranjadas com as rigidezes referentes às coordenadas internas nas primeiras linhas e colunas, em um triplo produto matricial, conforme se segue:

$$\begin{bmatrix} [RS_{II}] & [RS_{IB}] \\ [RS_{BI}] & [RS_{BB}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L] & [0] \\ [RN] & [I] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [D] & [0] \\ [0] & [K^*] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [L]^T & [RN]^T \\ [0] & [I] \end{bmatrix} \quad (14)$$

no qual:

$[L]$  = matriz triangular inferior com a diagonal unitária

$[RN]$  = matriz retangular

$[0]$  = matriz nula

$[I]$  = matriz identidade

$[D]$  = matriz diagonal

$[K^*]$  = matriz simétrica

Para o triplo produto matricial, as seguintes relações são obtidas:

$$[RS_{II}] = [L] \cdot [D] \cdot [L]^T \quad (15)$$

$$[RS_{BI}] = [RS_{IB}]^T = [RN] \cdot [D] \cdot [RN]^T \quad (16)$$

$$[RS_{BB}] = [K^*] + [RN] \cdot [D][RN]^T \quad (17)$$

A equação (15) representa uma decomposição de CHOLESKI da matriz  $[RS_{II}]$ , e da equação (16) uma expressão para a matriz  $[RN]$  pode ser derivada,

$$[RN] = [RS_{BI}] \cdot \{ [D] \cdot [L]^T \}^{-1} \quad (18)$$

e da equação (17)

$$[K^*] = [RS_{BB}] - [RN] \cdot [D] \cdot [RN]^T \quad (19)$$

A matriz  $[RN]$  representa a submatriz que é gerada quando a matriz de rigidez é decomposta segundo a equação (15) até o ponto em que todas as coordenadas internas são liberadas. Podemos então escrever as equações genéricas para um elemento  $(i, j)$  de  $[RN^*]$  e de  $[K^*]$  respectivamente:

$$RN_{i,j} = \frac{1}{D_{j,j}} \cdot \left( RS_{i+NI,j} - \sum_{k=1}^{j-1} RN_{i,k} \cdot L_{j,k} \cdot D_{k,k} \right) \quad (20)$$

e

$$K_{i,j}^* = RS_{i+NI,j+NI} - \sum_{k=1}^{NI} L_{i,k}^2 \cdot D_{k,k} \quad (21)$$

onde  $NI$  é o número de coordenadas internas da subestrutura.

Analisando a equação (20), nota-se que  $[RN]$  nada mais é que a transposta de uma submatriz obtida, quando se triangulariza a matriz de rigidez de acordo com a equação (15) até a coluna referente ao número de coordenadas internas. Simultaneamente, analisando a equação (21), nota-se que  $[K^*]$  é também uma submatriz conseguida desta triangulariza-

ção e que é idêntica a matriz  $[RS^*]^S$  da equação (10).

Assim:

$$\begin{bmatrix} [RS_{II}]^S & [RS_{IB}]^S \\ [RS_{BI}]^S & [RS_{BB}]^S \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Triangularização}} \begin{bmatrix} [L]^T & [RN]^T \\ [K^*] & [0] \end{bmatrix} \quad (22)$$

Substituindo o triplo produto matricial da equação (3) tem-se:

$$\begin{bmatrix} [D]^S & [0] \\ [0] & [K^*]^S \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{DS_I^*\}^S \\ \{DS_B^*\}^S \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{FS_I^*\}^S \\ \{FS^*\}^S \end{Bmatrix} \quad (23)$$

na qual:

$$\begin{Bmatrix} \{DS_I^*\}^S \\ \{DS_B^*\}^S \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [L]^S & [RN]^S \\ [0] & [I]^S \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{DS_I\}^S \\ \{DS_B\}^S \end{Bmatrix} \quad (24)$$

e

$$\begin{Bmatrix} \{FS_I\}^S \\ \{FS_B\}^S \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [L]^S & [0] \\ [RN]^S & [I]^S \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{FS_I^*\}^S \\ \{FS^*\}^S \end{Bmatrix} \quad (25)$$

Da equação (23) obtêm-se:

$$[K^*]^S \cdot [DS_B^*]^S = \{FS^*\} \quad (26)$$

onde

$$\{K^*\}^S = \{RS^*\}^S$$

da equação (24)

$$\{DS_B^*\}^S = \{DS_B\}^S \quad (27)$$



e da equação (25)

$$\{FS_I\}^S = [L] \cdot \{FS_I^*\} \quad (28)$$

e

$$\{FS_B\} = [RN]^S \cdot \{FS_I^*\} + \{FS^*\}^S \quad (29)$$

ou

$$\{FS^*\}^S = \{FS_B\}^S - [RN]^S \cdot \{FS_I^*\}^S \quad (30)$$

Calculado o vetor  $\{FS_I^*\}$  da equação (28) o vetor  $\{DS_I^*\}^S$  é obtido da equação (23).

$$\{D\}^S \cdot \{DS_I^*\}^S = \{FS_I^*\}^S \quad (31)$$

## 9 - MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA ESTRUTURAL

Calculada a matriz de rigidez e o vetor dos esforços reduzidos às coordenadas externas de cada subestrutura, serão feitas as contribuições dos mesmos na matriz de rigidez e no vetor correspondente da estrutura.

Estas contribuições serão feitas através da matriz de transformação  $[\beta E]^S$ , que relaciona os deslocamentos das subestruturas aos da estrutura da mesma maneira como foram realizadas as contribuições das barras das subestruturas, ou seja:

$$\{RE\} = \sum_{j=1}^{NS} [\beta E]^S \cdot [RS^*]^S \cdot \{FE\}^S$$

$$\{FE\} = \sum_{j=1}^{NS} [\beta E]^S \cdot \{FS^*\}^S$$

onde:

$[RE]$  e  $[FE]$  são, respectivamente, a matriz de rigidez e vetor dos esforços da estrutura plana ou tridimensional, levando-se em conta a contribuição de todas as subestruturas que a compõem.

A matriz de transformação  $[\beta E]^S$  vai depender do número de nós de ligação de cada subestrutura, da posição da subestrutura no conjunto estrutural e do tipo da mesma. Assim para a subestrutura  $s$  da fig. II-7, numa posição genérica na estrutura,  $[\beta E]^S$  é dada por:

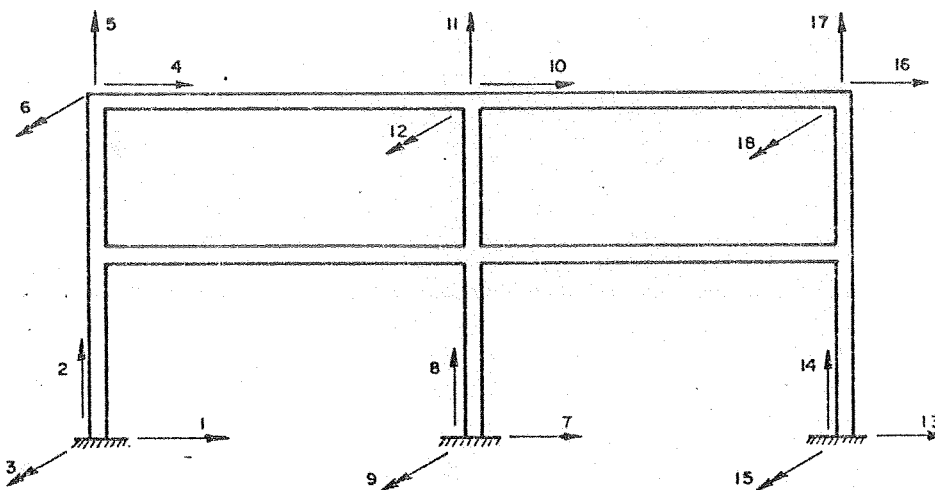


FIGURA II-7 - SUBESTRUTURA S DE UMA ESTRUTURA.

$$[\beta E]^s = \begin{bmatrix} [P] & [0] & [0] & [0] & \dots & [0] & [0] \\ [0] & [P] & [0] & [0] & \dots & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [P] & [0] & \dots & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [0] & [P] & \dots & [0] & [0] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ [0] & [0] & [0] & [0] & \dots & [0] & [P] \end{bmatrix}$$

onde  $[P]$  é a matriz de ordem  $3 \times 3$ , igual a:

$$[P] = \begin{array}{c|c|c} \cos\beta \cos\gamma & \text{sen}\gamma & \text{sen}\beta \cos\gamma \\ \hline -\cos\beta \cos\theta \text{sen}\gamma - \text{sen}\theta \text{sen}\beta & \cos\theta \cos\gamma & -\cos\theta \text{sen}\gamma \text{sen}\beta + \text{sen}\theta \cos\beta \\ \hline \text{sen}\theta \text{sen}\gamma \cos\beta - \text{sen}\beta \cos\theta & -\text{sen}\theta \cos\gamma & \text{sen}\theta \text{sen}\gamma \text{sen}\beta + \cos\gamma \cos\beta \end{array}$$

onde  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\theta$  são os ângulos que os eixos de referência  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$  fazem com os eixos do sistema estrutural X, Y, Z.

## 10 - CÁLCULO DOS ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS DA ESTRUTURA

### 10.1 - DESLOCAMENTOS DAS SUBESTRUTURAS

A solução do modelo estrutural, pelo Processo dos Deslocamentos, permite determinar os deslocamentos nas coordenadas externas das subestruturas a partir de sua matriz de rigidez e das cargas externas, sendo  $\{DE\}$  os deslocamentos do sistema estrutural.

$$\{DE\} = [RE] \cdot \{FE\} \quad (32)$$

Com esses deslocamentos poder-se-á determinar para cada subestrutura os demais, ou seja os deslocamentos internos, conforme a formulação obtida da equação (24)

$$\{DS_I^*\}^S = [L]^S \cdot \{DS_I\}^S + [RN]^S \cdot \{DS_B\}^S \quad (33)$$

ou

$$[L]^S \cdot \{DS_I\}^S = (\{DS_I^*\}^S - [RN]^S \cdot \{DS_B\}^S) \quad (34)$$

## 10.2 - DESLOCAMENTOS E ESFORÇOS DAS BARRAS DAS SUBESTRUTURAS

Conhecidos os deslocamentos internos  $\{DS_I\}^S$  e externos  $\{DS_B\}^S$  que compõem o vetor deslocamento  $\{DS\}^S$  de cada subestrutura, estão conhecidos o vetor  $\{DB\}_j^i$  de cada nó, calculando-se os esforços nas extremidades das barras a partir da relação:

$$\{FB\}_i = [RB]_i \cdot \{DB\}_i \quad (35)$$

sendo a obtenção desses esforços o objetivo final desse trabalho.

C A P Í T U L O    I I I

## PROGRAMA PARA O CÁLCULO DOS ESFORÇOS

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

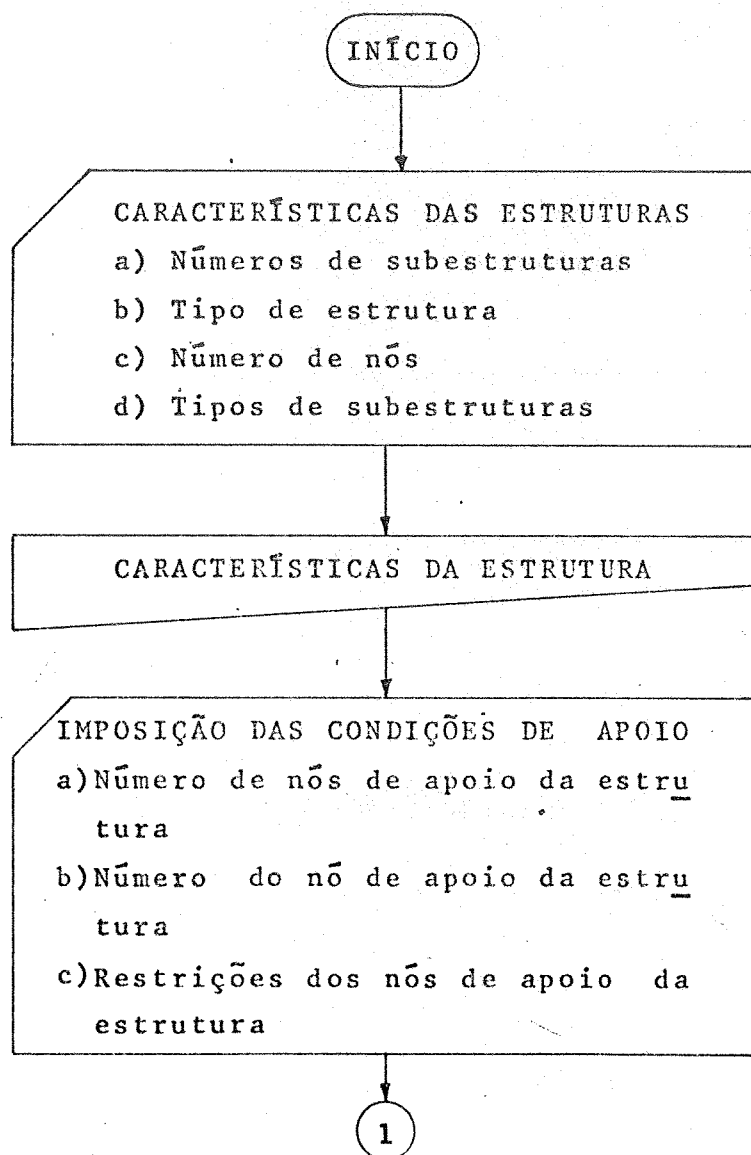
A fim de se automatizar os procedimentos de cálculo descritos no capítulo anterior, para a obtenção dos esforços internos nos componentes da estrutura plana ou tridimensional, foi montado um programa em linguagem FORTRAN IV, para o computador IBM 370/148 com a utilização de memória auxiliar, onde são armazenados os dados de cada subestrutura necessários ao prosseguimento dos cálculos numa fase posterior às suas obtenções.

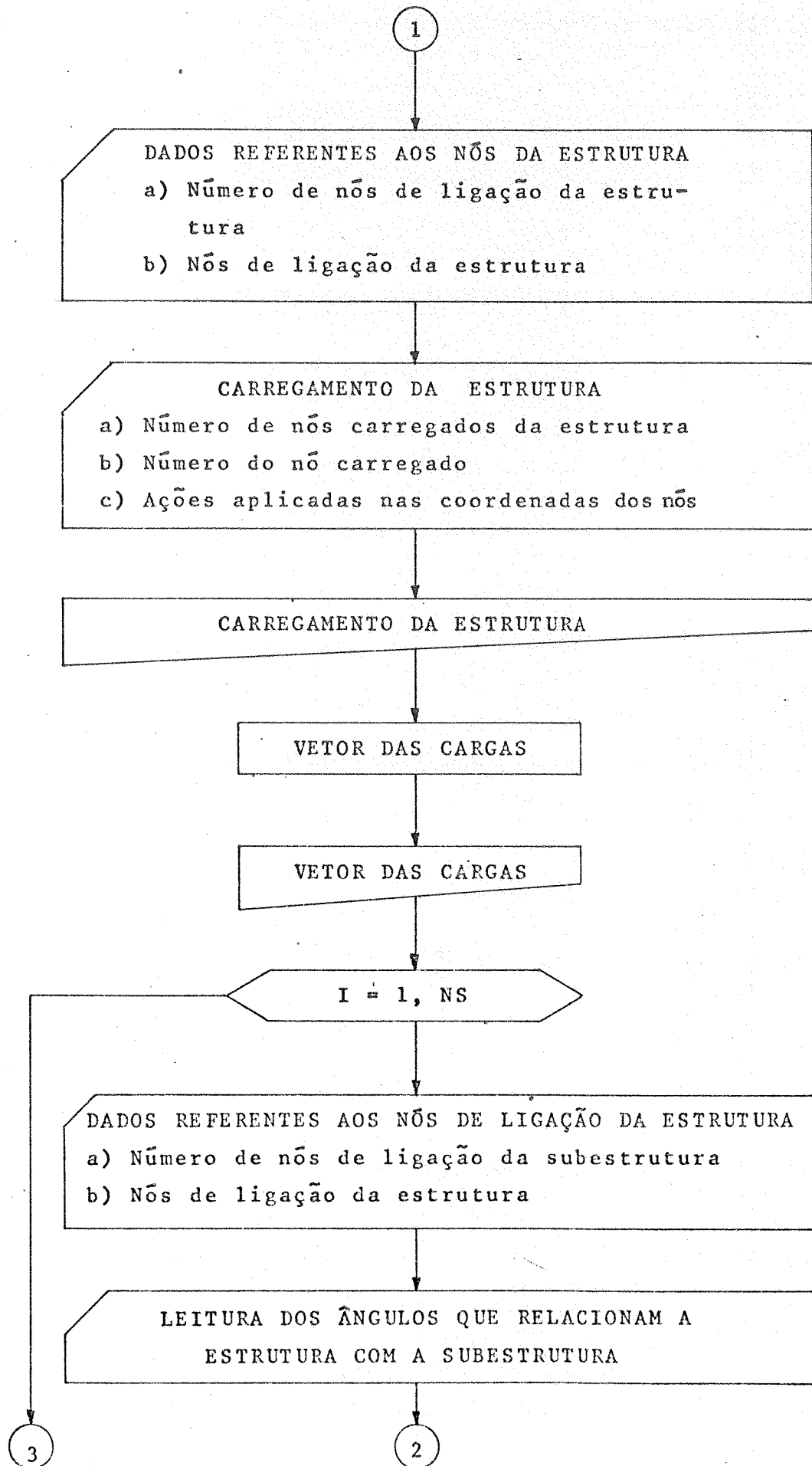
Como as matrizes envolvidas nesse problema são simétricas e apresentam a característica de terem seus coeficientes não nulos distribuídos e agrupados ao longo da diagonal principal, optou-se para otimização do armazenamento pela utilização do processo DECOMPOSEBAND<sup>(7)</sup>. Essa técnica consiste em armazenar somente os coeficientes da parte superior acima da diagonal principal, e os desta diagonal inclusive. Esta faixa recebe a denominação BANDA, e é interessante para reduzir o tamanho dos arquivos no disco da memória auxiliar.

Os elementos dentro da BANDA foram armazenados em uma matriz retangular, onde um elemento  $(i, j)$  na matriz original passou a ocupar a posição  $(i, j - i + 1)$  neste novo arranjo (6).

A programação para o computador foi elaborada de forma a se obter um programa razoavelmente flexível em termos de alterações, isolando as diversas fases de cálculo em sub-rotinas, que serão solicitadas por um programa principal relativamente reduzido.

## 2 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO





3

2

## DADOS REFERENTES ÀS SUBESTRUTURAS

- a) Número de barras
- b) Número de nós
- c) Módulo de Elasticidade
- d) Momentos principais de Inércia
- e) Áreas da seção transversal das barras
- f) Nós de ligação da subestrutura
- g) Coordenadas dos nós da subestrutura
- h) Cargas externas aplicadas nas coordenadas das subestruturas

## DADOS REFERENTES ÀS SUBESTRUTURAS

## MATRIZ DE RIGIDEZ DA SUBESTRUTURA

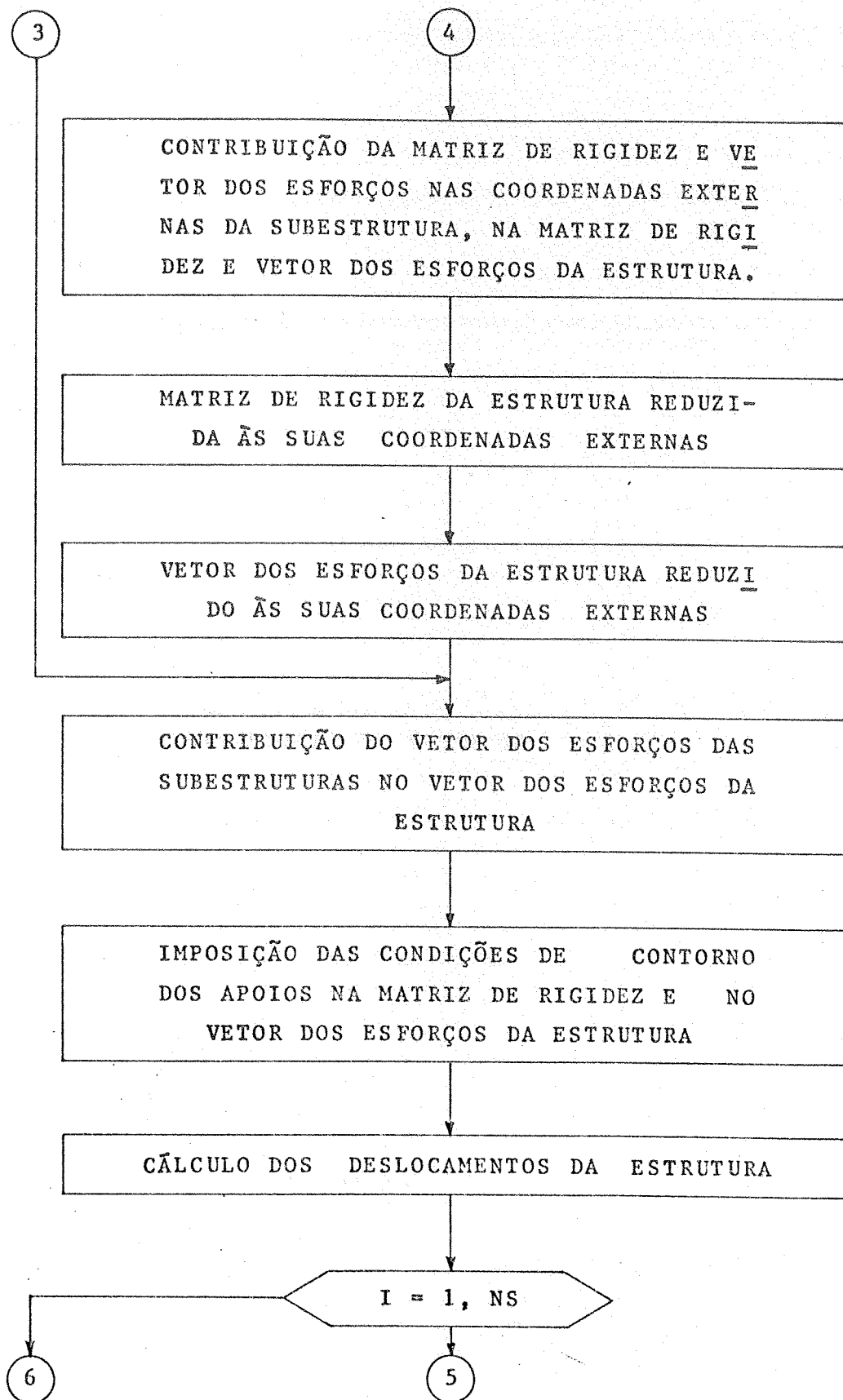
## VETOR DOS ESFORÇOS DAS SUBESTRUTURAS

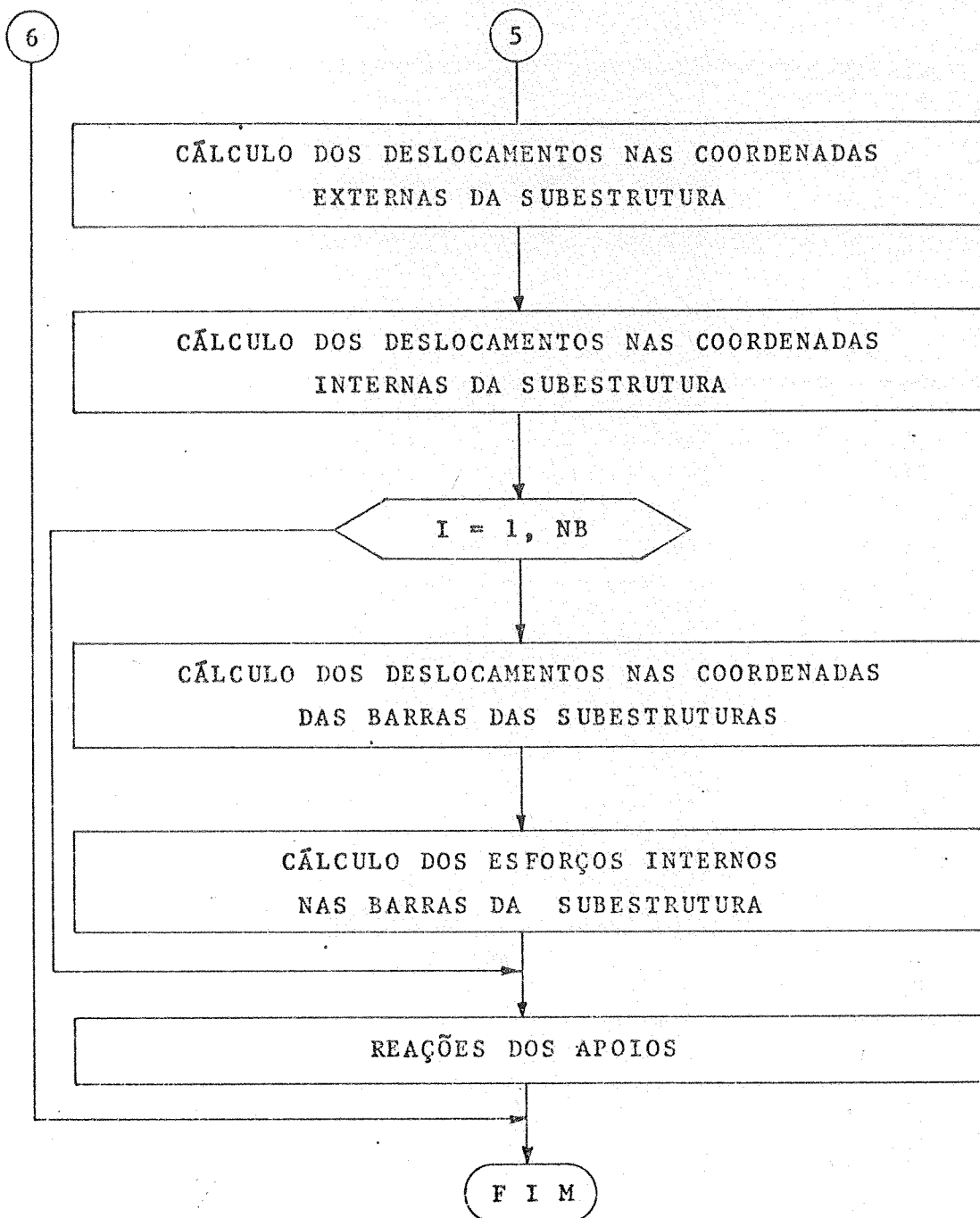
REDUÇÃO DA MATRIZ DE RIGIDEZ E DO VETOR DOS ESFORÇOS DA SUBESTRUTURA ÀS SUAS COORDENADAS EXTERNAS, E A COLOCAÇÃO DESTAS EM ARQUIVOS DE MEMÓRIA AUXILIAR

3

4







### 3 - VARIÁVEIS UTILIZADAS NO PROGRAMA

As variáveis utilizadas para os dados de entrada do programa, assim como sua identificação estão apresentadas na Tabela III-1.

TABELA III-1

VARIÁVEIS	IDENTIFICAÇÃO
NS	número de subestruturas que compõem a estrutura
NNOS	número de nós da estrutura
TE	tipo de estrutura, se plana ou tridimensional
T(I)	tipos de subestruturas que compõem a estrutura
K	número do nó da subestrutura; número do nó carregado da estrutura ou da subestrutura dependendo da leitura ser referente a estrutura ou a subestrutura; número da barra da subestrutura
NNA	número de nós de apoio da estrutura
NC(K)	número do nó com apoio da estrutura
LI(I)	número da coordenada com restrição
ICON(I)	número da coordenada com recalque
NNLES	número de nós de ligação da estrutura
MNL(K)	número do nó de ligação da estrutura
NNC	número de nós carregados da estrutura
A1	esforço de translação aplicado no nó da estrutura na direção do eixo X ou da subestrutura na direção do eixo $x_s$
A2	esforço de translação aplicado no nó da estrutura na direção do eixo Y ou da subestrutura na direção do eixo $y_s$
A3	esforço de translação aplicado no nó da estrutura na direção do eixo Z ou da subestrutura na direção do eixo $z_s$
A4	momento aplicado no nó da estrutura em torno do eixo X ou da subestrutura em torno do eixo $x_s$

TABELA III-1 (Continuação)

VARIÁVEIS	IDENTIFICAÇÃO
A5	momento aplicado no nó da estrutura em torno do eixo Y ou da subestrutura em torno do eixo $y_s$
A6	momento aplicado no nó da estrutura em torno do eixo Z ou da subestrutura em torno do eixo $z_s$
NNLIG	número de nós de ligação da subestrutura
NNOL(J)	número dos nós de ligação da estrutura
ANGO	ângulo formado pelos eixos X do sistema estrutural e $x_s$ da subestrutura.
ANG	ângulo formado pelos eixos Y do sistema estrutural e $y_s$ da subestrutura
ANG1	ângulo formado pelos eixos Z do sistema estrutural e $z_s$ da subestrutura
M	número de barras da subestrutura
NJ	número de nós da subestrutura e número de nós carregados da subestrutura
E	módulo de elasticidade do material das barras da subestrutura
G	módulo de elasticidade transversal do material das barras da subestrutura
NOL(I)	número dos nós de ligação da subestrutura
XK	coordenada X do nó da subestrutura
YK	coordenada Y do nó da subestrutura
ZK	coordenada Z do nó da subestrutura
JJK	nó inicial da barra da subestrutura
JKK	nó final da barra da subestrutura

TABELA III-1 (Continuação)

VARIÁVEIS	IDENTIFICAÇÃO
AX(K)	área da seção transversal da barra da subestrutura
IZ(K)	momento principal de inércia da barra da subestrutura em relação ao eixo $z_i$
IY(K)	momento principal de inércia da barra da subestrutura em relação ao eixo $y_i$
IX(K)	momento de inércia a torção da barra da subestrutura
ALFA(K)	ângulo formado pelos eixos $x_s$ da subestrutura e $x_i$ da barra da subestrutura
NBC	número de barras carregadas
KK	número da barra carregada
NCAR	número de carregamentos da barra
KTIPO	número do tipo de carregamento
CAR	valor do carregamento
DIST	distância do carregamento em relação ao início da barra

OBS.: a) TE, representa o tipo de estrutura que será calculada. Se o tipo for pórtico espacial deverá ser fornecido o caracter numérico 6, caso contrário deverá ser fornecido os caracteres numéricos até 5.

b) T(1), representa os tipos de subestruturas que compõem a estrutura. Os tipos serão fornecidos por caracteres numéricos de 1 a 6, representando cada um deles um dos tipos de subestruturas ou

seja: 1 = viga, 2 = treliça plana, 3 = pórtico plano, 4 = grelha, 5 = treliça espacial, 6 = pórtico espacial, repetidos conforme o número e tipos de subestruturas que compõem a estrutura.

- c) KTIPO, representa o tipo do carregamento da barra:
- 1 = carga concentrada
  - 2 = momento aplicado
  - 3 = carga uniformemente distribuída
  - 4 = carga linearmente distribuída
  - 5 = carga concentrada ao longo da barra

#### 4 - PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

No primeiro conjunto de dados (fig. III-1) são fornecidos os valores de NS, NNOS, TE, utilizando-se o formato I3 para cada um destes valores. Em seguida, são lidos os tipos de subestruturas, T(I), no formato I1, reservando-se 80 espaços para isso.

No segundo conjunto de dados lê-se as variáveis NNA e NNLES nos formatos I2 e em seguida as condições de contorno dos apoios, variáveis NC(K), LI(I) e ICON(I) nos formatos I3 (fig. III-2).

Para os dados relativos ao carregamento da estrutura lê-se no formato I2 a variável NNC e nos formatos I2 e F10.2 K, A1, A2, A3, A4, A5 e A6. (fig. III-3).

Em seguida, passa-se a leitura dos dados relativos aos nós de ligação estrutura-subestrutura, lendo para cada subestrutura a variável>NNLIG e NNOL(I) nos formatos I2 e os ângulos ANG, ANGO e ANG1 nos formatos F6.2 (fig. III-4).

Na leitura dos dados relativos a uma subestrutura, lê-se primeiramente as variáveis M, NJ, E e G nos formatos 2I4 e 2F10.0, (fig. III-5), para em seguida ler o vetor NOL(I) no formato I2 reservando portanto 40 espaços para isso.

No cartão seguinte são lidos os dados relativos aos nós das subestruturas, variáveis K, XK, YK e ZK no for-

mato I4 e F10.2 e em seguida as variáveis K, JJK, JKK, AX(K), IX(K), IY(K), IZ(K) das características das barras nos formatos I3 e F10.2 (fig. III-6).

No último cartão lê-se os dados dos carregamentos das subestruturas, variáveis NBC e NNC no formato I3; KK e NCAR no formato I2; KTIPO, CAR, DIST no formato I2 e F10.5 e K, A1, A2, A3, A4, A5 e A6 nos formatos I4 e F8.2 (fig. III-7).

Uma observação a ser feita é que após a leitura dos dados de uma subestrutura, introduz-se os dados da segunda, imediatamente atrás dos cartões de dados da primeira, iniciando-se pelas variáveis NNLIG e NNOL(I) e obedecendo a sequência explanada anteriormente.

Com isso tem-se para os dados relativos a estrutura.

NS	NNOS	TE	T(I)	← Variáveis
I3	I3	I3	I1	← Formato

Figura III-1 - Parâmetros da estrutura

NNA	NNLES	NC(K)	LI(I)	INCON(I)	← Variáveis
I2	I2	I3	I3	I3	← Formato

Figura III-2 - Condições de contorno

NNC	K	A1	A2	A3	A4	A5	A6	← Variáveis
II2	I2	F10.2	F10.2	F10.2	F10.2	F10.2	F10.2	← Formato

Figura III-3 - Carregamento da estrutura

Nos dados relativos a uma subestrutura temos:

NNLIG	NNOL(I)	ANG	ANG0	ANG1	← Variáveis
I2	I2	F6.2	F6.2	F6.2	← Formato

Figura III-4 - Ligação estrutura-subestrutura

M	NJ	E	G	NOL(I)	← Variáveis
I4	I4	F10.0	F10.0	I2	← Formato

Figura III-5 - Dados da subestrutura

K	XK	YK	ZK	JJK	JKK	AX	IX	IY	IZ	← Variáveis
I4	F10.2	F10.2	F10.2	I3	I3	F10.2	F10.2	F10.2	F10.2	← Formato

Figura III-6 - Dados dos nós e das barras da subestrutura

NBC	KK	KTIPO	CAR	DIST	K	A1	A3	A5	← Variáveis
NNC	NCAR					A2	A4	A6	
I3	I2	I2	F10.5	F10.5	I4	F8.2	F8.2	F8.2	← Formato

Figura III-7 - Carregamento da subestrutura

## 5 - SAÍDA DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para uma estrutura, esforços internos e deslocamentos, serão listados para cada subestrutura isoladamente, e serão positivos ou negativos se seus sentidos coincidirem ou não com os adotados para os sistemas de referência. Além desses resultados, serão listados também, a fim de conferi-los, todos os dados de entrada relativos a estrutura e as subestruturas.

## 6 - LISTAGEM DO PROGRAMA EM LINGUAGEM FORTRAN.

(ver páginas seguintes).



```

C
C
C ***SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DA BARRA DA SUBESTRUTURA
C VIGA ***
C

```

```

SUBROUTINE RB1(E,CL,CIZ,R)
REAL CL,CIZ
DIMENSION R(10)
DO 5 I=1,10
5 R(I)=0.
R(1)=12*E*CIZ/(CL*CL*CL)
R(2)=6*E*CIZ/(CL*CL)
R(3)=-R(1)
R(4)=R(2)
R(5)=4*E*CIZ/CL
R(6)=-R(2)
R(7)=2*E*CIZ/CL
R(8)=R(1)
R(9)=-R(2)
R(10)=R(5)
RETURN
END

```

```

C
C
C
C *** SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DA VIGA CONTINUA ***
C

```

```

SUBROUTINE MRSU1(IPAIN,NNLIG,NJ,RJ)
INTEGER BAND1
COMMON /A/NR,NW/C/BANDA(15)
DIMENSION RJ(60,4),R(10),CL(60),CIZ(60)

C
READ(I4,REC=6*IPAIN-5)E,M,CL,CIZ
BANDA(IPAIN)=4
BAND1=BANDA(IPAIN)
NB=2*(M+1)
DO 10 I=1,NB
DO 10 J=1,BAND1
RJ(I,J)=0.
10 CONTINUE
DO 20 I=1,M
AUX1=CL(I)
AUX2=CIZ(I)
CALL RB1(E,AUX1,AUX2,R)
J1=2*I-1
J2=2*I
K1=2*I+1
K2=2*I+2
RJ(J1,1)=RJ(J1,1)+R(1)
RJ(J2,1)=RJ(J2,1)+R(5)
RJ(K1,1)=RJ(K1,1)+R(8)
RJ(K2,1)=RJ(K2,1)+R(10)
RJ(J1,2)=RJ(J1,2)+R(2)
RJ(K1,2)=RJ(K1,2)+R(9)
RJ(J1,K1-J1+1)=RJ(J1,K1-J1+1)+R(3)
RJ(J2,K1-J2+1)=RJ(J2,K1-J2+1)+R(7)
RJ(J1,K2-J1+1)=RJ(J1,K2-J1+1)+R(4)
RJ(J2,K2-J2+1)=RJ(J2,K2-J2+1)+R(7)
20 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C
C
C
C*****SUBROTINA DE LEITURA DOS DADOS DA SUBESTRUTURA VIGA CONTINUA ***
C
      SUBROUTINE SUB1(IPAIN,NNLIG,NNOL,TS)
      INTEGER NNLIG,TS
      DIMENSION P(80),NOL(20),NNOL(20),CL(60),CIZ(60),F(80),FO(80)
      DIMENSION PO(80,4),NOC(20)
      COMMON /A/NR,NW/3/NRE(15,80)
C
      WRITE(NW,1)IPAIN
1  FORMAT(20X,3(' '),2X,'SUBROTINA NUMERO',2X,I2,2X,'VIGA CONTINUA',1
AX,3(' '),//,28X,3(' '),2X,'DADOS DA SUBESTRUTURA',2X,3(' '),//,18X
A,' ','NUMERO DE BARRAS',' ',9X,' ','MODULO DE ELASTICIDADE',' ',//
A, )
      READ(NR,3)M,E
      3  FORMAT(I4,F10.0)
      WRITE(NW,5)M,E
      5  FORMAT(23X,I4,26X,F10.0,/)
      NJ=2*M+2
      DO 6 I=1,NJ
      P(I)=0.
      F(I)=0.
      6  FO(I)=0.
C
C***** LEITURA DOS DADOS DAS BARRAS
C
      WRITE(NW,7)
      7  FORMAT(30X,3(' '),2X,'DADOS DAS BARRAS',2X,3(' '),//,18X,' ','BARRA'
AA',' ',9X,' ','COMPRIMENTO',' ',9X,' ','MOM. INERCIA',' ',//)
      DO 2 I=1,M
      READ(NR,9)J,CL(J),CIZ(J)
      9  FORMAT(I4,2F10.2)
      WRITE(NW,11)J,CL(J),CIZ(J)
      11  FORMAT(20X,I4,12X,F10.2,12X,F10.2,/)
      2  CONTINUE
C
C      NOS DE LIGACAO
C
      READ(NR,13)(NOL(I),I=1,NNLIG)
      13  FORMAT(26I3)
      DO 50 I=1,NNLIG
      WRITE(NW,14)I,NOL(I)
      14  FORMAT(/,40X,I2,8X,I2,/)
      50  CONTINUE
      CALL REARRIIPAIN,NNLIG,NNOL,NJ)
      DO 60 LM=1,M
      DO 60 LJ=1,4
      60  PO(LM,LJ)=0.
C
C *** CALCULO DAS BARRAS COM CARGAS
C
      NBC=NUMERO DE BARRAS CARREGADAS
      NNC=NUMERO DE NOS CARREGADOS
      NCAR=NUMERO DE CARREGAMENTO DA BARRA
      KK=NUMERO DA BARRA CARREGADA
      KTIPO=NUMERO DO TIPO DE CARREGAMENTO
      1=CARGA CONCENTRADA
      2=MOMENTO APLICADO
      3=CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA
      4=CARGA LINEARMENTE DISTRIBUIDA
      5=CARGA CONCENTRADA AO LONGO DA BARRA
      CAR=VALOR DO CARREGAMENTO
      DIST=DISTANCIA DO CARREGAMENTO EM RELACAO AO INICIO DA BARRA

```

```

        READ(NR,61)NBC,NNC
61  FORMAT(2I3)
        IF(NBC)62,62,63
63  DO 64 LX=1,N&C
        READ(NR,65)KK,NCAR
65  FORMAT(2I2)
        AUX1=CL(KK)
        DO 66 LK=1,NCAR
        READ(NR,67)KTIPO,CAR,DIST
67  FORMAT(I2,2F10.5)
        CALL TIPO(KK,KTIPO,CAR,DIST,AUX1,PO,TS)
66  CONTINUE
64  CONTINUE
62  CONTINUE
        WRITE(22,REC=6*IPAIN-5)PO
        DO 68 LM=1,M
        J1=2*LM-1
        J2=J1+1
        K1=J2+1
        K2=K1+1
        FO(J1)=FO(J1)+PO(LM,1)
        FO(J2)=FO(J2)+PO(LM,2)
        FO(K1)=FO(K1)+PO(LM,3)
        FO(K2)=FO(K2)+PO(LM,4)
68  CONTINUE
        WRITE(14,REC=6*IPAIN-5)E,M,CL,CIZ

```

C

C\*\*\*\*\*LEITURA DAS CARGAS APLICADAS NOS NOS

C

```

        DO 69 I=1,NNC
69  NOC(I)=0.
        WRITE(NW,19)
19  FORMAT(/,27X,3('*'),2X,'CARGAS APLICADAS NOS NOS',2X,3('*'),//,20X
A,'*', 'NO', '*', 15X, '*', 'A1', '*', 12X, '*', 'A2', '*', //)
        IF(NNC)102,102,104
104 DO 8 I=1,NNC
        READ(NR,21)K,A1,A2
21  FORMAT(I4,2F8.2)
        NOC(I)=K
        J1=2*K-1
        J2=2*K
        F(J1)=A1
        F(J2)=A2
        WRITE(NW,23)K, A1, A2
23  FORMAT(20X,I4,15X,F8.2,14X,F8.2)
8  CONTINUE
102 CONTINUE
        CALL REAP(IPAIN,F,NNC,NOC,2)
        DO 70 LR=1,NJ1
70  P(LR)=F(LR)-FO(LR)
        WRITE(16,REC=6*IPAIN-5)P
        WRITE(NW,25)
25  FORMAT(21X,3('*'),2X,'VETOR DOS ESFORÇOS',2X,3('*'),//)
        DO 10 I=1,NJ
        WRITE(NW,27)I,P(I)
27  FORMAT(40X,I2,13X,F7.3,//)
10  CONTINUE
        RETURN
        END

```

C  
C  
C

```

SUBROUTINE RB2 (E,CL,AX,R)
REAL CL
DIMENSION R(10)
COMMON /A/NR,NW
DO 5 I=1,10
5 R(I)=0.
R(1)=E*AX/CL
R(3)=-R(1)
R(8)=R(1)
RETURN
END

```

C  
C  
C

```

MATRIZ DE RIGIDEZ DA TRELICA PLANA
SUBROUTINE MRSU2( IPAIN,NH,IG,NJ,RJ)
INTEGER DIFN,BAND1
DIMENSION JJ(60),JK(60),AX(60),CX(60),CY(60),RJ(60,60),R(10),CL(50
*)
COMMON /A/NR,NW/C/BANDA(15)
READ(14,REC=5*IPAIN-5)E,M,NJ,JJ,JK,AX,CL,CX,CY,DIFN
NB=2*NJ
BANDA(IPAIN)=(DIFN+1)*2
BAND1=BANDA(IPAIN)
DO 40 I=1,NB
DO 40 J=1,BAND1
RJ(I,J)=0.
40 CONTINUE
DO 150 J=1,M
AUX1=CL(J)
AUX2=AX(J)
CALL RB2(E,AUX1,AUX2,R)
J1=2*JJ(J)-1
J2=2*JK(J)
K1=2*JK(J)-1
K2=2*JK(J)
RJ(J1,1)=RJ(J1,1)+(R(1)*CX(J)**2)
RJ(J2,1)=RJ(J2,1)+(R(1)*CY(J)**2)
RJ(K1,1)=RJ(K1,1)+(R(1)*CX(J)**2)
RJ(K2,1)=RJ(K2,1)+(R(1)*CY(J)**2)
RJ(J1,2)=RJ(J1,2)+(R(1)*CX(J)*CY(J))
RJ(K1,2)=RJ(K1,2)+(R(1)*CX(J)*CY(J))
IF (J1-K1) 50,50,60
50 IJ=J1
J1=K1
K1=IJ
K2=K1+1
J2=J1+1
60 RJ(K1,J1-K1+1)=RJ(K1,J1-K1+1)+(R(3)*CX(J)**2)
RJ(K1,J2-K1+1)=RJ(K1,J2-K1+1)+(R(3)*CX(J)*CY(J))
RJ(K2,J1-K2+1)=RJ(K2,J1-K2+1)+(R(3)*CX(J)*CY(J))
RJ(K2,J2-K2+1)=RJ(K2,J2-K2+1)+(R(3)*CY(J)**2)
150 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C
C ***** SUBROTINA DE LEITURA DOS DADOS DA SUBESTRUTURA TRELICA PLANA
C
C *** SUBROTINA NUMERO DOIS - TRELICA PLANA ***
C
  SUBROUTINE SJB2(IPAIN,NNLIG,NNCL,TS)
  INTEGER DIFN,NNLIG,TS
  COMMON /A/NR,NW/S/NRE(15,80)
  DIMENSION NJL(20),NNCL(20),CL(6),PD(80,6),F(80),FD(80),NDC(20)
  DIMENSION JJ(60),JK(60),P(80),X(60),Y(60),AX(60),CX(60),CY(60)
  WRITE(NW,1)IPAIN
1  FORMAT(/,20X,3(' '),2X,'SUBROTINA NUMERO DOIS',2X,12,2X,'TRELICA P
  *LANA',2X,3(' '),//,23X,3(' '),2X,'DADOS DA SUBESTRUTURA',2X,3(' ')
  *,//,12X,' ', 'NUMERO DE BARRAS', ' ',4X,' ', 'NUMERO DE NDS', ' ',4X,'
  *', 'MODULO DE ELASTICIDADE', ' ',//)
  READ(NR,3)M,NJ,E
3  FORMAT(214,F10.0)
  WRITE(NW,5)M,NJ,E
5  FORMAT(17X,I4,19X,I5,17X,F10.0,/)
  NJ1=2*NJ
  DO 6 I=1,NJ1
  P(I)=0.
6  F(I)=0.
C
C ***** LEITURA DOS NOS DE LIGACAO DA SUBESTRUTURA *****
C
  READ(NR,15)(NCL(I),I=1,NNLIG)
15 FORMAT(26I3)
  DO 50 I=1,NNLIG
  WRITE(NW,14)I,NCL(I)
C 14 FORMAT(/,20X,' I=',I2,5X,'NCL=',I2)
C 50 CONTINUE
  CALL REARR(IPAIN,NNLIG,NCL,NJ)
C
C ***** COORDENADAS DOS NOS DA SUBESTRUTURA
C
  WRITE(NW,7)
7  FORMAT(29X,3(' '),2X,'COORDENADAS DOS NOS',2X,3(' '),/,24X,' ', 'NO
  A', ' ',11X,' ', 'COORD.X', ' ',8X,' ', 'COORD.Y', ' ',//)
  DO 2 MM=1,NJ
  READ(NR,9)K,XK,YK
9  FORMAT(I4,2F8.2)
  WRITE(NW,11)K,XK,YK
11 FORMAT(24X,I4,11X,F8.2,8X,F8.2)
  J=NRE(IPAIN,K)
  X(J)=XK
  Y(J)=YK
2  CONTINUE
  DIFN=0
  DO 60 LM=1,M
  DO 60 LJ=1,4
60 PD(LM,LJ)=0.
C
C ***** POSICAO E PROPRIEDADE DAS BARRAS
C
  WRITE(NW,17)
17 FORMAT(17X,' ', 'BARRA', ' ',6X,' ', 'NO INICIAL', ' ',6X,' ', 'NO FINAL
  AL', ' ',6X,' ', 'AREA', ' ',/,20X,'K',13X,'JJ(K)',12X,'JK(K)',9X,'AX(
  A)',//)
  DO 4 LM=1,M
  READ(NR,19)K,JJK,JKK,AX(K)
19 FORMAT(3I3,F10.2)

```

```

      WRITE(NW,821)K,JJK,JKK,AX(K)
821  FORMAT(19X,I3,13X,I3,14X,I3,5X,F10.2)
      I=NRE(IPAIN,JJK)
      J=NRE(IPAIN,JKK)
      JJ(K)=I
      JK(K)=J
      JJ1=I
      JK1=J
      IA=IABS(JJ1-JK1)
      IF(IA-DIFN)100,100,200
200  DIFN=IA
100  CONTINUE
      XCL=X(JK1)-X(JJ1)
      YCL=Y(JK1)-Y(JJ1)
      CL(K)=SQRT(XCL**2+YCL**2)
      CX(K)=XCL/CL(K)
      CY(K)=YCL/CL(K)
      4  CONTINUE
      WRITE(22,REC=5*IPAIN-5)PD
      WRITE(17,REC=5*IPAIN-5)NNL IG,NOL,NNGL
      WRITE(14,REC=5*IPAIN-5)E,M,NJ, JJ, JK, AX, CL, CX, CY, DIFN
C
C ***** LEITURA DAS CARGAS APLICADAS NOS NDS
C
C *** NNC=NUMERO DE NOS CARREGADOS
C
      READ(NR,29)NNC
29  FORMAT(I3)
      DO 43 I=1,NNC
43  NDC(I)=0.
      WRITE(NW,31)
31  FORMAT(/,27X,3(' '),2X,'CARGAS APLICADAS NOS NDS',2X,3(' '),/,20X,
A' ','ND',' ',13X,' ','CARGA X',' ',11X,' ','CARGA Y',' ',/)
      IF(NNC)102,102,104
104  DO 8 I=1,NNC
      READ(NR,33)K,A1,A2
33  FORMAT(I4,2F10.4)
      NDC(I)=K
      J1=2*K-1
      J2=2*K
      F(J1)=A1
      F(J2)=A2
      WRITE(NW,35)K,A1,A2
35  FORMAT(20X,I4,14X,F8.2,13X,F8.2)
      8  CONTINUE
102  WRITE(NW,37)
37  FORMAT(21X,3(' '),2X,'VETOR DOS ESFORÇOS-AÇÕES NOS NDS',2X,3(' '),
*/)
      DO 10 I=1,NJ
      WRITE(NW,39)I,F(2*I-1),F(2*I)
39  FORMAT(23X,I2,13X,F8.2,13X,F8.2,/)
10  CONTINUE
      CALL REAP(IPAIN,F,NNC,NDC,2)
      DO 70 I=1,NJ1
      P(I)=F(I)
70  CONTINUE
      WRITE(16,REC=5*IPAIN-5)P
      RETURN
      END

```

C  
C  
C

```

SUBROUTINE RB3 (E, CL, AX, CIZ, R)
REAL CL, CIZ
DIMENSION R(21)
COMMON /A/NR, NW
DO 5 I=1, 21
5 R(I)=0.
R(1)=E*AX/CL
R(4)=-E*AX/CL
R(7)=12*E*CIZ/(CL*CL*CL)
R(8)=6*E*CIZ/(CL*CL)
R(10)=-12*E*CIZ/(CL*CL*CL)
R(11)=R(8)
R(12)=4*E*CIZ/CL
R(14)=-R(8)
R(15)=2*E*CIZ/CL
R(16)=E*AX/CL
R(19)=R(7)
R(20)=-R(8)
R(21)=R(12)
RETURN
END

```

C  
C

```

MATRIZ DE RIGIDEZ DE PORTICO PLANO
SUBROUTINE MRSUB(IPAIN, NNLIG, NJ, RJ)
INTEGER DIFN, BAND1
COMMON /A/NR, NW/C/BANDA(15)
DIMENSION JJ(60), JK(60), AX(60), CX(60), CY(60), RJ(60, 60), R(21)
DIMENSION CL(60), CIZ(60)
READ(14, REC=6*IPAIN-5) E, M, NJ, JJ, JK, AX, CIZ, CL, CX, CY, DIFN
WRITE(NW, 1) DIFN
1 FORMAT(//, 20X, 'DIFN=', I4, /)
NB=3*NJ
BANDA(IPAIN)=(DIFN+1)*3
BAND1=BANDA(IPAIN)
DO 30 I=1, NB
DO 30 J=1, BAND1
RJ(I, J)=0.
30 CONTINUE
DO 150 J=1, 4
AUX1=CL(J)
AUX2=AX(J)
AUX3=CIZ(J)
CALL RB3(E, AUX1, AUX2, AUX3, R)
J1=3*JJ(J)-2
J2=3*JJ(J)-1
J3=3*JJ(J)
K1=3*JK(J)-2
K2=3*JK(J)-1
K3=3*JK(J)
RJ(J1, 1)=RJ(J1, 1)+(R(1)*CX(J)*CX(J)+R(7)*CY(J)*CY(J))
RJ(J2, 1)=RJ(J2, 1)+(R(1)*CY(J)*CY(J)+R(7)*CX(J)*CX(J))
RJ(J3, 1)=RJ(J3, 1)+R(12)

```

```

RJ(K1,1)=RJ(K1,1)+(R(1)*CX(J)-CX(J)+R(7)*CY(J)*CY(J))
RJ(K2,1)=RJ(K2,1)+(R(1)*CY(J)*CY(J)+R(7)*CX(J)*CX(J))
RJ(K3,1)=RJ(K3,1)+R(12)
RJ(J1,2)=RJ(J1,2)+((R(1)-R(7))*CX(J)+CY(J))
RJ(J1,3)=RJ(J1,3)-R(8)*CY(J)
RJ(J2,2)=RJ(J2,2)+R(8)*CX(J)
RJ(K1,2)=RJ(K1,2)+((R(1)-R(7))*CX(J)+CY(J))
RJ(K1,3)=RJ(K1,3)+R(8)*CY(J)
RJ(K2,2)=RJ(K2,2)-R(8)*CX(J)
IF(J1-K1)40,40,50
40 IJ=J1
   J1=K1
   K1=IJ
   K2=K1+1
   K3=K1+2
   J2=J1+1
   J3=J1+2
50 RJ(K1,J1-K1+1)=RJ(K1,J1-K1+1)-(R(1)*CX(J)*CX(J)+R(7)*CY(J)*CY(J))
   RJ(K1,J2-K1+1)=RJ(K1,J2-K1+1)-(R(1)-R(7))*CX(J)*CY(J)
   RJ(K1,J3-K1+1)=RJ(K1,J3-K1+1)-R(8)*CY(J)
   RJ(K2,J1-K2+1)=RJ(K2,J1-K2+1)-(R(1)-R(7))*CX(J)+CY(J)
   RJ(K2,J2-K2+1)=RJ(K2,J2-K2+1)-(R(1)*CY(J)*CY(J)+R(7)*CX(J)*CX(J))
   RJ(K2,J3-K2+1)=RJ(K2,J3-K2+1)+R(8)*CX(J)
   RJ(K3,J1-K3+1)=RJ(K3,J1-K3+1)+R(8)*CY(J)
   RJ(K3,J2-K3+1)=RJ(K3,J2-K3+1)-R(8)*CX(J)
   RJ(K3,J3-K3+1)=RJ(K3,J3-K3+1)+R(15)
150 CONTINUE
    RETURN
    END

```

C  
C \*\*\*\*\* SUBROTINA DE LEITURA DOS DADOS DA SUBESTRUTURA PORTICO PLANO\*\*\*\*\*

C \*\*\* SUBROTINA NUMERO TRES - PORTICO PLANO \*\*\*

C  
C SUBROUTINE SUB3(IPAIN,NNLIG,NNOL,TS)  
C INTEGER DIFN,NNLIG,TS  
C COMMON /A/NR,NW/B/NFE(15,80)  
C DIMENSION JJ(60),JK(60),P(80),X(60),Y(60),AX(60),CX(60),F(80)  
C DIMENSION CY(60),NCL(20),NNOL(20),CL(60),CIZ(60),PJ(80,6),FG(80)  
C DIMENSION NDC(20)

C  
C WRITE(NW,1)IPAIN  
1 FORMAT(20X,3(' '),2X,'SUBROTINA NUMERO',2X,I3,2X,'PORTICO PLANO',  
A2X,3(' '),//,28X,3(' '),2X,'DADOS DA SUBESTRUTURA',2X,3(' '),//,  
A12X,'\*', 'NUMERO DE BARRAS', '\*',4X,'\*', 'NUMERO DE NOS', '\*',4X,'\*',  
A'MODULO DE ELASTICIDADE', '\*',//)  
C READ(NR,3)M,NJ,E  
3 FORMAT(2I4,F12.0)  
C WRITE(NW,5)M,NJ,E  
5 FORMAT(17X,I4,19X,I4,17X,F10.0)  
C NJ1=3\*NJ  
C DO 6 I=1,NJ1  
C P(I)=0.  
C F(I)=0.  
6 FO(I)=0.



```

C
C ***** LEITURA DOS NOS DE LIGACAO DA SUBESTRUTURA ***
C
      READ(NR,15)(NOL(I),I=1,NNLIG)
      15 FORMAT(26I3)
C      DO 50 I=1,NNLIG
C      WRITE(NW,14)I,NOL(I)
C      14 FORMAT(/,20X,'I=',I2,5X,'NOL=',I2)
C      50 CONTINUE
      CALL REARR(IPAIN,NNLIG,NOL,NJ)
C
C ***** COORDENADAS DOS NOS DA SUBESTRUTURA ***
C
      WRITE(NW,7)
      7 FORMAT(/,29X,3(' '),2X,'COORDENADAS DOS NOS',2X,3(' '),//,24X,' ',
A'NO', ' ',11X,' ', 'COORD.X', ' ',8X,' ', 'COORD.Y', ' ',//)
      DO 2 MM=1,NJ
      READ(NR,9)K,XK,YK
      9 FORMAT(I4,2F8.2)
      WRITE(NW,11)K,XK,YK
      11 FORMAT(24X,I4,11X,F8.2,8X,F8.2,/)
      J=NRE(IPAIN,K)
      X(J)=XK
      Y(J)=YK
      2 CONTINUE
      DIFN=0
      DO 60 LM=1,M
      DO 60 LJ=1,5
      60 PD(LM,LJ)=0.
C
C ***** POSICAO E PROPRIEDADE DAS BARRAS ***
C
      WRITE(NW,17)
      17 FORMAT(14X,' ', 'BARRA', ' ',3X,' ', 'NO INICIAL', ' ',3X,' ', 'NO FINAL',
A' ', ' ',3X,' ', 'AREA', ' ',3X,' ', 'MOM INERCIA', ' ',//,17X,'K',10X,
A'JJ(K)',9X,'JK(K)',6X,'AX(K)',7X,'CIZ(K)',/)
      DO 4 LN=1,M
      READ(NR,19)K,JJK,JKK,AX(K),CIZ(K)
      19 FORMAT(3I3,2F10.2)
      WRITE(NW,21)K,JJK,JKK,AX(K),CIZ(K)
      21 FORMAT(16X,I3,10X,I3,11X,I3,3X,F10.2,4X,F10.2)
      I=NRE(IPAIN,JJK)
      J=NRE(IPAIN,JKK)
      JJ(K)=I
      JK(K)=J
      JJ1=I
      JK1=J
      IA=IABS(JJ1-JK1)
      IF (IA-DIFN)100,100,200
      200 DIFN=IA
      100 CONTINUE
      XCL=X(JK1)-X(JJ1)
      YCL=Y(JK1)-Y(JJ1)
      CL(K)=SQRT(XCL**2+YCL**2)
      CX(K)=XCL/CL(K)

```

```

4 CY(K)=YCL/CL(K)
C
C ***** CALCULO DAS BARRAS COM CARGAS *****
C NNC=NUMERO DE NOS CARREGADOS
C NBC=NUMERO DE BARRAS CARREGADAS
C NCAR=NUMERO DE CARREGAMENTOS DA BARRA
C KK=NUMERO DA BARRA CARREGADA
C KTIPO=NUMERO DO TIPO DE CARREGAMENTO
C 1=CARGA CONCENTRADA
C 2=MOMENTO APLICADO
C 3=CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA
C 4=CARGA LINEARMENTE DISTRIBUIDA
C 5=CARGA CONCENTRADA AO LONGO DA BARRA
C CAR=VALOR DO CARREGAMENTO
C DIST=DISTANCIA DO CARREGAMENTO EM RELACAO AO INICIO DA BARRA
C
READ(NR,61)NBC,NNC
61 FORMAT(2I3)
IF(NBC)62,62,63
63 DO 64 LX=1,NBC
READ(NR,65)KK,NCAR
65 FORMAT(2I2)
AUX1=CL(KK)
DO 66 LK=1,NCAR
READ(NR,67)KTIPO,CAR,DIST
67 FORMAT(I2,2F10.5)
CALL TIPO(KK,KTIPO,CAR,DIST,AUX1,PO,TS)
66 CONTINUE
64 CONTINUE
62 CONTINUE
WRITE(22,REC=6*IPAIN-5)PO
DO 68 LM=1,M
J1=3*JJ(LM)-2
J2=J1+1
J3=J2+1
K1=3*JK(LM)-2
K2=K1+1
K3=K2+1
AU1=CX(LM)
AU2=CY(LM)
FO(J1)=FO(J1)+PO(LM,1)*AU1-PO(LM,2)*AU2
FO(J2)=FO(J2)+PO(LM,1)*AU2+PO(LM,2)*AU1
FO(J3)=FO(J3)+PO(LM,3)
FO(K1)=FO(K1)+PO(LM,4)*AU1-PO(LM,5)*AU2
FO(K2)=FO(K2)+PO(LM,4)*AU2+PO(LM,5)*AU1
FO(K3)=FO(K3)+PO(LM,6)
68 CONTINUE
WRITE(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIC,NCL,NNCL
WRITE(14,REC=6*IPAIN-5)E,M,NJ,JK,AX,CIZ,CL,CX,CY,DIFN
C
C ***** LEITURA DAS CARGAS APLICADAS NOS NOS *****
C
DO 69 I=1,NNC
69 NOC(I)=0.

```

```

WRITE(NW,31)
31 FORMAT(/,27X,3(' '),2X,'CARGAS APLICADAS NOS NDS',2X,3(' '),//,17X
A,' ',NND,' ',7X,' ', 'CARGA X', ' ',7X,' ', 'CARGA Y', ' ',7X,' ', 'ME
AMENTO Z', ' ',//)
IF(NNC)102,102,104
104 DO 8 I=1,NNC
READ(NR,33)K,A1,A2,A3
33 FORMAT(I4,3F8.2)
NOC(I)=K
J1=3*K-2
J2=3*K-1
J3=3*K
F(J1)=A1
F(J2)=A2
F(J3)=A3
WRITE(NW,35)K,A1,A2,A3
35 FORMAT(17X,I4,9X,F8.2,10X,F8.2,10X,F8.2)
8 CONTINUE
102 WRITE(NW,37)
37 FORMAT(27X,3(' '),2X,'VETOR DOS ESFORÇOS-AÇÕES NOS NDS',2X,3(' '),
*/)
CALL REAP(IPAIN,F,NNC,NOC,3)
DO 70 LR=1,NJ1
P(LR)=F(LR)-F0(LR)
70 CONTINUE
DO 12 LRI=1,NJ
WRITE(NW,41)LRI,P(3*LRI-2),P(3*LRI-1),P(3*LRI)
41 FORMAT(20X,I2,5X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2)
12 CONTINUE
WRITE(16,REC=6*IPAIN-5)P
RETURN
END

```

C  
C  
C  
C  
C

\*\*\* SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DAS BARRAS DA SUB-  
ESTRUTURA GRELHA \*\*\*

```

SUBROUTINE RB4 (E,G,CL,CIX,CIY,R)
REAL CL,CIX,CIY
DIMENSION R(21)
COMMON /A/NR,NW
DO 5 I=1,21
5 R(I)=0.
R(1)=G*CIX/CL
R(4)=-G*CIX/CL
R(7)=4*E*CIY/CL
R(8)=-6*E*CIY/(CL*CL)
R(10)=2*E*CIY/CL
R(11)=6*E*CIY/(CL*CL)
R(12)=12*E*CIY/(CL*CL*CL)
R(14)=-6*E*CIY/(CL*CL)
R(15)=-R(12)
R(16)=R(1)
R(19)=R(7)
R(20)=R(11)
R(21)=R(12)
RETURN
END

```

```

C
C
C *** SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DA GRELHA ***
C
SUBROUTINE MRSU4(IPAIN,NLIG,NJ,RJ)
INTEGER DIFN,BAND1
COMMON /A/NR,NW/C/BANDA(15)
DIMENSION JJ(50),JK(50),CX(60),CY(60),RJ(60,60),R(21)
DIMENSION CL(60),CIX(60),CIY(60)
C
READ(14,REC=6*IPAIN-5)E,G,M,NJ, JJ,JK,CIX,CIY,CL,CX,CY,DIFN
NB=3*NJ
BANDA(IPAIN)=(DIFN+1)*3
BAND1=BANDA(IPAIN)
DO 30 I=1,NB
DO 30 J=1,BAND1
RJ(I,J)=0.
30 CONTINUE
DO 150 I=1,M
AUX1=CL(I)
AUX2=CIX(I)
AUX3=CIY(I)
CALL RB4(E,G,AUX1,AUX2,AUX3,R)
J1=3*JJ(I)-2
J2=3*JJ(I)-1
J3=3*JJ(I)
K1=3*JK(I)-2
K2=3*JK(I)-1
K3=3*JK(I)
RJ(J1,1)=RJ(J1,1)+(R(1)*CX(I)**2+R(7)*CY(I)**2)
RJ(J2,1)=RJ(J2,1)+(R(1)*CY(I)**2+R(7)*CX(I)**2)
RJ(J3,1)=RJ(J3,1)+R(12)
RJ(K1,1)=RJ(K1,1)+(R(1)*CX(I)**2+R(7)*CY(I)**2)
RJ(K2,1)=RJ(K2,1)+(R(1)*CY(I)**2+R(7)*CX(I)**2)
RJ(K3,1)=RJ(K3,1)+R(12)
RJ(J1,2)=RJ(J1,2)+(R(1)-R(7))*CX(I)*CY(I)
RJ(J1,3)=RJ(J1,3)+R(11)*CY(I)
RJ(J2,2)=RJ(J2,2)+R(8)*CX(I)
RJ(K1,2)=RJ(K1,2)+(R(1)-R(7))*CX(I)*CY(I)
RJ(K1,3)=RJ(K1,3)+R(8)*CY(I)
RJ(K2,2)=RJ(K2,2)+R(11)*CX(I)
IF(J1-K1)40,40,50
40 RJ(J1,K1-J1+1)=RJ(J1,K1-J1+1)-(R(1)*CX(I)**2)+(R(10)*CY(I)**2)
RJ(J1,K2-J1+1)=RJ(J1,K2-J1+1)-(R(1)+R(10))*CX(I)*CY(I)
RJ(J1,K3-J1+1)=RJ(J1,K3-J1+1)+R(8)*CY(I)
RJ(J2,K1-J2+1)=RJ(J2,K1-J2+1)-(R(1)+R(10))*CX(I)*CY(I)
RJ(J2,K2-J2+1)=RJ(J2,K2-J2+1)-(R(1)*CY(I)**2)+(R(10)*CX(I)**2)
RJ(J2,K3-J2+1)=RJ(J2,K3-J2+1)+R(11)*CX(I)
RJ(J3,K1-J3+1)=RJ(J3,K1-J3+1)+R(11)*CY(I)
RJ(J3,K2-J3+1)=RJ(J3,K2-J3+1)+R(8)*CX(I)
RJ(J3,K3-J3+1)=RJ(J3,K3-J3+1)+R(15)
50 RJ(K1,J1-K1+1)=-((R(1)*CX(I)**2)+(R(10)*CY(I)**2)+RJ(K1,J1-K1+1)
RJ(K1,J2-K1+1)=-((R(1)+R(10))*CX(I)*CY(I)+RJ(K1,J2-K1+1)
RJ(K1,J3-K1+1)=RJ(K1,J3-K1+1)+R(11)*CY(I)
RJ(K2,J1-K2+1)=-((R(1)+R(10))*CX(I)*CY(I)+RJ(K2,J1-K2+1)
RJ(K2,J2-K2+1)=-((R(1)*CY(I)**2)+(R(10)*CX(I)**2)+RJ(K2,J2-K2+1)
RJ(K2,J3-K2+1)=R(8)*CX(I)+RJ(K2,J3-K2+1)
RJ(K3,J1-K3+1)=R(8)*CY(I)+RJ(K3,J1-K3+1)
RJ(K3,J2-K3+1)=RJ(K3,J2-K3+1)+R(11)*CX(I)
RJ(K3,J3-K3+1)=R(15)+RJ(K3,J3-K3+1)
150 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C
C
C *** SUBROTINA DE LEITURA DOS DADOS DA SUBESTRUTURA GRELHA ***
C
SUBROUTINE SUB4(IPAIN,NNLIG,NNOL,TS)
INTEGER DIFN,NNLIG,TS
COMMON /A/NR,NW/B/NRE(15,80)
DIMENSION JJ(60),JK(60),P(80),X(60),Y(60),CX(60),F(80),FD(80)
DIMENSION CY(60),NOL(20),NNOL(20),CL(60),CIX(60),CIY(60),PJ(80,6)
DIMENSION NOC(20)
WRITE(NW,1)IPAIN
1 FORMAT(25X,3(' '),2X,'SUBROTINA NUMERO',2X,I2,2X,'GRELHAS',1X,3(
A' '),//,28X,3(' '),2X,'DADOS DA SUBESTRUTURA',2X,3(' '),//,12X,'
A','NUM.DE BARRAS',' ',4X,' ', 'NUM.DE NOS',' ',4X,' ', 'MODULO DE E
ALASTICIDADE',' ',4X,' ', 'MOD. ELAST. TORCAC',' ',//)
READ(NR,3)M,NJ,E,G
3 FORMAT(2I4,F10.0,F10.4)
WRITE(NW,5)M,NJ,E,G
5 FORMAT(17X,I4,10X,I4,17X,F10.0,15X,F10.4)
NJ1=3*NJ
DO 6 I=1,NJ1
P(I)=0.
F(I)=0.
6 FD(I)=0.
C
C***** LEITURA DOS NOS DE LIGACAO DA SUBESTRUTURA ****
C
READ(NR,13)(NOL(I),I=1,NNLIG)
13 FORMAT(26I3)
C DO 50 I=1,NNLIG
C WRITE(NW,14)I,NOL(I)
C 14 FORMAT(/,20X,I2,8X,I2)
C 50 CONTINUE
CALL REARR(IPAIN,NNLIG,NOL,NJ)
C
C***** LEITURA DAS COORDENADAS DOS NOS DA SUBESTRUTURA ****
C
WRITE(NW,7)
7 FORMAT(/,29X,3(' '),2X,'COORDENADAS DOS NOS',2X,3(' '),//,24X,' ',
A'NO',' ',11X,' ', 'COGRD X',' ',3X,' ', 'COORD Y',' ',//)
DO 2 MM=1,NJ
READ(NR,9)K,XK,YK
9 FORMAT(I4,2F8.2)
WRITE(NW,11)K,XK,YK
11 FORMAT(24X,I4,11X,F8.2,8X,F8.2)
J=NRE(IPAIN,K)
X(J)=XK
Y(J)=YK
2 CONTINUE
DIFN=0
DO 60 LM=1,M
DO 60 LJ=1,6
60 PO(LM,LJ)=0.
C
C***** POSICAO E PROPRIEDADE DAS BARRAS
C

```

```

WRITE(NW,15)
15 FORMAT(14X,'*', 'BAPFA', '*', 3X, '*', 'NO INICIAL', '*', 3X, '*', 'NO FINA
A', '*', 5X, '*', 'MOM TORCOR', '*', 5X, '*', 'MOM INERCIA Y', '*', //, 17X, 'K
A', 9X, 'JJ(K)', 6X, 'JK(K)', 6X, 'CJT(K)', 7X, 'CIY(K)', //)
DO 4 LN=1, M
READ(NR,17)K, JJK, JKK, CIX(K), CIY(K)
17 FORMAT(3I3, 2F10.0)
WRITE(NW,19)K, JJ(K), JK(K), CIX(K), CIY(K)
19 FORMAT(16X, I3, 10X, I3, 11X, I3, 3X, F10.2, 4X, F10.2)
I=NRE(IPAIN, JJK)
J=NRE(IPAIN, JKK)
JJ(K)=I
JK(K)=J
JJ1=I
JK1=J
IA=IABS(JJ1-JK1)
IF (IA-DIFN) 100, 100, 200
200 DIFN=IA
100 CONTINUE
XCL=X(JK1)-X(JJ1)
YCL=Y(JK1)-Y(JJ1)
CL(K)=SQRT(XCL**2+YCL**2)
CX(K)=XCL/CL(K)
4 CY(K)=YCL/CL(K)
C
C***** LEITURA DAS CARGAS APLICADAS NAS BARRAS ***
C
C NBC=NUMERO DE BARRAS CARREGADAS
C NNC=NUMERO DE NOS. CARREGADOS
C NCAR=NUMERO DE CARREGAMENTOS DA BARRA
C KK=NUMERO DA BARRA CARREGADA
C KTIPO=NUMERO DO TIPO DE CARREGAMENTO
C 1=CARGA CONCENTRADA
C 2=MOMENTO APLICADO
C 3=CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA
C 4=CARGA LINEARMENTE DISTRIBUIDA
C 5=CARGA CONCENTRADA AO LONGO DA BARRA
C CAR=VALOR DO CARREGAMENTO
C DIST=DISTANCIA DO CARREGAMENTO EM RELACAO AO INICIO DA BARRA
READ(NR,61)NBC, NNC
61 FORMAT(2I3)
IF(NBC)62, 62, 63
63 DO 64 LX=1, NBC
READ(NR,65)KK, NCAR
65 FORMAT(2I2)
AUX1=CL(KK)
DO 66 LK=1, NCAR
READ(NR,67)KTIPO, CAR, DIST
67 FORMAT(I2, 2F10.5)
CALL TIPO(KK, KTIPO, CAR, DIST, AUX1, PO, TS)
66 CONTINUE
64 CONTINUE
62 CONTINUE
WRITE(22, REC=6*IPAIN-5)PO
DO 68 LM=1, M
J1=3*JJ(LM)-2
J2=3*JJ(LM)-1
J3=3*JJ(LM)
K1=3*JK(LM)-2
K2=3*JK(LM)-1
K3=3*JK(LM)

```

```

FO(J1)=FO(J1)+PO(LM,1)*CX(LM)+PO(LM,2)*CY(LM)
FO(J2)=FO(J2)+PO(LM,1)*CY(LM)-PO(LM,2)*CX(LM)
FO(J3)=FO(J3)+PO(LM,3)
FO(K1)=FO(K1)+PO(LM,4)*CX(LM)+PO(LM,5)*CY(LM)
FO(K2)=FO(K2)+PO(LM,4)*CY(LM)-PO(LM,5)*CX(LM)
FO(K3)=FO(K3)+PO(LM,6)
68  CONTINUE
    WRITE(14,REC=5*IPAIN-5)E,G,M,NJ,JJ,JK,CIX,CII,CL,CX,CY,DIFN
    WRITE(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG,NCL,NNCL
C
C***** LEITURA DAS CARGAS APLICADAS NOS NOS
C
    DO 26 I=1,NNC
26  NOC(I)=0.
    IF(NNC)102,102,104
104  DO 8 I=1,NNC
    READ(NR,31)K,A1,A2,A3
31  FORMAT(14,3F8.2)
    NOC(I)=K
    J1=3*K-2
    J2=3*K-1
    J3=3*K
    F(J1)=A1
    F(J2)=A2
    F(J3)=A3
    WRITE(NW,35)K,A1,A2,A3
35  FORMAT(17X,I4,9X,F8.2,9X,F8.2,10X,F8.2)
    8 CONTINUE
102  CONTINUE
    WRITE(NW,37)
37  FORMAT(27X,31('*'),2X,'VETOR DOS ESFORÇOS-AÇÕES NOS NOS',21X,3('*'))
    A/)
    WRITE(NW,39)I,F(3*I-1),F(3*I-2),F(3*I)
39  FORMAT(20X,I2,5X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2)
10  CONTINUE
    CALL REAP(IPAIN,F,NNC,NOC,3)
    DO 70 LR=1,NJI
    P(LR)=F(LR)-FO(LR)
70  CONTINUE
    WRITE(16,REC=6*IPAIN-5)P
    RETURN
    END

```

```

C
C
C *** SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DA BARRA DA SUBESTRUTURA
C TRELICA ESPACIAL ***
C
    SUBROUTINE RB5 (E,CL,AX,R)
    REAL CL
    DIMENSION R(21)
    DO 5 I=1,21
5  R(I)=0.
    R(1)=E*AX/CL
    R(4)=-R(1)
    R(16)=R(1)
    RETURN
    END

```

```

C
C
C *** SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DA SUBESTRUTURA TRELI-
C CA PLANA ***
C
SUBROUTINE MRSU5(IPAIN,NLIG,NJ,RJ)
INTEGER DIFN,BAND1
COMMON /A/NR,NW/C/BANDA(15)
DIMENSION JJ(60),JK(60),AX(60),CX(60),CY(60),CZ(60),RJ(60,60)
DIMENSION R(21),CL(60)
C
PEAD(14,REC=6*IPAIN-5)E,M,NJ,JJ,JK,AX,CL,CX,CY,CZ,DIFN
NB=3*NJ
BANDA(IPAIN)=(DIFN+1)*3
BAND1=BANDA(IPAIN)
DO 30 I=1,NB
DO 30 J=1,BAND1
RJ(I,J)=0.
30 CONTINUE
DO 150 K=1,M
AUX1=CL(K)
AUX2=AX(K)
CALL RB5(E,AUX1,AUX2,R)
J1=3*JJ(K)-2
J2=3*JJ(K)-1
J3=3*JJ(K)
K1=3*JK(K)-2
K2=3*JK(K)-1
K3=3*JK(K)
RJ(J1,1)=R(1)*CX(K)**2+RJ(J1,1)
RJ(J2,1)=R(1)*CY(K)**2+RJ(J2,1)
RJ(J3,1)=R(1)*CZ(K)**2+RJ(J3,1)
RJ(K1,1)=R(1)*CX(K)**2+RJ(K1,1)
RJ(K2,1)=R(1)*CY(K)**2+RJ(K2,1)
RJ(K3,1)=R(1)*CZ(K)**2+RJ(K3,1)
RJ(J1,2)=R(1)*CX(K)*CY(K)+RJ(J1,2)
RJ(J1,3)=R(1)*CX(K)*CZ(K)+RJ(J1,3)
RJ(J2,2)=R(1)*CY(K)*CZ(K)+RJ(J2,2)
RJ(K1,2)=R(1)*CX(K)*CY(K)+RJ(K1,2)
RJ(K1,3)=R(1)*CX(K)*CZ(K)+RJ(K1,3)
RJ(K2,2)=R(1)*CY(K)*CZ(K)+RJ(K2,2)
IF(J1-K1)40,40,50
40 IJ=J1
J1=K1
K1=IJ
K2=K1+1
K3=K1+2
J2=J1+1
J3=J1+2
50 RJ(K1,J1-K1+1)=(-R(1)*CX(K)**2)+RJ(K1,J1-K1+1)
RJ(K1,J2-K1+1)=(-R(1)*CX(K)*CY(K))+RJ(K1,J2-K1+1)
RJ(K1,J3-K1+1)=(-R(1)*CX(K)*CZ(K))+RJ(K1,J3-K1+1)
RJ(K2,J1-K2+1)=(-R(1)*CX(K)*CY(K))+RJ(K2,J1-K2+1)
RJ(K2,J2-K2+1)=(-R(1)*CY(K)**2)+RJ(K2,J2-K2+1)
RJ(K2,J3-K2+1)=(-R(1)*CY(K)*CZ(K))+RJ(K2,J3-K2+1)
RJ(K3,J1-K3+1)=(-R(1)*CX(K)*CZ(K))+RJ(K3,J1-K3+1)
RJ(K3,J2-K3+1)=(-R(1)*CY(K)*CZ(K))+RJ(K3,J2-K3+1)
RJ(K3,J3-K3+1)=(-R(1)*CZ(K)**2)+RJ(K3,J3-K3+1)
150 CONTINUE
RETURN
END

```



```

C
C
C *** SUBROTINA DE DADOS DA SUBESTRUTURA TRELICA ESPACIAL ***
C
  SUBROUTINE SUB5(IPAIN,NNLIG,NNOL)
  COMMON /A/NR,NW/B/NRE(15,30)
  INTEGER DIFN,NNLIG,TS
  DIMENSION JJ(60),JK(60),P(80),X(60),Y(60),Z(60),AX(60),CX(60)
  DIMENSION CY(60),CZ(60),PG(80,6),F(80),FO(80),VOC(20),CL(60)
  DIMENSION NOL(20),NNOL(20)
C
  WRITE(NW,1)
  1 FORMAT(20X,3(' '),1X,'SUBROTINA NUMERO',2X,I2,2X,'TRELICA ESPACIA
  AAL',2X,3(' '),//,28X,3(' '),2X,'DADOS DA SUBESTRUTURA',2X,3(' '),
  A20X,'*', 'BARRA', '*', 12X,'*', 'NO', '*', 12X,'*', 'E', '*', //)
  READ(NR,3)M,NJ,E
  3 FORMAT(2I4,F10.0)
  WRITE(NW,5)M,NJ,E
  5 FORMAT(17X,I4,19X,I4,17X,F10.0)
  NJ1=3*NJ
  DO 6 I=1,NJ
  P(I)=0.
  F(I)=0.
  6 FO(I)=0.
C
C***** LEITURA DOS NOS DE LIGACAO DA SUBESTRUTURA *****
C
  READ(NR,13)(NOL(I),I=1,NNLIG)
  13 FORMAT(26I3)
C
  DO 50 I=1,NNLIG
C
  WRITE(NW,14)I,NOL(I)
C
  14 FORMAT(/,40X,I2,8X,I2,/)
C
  50 CONTINUE
  CALL REARR(IPAIN,NNLIG,NOL,NJ)
C
C***** LEITURA DAS COORDENADAS DOS NOS DA SUBESTRUTURA
C
  WRITE(NW,7)
  7 FORMAT(29X,3(' '),2X,'COORDENADAS DOS NOS',2X,3(' '),//,16X,'*',
  A'K', '*', 10X,'*', 'X(K)', '*', 10X,'*', 'Y(K)', '*', 10X,'*', 'Z(K)', '*', //)
  DO 2 MM=1,NJ
  READ(NR,9)K,XK,YK,ZK
  9 FORMAT(I4,3F8.2)
  WRITE(NW,11)K,XK,YK,ZK
  11 FORMAT(15X,I4,5X,F8.2,5X,F8.2,5X,F8.2,/)
  J=NRE(IPAIN,K)
  X(J)=XK
  Y(J)=YK
  Z(J)=ZK
  2 CONTINUE
  DIFN=0
  DO 60 LM=1,M
  DO 60 LJ=1,6
  60 PG(LM,LJ)=0.
C
C***** POSICAO E PROPRIEDADE DAS BARRAS
C
  WRITE(NW,15)
  15 FORMAT(15X,'*', 'BARRA', '*', 6X,'*', 'NO INICIAL ', '*', 'NO FINAL ', '*'
  A,6X,'*', 'AREA', '*', //,5X,'K', 12X,'JJ(K)', 9X,'JK(K)', 9X,'AX(K)', /)
  DO 4 LN=1,M
  READ(NR,17)K,JJK,JKK,AX(K)
  17 FORMAT(3I3,F10.2)

```

```

WRITE(NW,19)K, JJ(K), JK(K), AX(K)
19 FORMAT(19X, I3, 13X, I3, 14X, I3, 7X, F10.2)
I=NRE(IPAIN, JJK)
J=NRE(IPAIN, JKK)
JJ(K)=I
JK(K)=J
JJ1=I
JK1=J
IA=IABS(JJ1-JK1)
IF(IA-DIFN)100,100,200
200 DIFN=IA
100 CONTINUE
XCL=X(JK1)-X(JJ1)
YCL=Y(JK1)-Y(JJ1)
ZCL=Z(JK1)-Z(JJ1)
CL(K)=SQRT(XCL**2+YCL**2+ZCL**2)
CX(K)=XCL/CL(K)
CY(K)=YCL/CL(K)
4 CZ(K)=ZCL/CL(K)
WRITE(22,REC=6*IPAIN-5)PO
WRITE(14,REC=6*IPAIN-5)E,M,NJ, JJ, JK, AX, CL, CX, CY, CZ, DIFN
WRITE(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG, NCL, NNCL
C
C***** LEITURA DAS CARGAS APLICADAS NOS NOS
C
C      NNC=NUMERO DE NOS CARREGADCS
      READ(NR,27)NNC
27 FORMAT(I3)
      WRITE(NW,678)NNC
678 FORMAT(/,5X,'NNC=',I3)
      DO 43 I=1,NNC
43   NOC(I)=0.
      WRITE(NW,29)
29   FORMAT(/,27X,3(' '),2X,'CARGAS APLICADAS NOS NOS',2X,3(' '),//,
A30X,' ','NO',' ',16X,' ','A1',' ',16X,' ','A2',' ',16X,' ','A3',
A' ',/)
      IF(NNC)102,102,104
104  DO 8 I=1,NNC
      READ(NR,31)K, A1, A2, A3
31   FORMAT(I4,3F8.2)
      NOC(I)=K
      J1=3*K-2
      J2=3*K-1
      J3=3*K
      F(J1)=A1
      F(J2)=A2
      F(J3)=A3
      WRITE(NW,33)K, A1, A2, A3
33   FORMAT(20X,I4,9X,F8.2,10X,F8.2,10X,F8.2,/)
      8 CONTINUE
102  WRITE(NW,35)
35   FORMAT(27X,3(' '),2X,'VECTOR DOS ESFORCOS',2X,3(' '),//)
      DO 10 I=1,NJ
      WRITE(NW,37)I, F(3*I-2), F(3*I-1), F(3*I)
37   FORMAT(10X,I2,5X,F8.2,5X,F8.2,5X,F8.2,/)
10   CONTINUE
      CALL REAP(IPAIN,F,NNC,NCC,3)
      DO 70 I=1,NJ1
      P(I)=F(I)-F0(I)
70   CONTINUE
      WRITE(16,REC=6*IPAIN-5)P
      RETURN
      END

```

```

C
C
C *** SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DA BARRA DA SUBESTRUTURA
C PORTICO ESPACIAL ***
C

```

```

SUBROUTINE RB6 (E,G,CL,AX,CIX,CIX,CIX,CIZ,R)
REAL CL,CIX,CIX,CIX,CIZ
DIMENSION R(78)
DO 5 I=1,78
5 R(I)=0.
R(1)=E*AX/CL
R(7)=-R(1)
R(13)=12*E*CIZ/(CL**3)
R(17)=6*E*CIZ/(CL**2)
R(19)=-R(8)
R(23)=R(12)
R(24)=12*E*CIX/(CL**3)
R(26)=-6*E*CIX/(CL**2)
R(30)=-R(24)
R(32)=R(26)
R(34)=G*CIX/CL
R(40)=-R(34)
R(43)=4*E*CIX/CL
R(47)=6*E*CIX/(CL**2)
R(49)=2*E*CIX/CL
R(51)=4*E*CIZ/CL
R(53)=-6*E*CIZ/CL
R(57)=2*E*CIZ/CL
R(58)=R(1)
R(64)=R(13)
R(68)=-R(17)
R(69)=R(24)
R(71)=6*E*IX/CL
R(73)=R(34)
R(76)=R(43)
R(78)=R(51)
RETURN
END

```

```

C
C
C
C *** SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DO PORTICO ESPACIAL ***
C

```

```

SUBROUTINE MRSU6(IPAIN,NLIG,NJ,RJ)
REAL CL(60),CIX(60),CIX(60),CIZ(60)
INTEGER BAND1,DIFN
COMMON /A/NR,NW/C/BANDA(15)
DIMENSION JJ(60),JK(60),AX(60),ALFAP(60)
DIMENSION CX(60),CY(60),CZ(60),RJ(60,60),T(3),R(78)
READ(14,REC=6*IPAIN-5)E,G,M,NJ,JJ,JK,AX,CIX,CIX,CIZ,ALFAP,CL,CX,CY
*,CZ
NB=6*NJ
BANDA(IPAIN)=(DIFN+1)*6
BAND1=BANDA(IPAIN)
DO 30 I=1,NB

```

```

DO 30 J=1,BAND1
  RJ(I,J)=0.
30 CONTINUE
  DO 150 K=1,M
    AUX1=C1(K)
    AUX2=AX(K)
    AUX3=CIX(K)
    AUX4=CIY(K)
    AUX5=CIZ(K)
    CALL RB6(E,G,AUX1,AUX2,AUX3,AUX4,AUX5,R)
    J1=6*JJ(K)-5
    J2=6*JJ(K)-4
    J3=6*JJ(K)-3
    J4=6*JJ(K)-2
    J5=6*JJ(K)-1
    J6=6*JJ(K)
    K1=6*JK(K)-5
    K2=6*JK(K)-4
    K3=6*JK(K)-3
    K4=6*JK(K)-2
    K5=6*JK(K)-1
    K6=6*JK(K)
    ALFAP(K)=ALFA
    ALFA=ALFA/57.29578
    AB=SIN(ALFAP(K))
    BC=COS(ALFAP(K))
    T(1)=CX(K)*CY(K)*BC-CZ(K)*AB
    T(2)=CY(K)*CZ(K)*BC+CX(K)*AB
    T(3)=CX(K)**2+CZ(K)**2
    RJ(J1,1)=(R(1)*CX(K)**2)+(R(13)*(T(1)**2/T(3)))+(R(24)*T(1)
A**2/T(3)))+RJ(J1,1)
    RJ(J2,1)=(R(1)*CY(K)**2)+(R(13)*T(3)*BC**2)+(R(24)*T(3)*AB**2)
A+RJ(J2,1)
    RJ(J3,1)=(R(1)*CZ(K)**2)+((T(2)**2/T(3))*(R(13)+R(24)))+RJ(J3,1)
    RJ(J4,1)=(R(34)*CX(K)**2)+((T(1)**2/T(3))*(R(43)+R(51)))+RJ(J4,1)
    RJ(J5,1)=(R(34)*CY(K)**2)+(R(43)*T(3)*BC**2)+(R(51)*T(3)*AB**2)+
ARJ(J5,1)
    RJ(J6,1)=(R(34)*CZ(K)**2)+((T(2)**2/T(3))*(R(43)+R(51)))+RJ(J6,1)
    RJ(K1,1)=(R(1)*CX(K)**2)+(R(13)*(T(1)**2/T(3)))+(R(24)*(T(1)**2/
AT(3)))+RJ(K1,1)
    RJ(K2,1)=(R(1)*CY(K)**2)+(R(13)*T(3)*BC**2)+(R(24)*T(3)*AB**2)+
ARJ(K2,1)
    RJ(K3,1)=(R(1)*CZ(K)**2)+((T(2)**2/T(3))*(R(13)+R(24)))+RJ(K3,1)
    RJ(K4,1)=(R(34)*CX(K)**2)+((T(1)**2/T(3))*(R(43)+R(51)))+RJ(K4,1)
    RJ(K5,1)=(R(34)*CY(K)**2)+(R(43)*T(3)*BC**2)+(R(51)*T(3)*AB**2)+
ARJ(K5,1)
    RJ(K6,1)=(R(34)*CZ(K)**2)+((T(2)**2/T(3))*(R(43)+R(51)))+RJ(K6,1)
    RJ(J1,2)=(R(1)*CX(K)*CY(K))-(R(13)*T(1)*BC)-(R(24)*T(1)*AB)+RJ(J1,
A2)
    RJ(J1,3)=(R(1)*CX(K)*CZ(K))+((T(1)*T(2)/T(3))*(R(13)+R(24)))+RJ(J1
A,3)
    RJ(J1,4)=(T(1)**2/T(3))*(R(47)-R(17))+RJ(J1,4)
    RJ(J1,5)=(R(26)*T(1)*BC)+(R(17)*T(1)*AB)+RJ(J1,5)
    RJ(J1,6)=(T(1)*T(2)/T(3))*(R(47)-R(17))+RJ(J1,6)
    RJ(J2,2)=(R(1)*CY(K)*CZ(K))-(R(13)*T(2)*BC)-(R(24)*T(2)*AB)+RJ(J2,

```

```

A2)
RJ(J2,3)=(R(26)*T(1)*AB)+(R(17)*T(1)*BC)+RJ(J2,3)
RJ(J2,4)=(T(3)*AB*BC)*(R(47)-R(17))+RJ(J2,4)
RJ(J2,5)=(R(26)*T(2)*AB)+(R(17)*T(2)*BC)+RJ(J2,5)
RJ(J3,2)=(T(1)*T(2)/T(3))*(R(47)-R(17))+RJ(J3,2)
RJ(J3,3)=(R(26)*T(2)*BC)+(R(17)*T(2)*AB)+RJ(J3,3)
RJ(J3,4)=(T(2)**2/T(3))*(R(47)-R(17))+RJ(J3,4)
RJ(J4,2)=(R(34)*CX(K)*CY(K))-(R(43)*T(1)*BC)-(R(51)*T(1)*AB)+RJ(J4
A,2)
RJ(J4,3)=(R(34)*CX(K)*CZ(K))+((T(1)*T(2)/T(3))*(R(43)+R(51)))+RJ(
AJ4,3)
RJ(J5,2)=(R(34)*CY(K)*CZ(K))-(R(43)*T(2)*BC)-(R(51)*T(2)*AB)+RJ(J5
A,2)
RJ(K1,2)=(R(1)*CX(K)*CY(K))-(R(13)*T(1)*BC)-(R(24)*T(1)*AB)+RJ(K1,
A2)
RJ(K1,3)=(R(1)*CX(K)*CZ(K))+((T(1)+T(2)/T(3))*(R(13)+R(24)))+RJ(K1
A,3)
RJ(K1,4)=-((T(1)**2/T(3))*(R(47)-R(17)))+RJ(K1,4)
RJ(K1,5)=-((R(26)*T(1)*BC)+(R(17)*T(1)*AB))+RJ(K1,5)
RJ(K1,6)=-((T(1)*T(2)/T(3))*(R(47)-R(17)))+RJ(K1,6)
RJ(K2,2)=(R(1)*CY(K)*CZ(K))-(R(13)*T(2)*BC)-(R(24)*T(2)*AB)+RJ(K2,
A2)
RJ(K2,3)=-((R(26)*T(1)*AB)+(R(17)*T(1)*BC))+RJ(K2,3)
RJ(K2,4)=-((T(3)*AB*BC)*(R(47)-R(17)))+RJ(K2,4)
RJ(K2,5)=-((R(26)*T(2)*AB)+(R(17)*T(2)*BC))+RJ(K2,5)
RJ(K3,2)=-((T(1)*T(2)/T(3))*(R(47)-R(17)))+RJ(K3,2)
RJ(K3,3)=-((R(26)*T(2)*BC)+(R(17)*T(2)*AB))+RJ(K3,3)
RJ(K3,4)=-((T(2)**2/T(3))*(R(47)-R(17)))+RJ(K3,4)
RJ(K4,2)=(R(34)*CX(K)*CY(K))-(R(43)*T(1)*BC)-(R(51)*T(1)*AB)+R
AJ(K4,2)
RJ(K4,3)=(R(34)*CX(K)*CZ(K))+((T(1)*T(2)/T(3))*(R(43)+R(51)))+
ARJ(K4,3)
RJ(K5,2)=(R(34)*CY(K)*CZ(K))-(R(43)*T(2)*BC)-(R(51)*T(2)*AB)+R
AJ(K5,2)
IF(J1-K1)40,40,50
40 IJ=J1
J1=K1
J2=J1+1
J3=J1+2
J4=J1+3
J5=J1+4
J6=J1+5
K1=IJ
K2=K1+1
K3=K1+2
K4=K1+3
K5=K1+4
K6=K1+5
50 RJ(K1,J1-K1+1)=-((R(1)*CX(K)**2)+(R(13)*T(1)**2/T(3)))+(R(24)*
A(T(1)**2/T(3))) +RJ(K1,J1-K1+1)
RJ(K1,J2-K1+1)=-((R(1)*CX(K)*CY(K))-(R(13)*T(1)*BC)-(R(24)*T(1)*
AAB))+RJ(K1,J2-K1+1)
RJ(K1,J3-K1+1)=-((R(1)*CX(K)*CZ(K))+((T(1)*T(2)/T(3))*(R(13)+R(24
A))))+RJ(K1,J3-K1+1)
RJ(K1,J4-K1+1)=(T(1)**2/T(3))*(R(47)-R(17))+RJ(K1,J4-K1+1)

```

```

RJ(K1,J5-K1+1)=(R(26)*T(1)*BC)+(R(17)*T(1)*AB)+RJ(K1,J5-K1+1)
RJ(K1,J6-K1+1)=(T(1)*T(2)/T(3))*(R(47)-R(17))+RJ(K1,J6-K1+1)
RJ(K2,J1-K2+1)=-((R(1)*CX(K)*CY(K))-(R(13)*T(1)*BC)-(R(24)*T(1)*
AAB))+RJ(K2,J1-K2+1)
RJ(K2,J2-K2+1)=-((R(1)*CY(K)**2)+(R(13)*T(3)*BC**2)+(R(24)*T(3)*
AAB**2))+RJ(K2,J2-K2+1)
RJ(K2,J3-K2+1)=-((R(1)*CY(K)*CZ(K))-(R(13)*T(2)*BC)-(R(24)*T(2)*
AAB))+RJ(K2,J3-K2+1)
RJ(K2,J4-K2+1)=(R(26)*T(1)*AB)+(R(17)*T(1)*BC)+RJ(K2,J4-K2+1)
RJ(K2,J5-K2+1)=(T(3)*AB*BC)*(R(47)-R(17))+RJ(K2,J5-K2+1)
RJ(K2,J6-K2+1)=(R(26)*T(2)*AB)+(R(17)*T(2)*BC)+RJ(K2,J6-K2+1)
RJ(K3,J1-K3+1)=-((R(1)*CX(K)*CZ(K))+((T(1)*T(2)/T(3))*(R(13)+R(24)
A))) +RJ(K3,J1-K3+1)
RJ(K3,J2-K3+1)=-((R(1)*CY(K)*CZ(K))-(R(13)*T(2)*BC)-(R(24)*T(2)*A
A))+RJ(K3,J2-K3+1)
RJ(K3,J3-K3+1)=-((R(1)*CZ(K)**2)+((T(2)**2/T(3))*(R(13)+R(24))))+
ARJ(K3,J3-K3+1)
RJ(K3,J4-K3+1)=(T(1)*T(2)/T(3))*(R(47)-R(17))+RJ(K3,J4-K3+1)
RJ(K3,J5-K3+1)=(R(26)*T(2)*BC)+(R(17)*T(2)*AB)+RJ(K3,J5-K3+1)
RJ(K3,J6-K3+1)=(T(2)**2/T(3))*(R(47)-R(17))+RJ(K3,J6-K3+1)
RJ(K4,J1-K4+1)=-((T(1)**2/T(3))*(R(47)-R(17)))+RJ(K4,J1-K4+1)
RJ(K4,J2-K4+1)=-((R(26)*T(1)*AB)+(R(17)*T(1)*BC))+RJ(K4,J2-K4+1)
RJ(K4,J3-K4+1)=-((T(1)*T(2)/T(3))*(R(47)-R(17)))+RJ(K4,J3-K4+1)
RJ(K4,J4-K4+1)=-((R(34)*CX(K)**2)+((T(1)**2/T(3))*(R(49)+R(57))))+
ARJ(K4,J4-K4+1)
RJ(K4,J5-K4+1)=-((R(34)*CX(K)*CY(K))-(R(49)*T(1)*BC)-(R(57)*T(1)*A
B))+RJ(K4,J5-K4+1)
RJ(K4,J6-K4+1)=-((R(34)*CX(K)*CZ(K))+((T(1)*T(2)/T(3))*(R(49)+R(57)
A)))+RJ(K4,J6-K4+1)
RJ(K5,J1-K5+1)=-((R(26)*T(1)*BC)+(R(17)*T(1)*AB))+RJ(K5,J1-K5+1)
RJ(K5,J2-K5+1)=-((T(3)*AB*BC)*(R(47)-R(17)))+RJ(K5,J2-K5+1)
RJ(K5,J3-K5+1)=-((R(26)*T(2)*BC)+(R(17)*T(2)*AB))+RJ(K5,J3-K5+1)
RJ(K5,J4-K5+1)=-((R(34)*CX(K)*CY(K))-(R(49)*T(1)*BC)-(R(57)*T(1)*A
B))+RJ(K5,J4-K5+1)
RJ(K5,J5-K5+1)=-((R(34)*CY(K)**2)+(R(49)*T(3)*BC**2)+(R(57)*T(3)*A
B**2))+RJ(K5,J5-K5+1)
RJ(K5,J6-K5+1)=-((R(34)*CY(K)*CZ(K))-(R(49)*T(2)*BC)-(R(57)*T(2)*A
B))+RJ(K5,J6-K5+1)
RJ(K6,J1-K6+1)=-((T(1)*T(2)/T(3))*(R(47)-R(17)))+RJ(K6,J1-K6+1)
RJ(K6,J2-K6+1)=-((R(26)*T(2)*AB)+(R(17)*T(2)*BC))+RJ(K6,J2-K6+1)
RJ(K6,J3-K6+1)=-((T(2)**2/T(3))*(R(47)-R(17)))+RJ(K6,J3-K6+1)
RJ(K6,J4-K6+1)=-((R(34)*CX(K)*CZ(K))+((T(1)*T(2)/T(3))*(R(43)+R(51)
A)))+RJ(K6,J4-K6+1)
RJ(K6,J5-K6+1)=-((R(34)*CY(K)*CZ(K))-(R(49)*T(2)*BC)-(R(57)*T(2)*
AAB))+RJ(K6,J5-K6+1)
RJ(K6,J6-K6+1)=-((R(34)*CY(K)*CZ(K))+((T(2)**2/T(3))*(R(49)+R(57))))+
ARJ(K6,J6-K6+1)

```

150 CONTINUE

RETURN

END

C  
C

C  
 C \*\*\* SUBROTINA DE DADOS DA SUBESTRUTURA PORTICO ESPACIAL \*\*\*  
 C

SUBROUTINE SUB6(IPAIN,NNLIG,NNCL)  
 COMMON /A/NR,NW/8/NRE(15,80)  
 INTEGER DIFN,NNLIG  
 REAL CL(60),CIX(60),CIY(60),CIZ(60)  
 DIMENSION JJ(60),JK(60),P(80),X(60),Y(60),Z(60),AX(60)  
 DIMENSION ALFAP(60),CX(60),CY(60),CZ(60),NCL(20),NNCL(20)

C  
 WRITE(NW,1)IPAIN  
 1 FORMAT(27X,3(' '),2X,'SUBROTINA NUMERO',I2,'PORTICO ESPACIAL',  
 A1X,3(' '),//,36X,3(' '),2X,'DADOS DA SUBESTRUTURA',2X,3(' '),  
 A//,25X,' ','M',' ',10X,' ','NJ',' ',10X,' ','E',' ',10X,' ','G',  
 A' ',//)  
 READ(NR,3)M,NJ,E,G  
 3 FORMAT(I4,15,2F10.0)  
 WRITE(NW,5)M,NJ,E,G  
 5 FORMAT(25X,I4,8X,I5,8X,F10.0,F10.0,/)
 NJ1=6\*NJ  
 DO 6 I=1,NJ1  
 P(I)=0.  
 F(I)=0.  
 6 FO(I)=0.

C  
 C\*\*\*\*\* LEITURA DOS NOS. DE LIGACAO

C  
 READ(NR,13)(NCL(I),I=1,NNLIG)  
 13 FORMAT(26I3)  
 DO 50 I=1,NNLIG  
 WRITE(NW,14)I,NCL(I)  
 C 14 FORMAT(I/,40X,I2,8X,I2,//)  
 C 50 CONTINUE  
 CALL REARR(IPAIN,NNLIG,NCL,NJ)

C  
 C\*\*\*\*\* COORDENADAS DOS NOS DA SUBESTRUTURA

C  
 WRITE(NW,7)  
 7 FORMAT(20X,3(' '),1X,'COORDENADAS DOS NOS',1X,3(' '),//,25X,' ',  
 A'K',' ',10X,' ','X(K)',' ',10X,' ','Y(K)',' ',10X,' ','Z(K)',  
 A' ',//)  
 DO 2 MM=1,NJ  
 READ(NR,9)K,XK,YK,ZK  
 9 FORMAT(I4,3F8.2)  
 WRITE(NW,11)K,XK,YK,ZK  
 11 FORMAT(25X,I4,8X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2)  
 J=NRE(IPAIN,K)  
 X(J)=XK  
 Y(J)=YK  
 Z(J)=ZK  
 2 CONTINUE  
 DIFN=0  
 DO 60 LM=1,M  
 DO 60 LJ=1,6  
 60 PO(LM,LJ)=0.

C  
 C\*\*\*\*\* POSICAO E PROPRIEDADE DAS BARRAS  
 C

```

WRITE(NW,15)
15 FORMAT('**', 'BARRA', '**', 3X, '**', 'NO INIC', '**', 3X, '**', 'NO FIN', '**',
A3X, '**', 'AREA', '**', 3X, '**', 'MCM INX', '**', 3X, '**', 'MCM INY', '**', 3X,
A**', 'MCM INZ', '**', 3X, '**', 'ALFAP', '**', 3X, '**', '//', 'K', 7X, 'JJ(K)', 6X,
A'JK(K)', 5X, 'AX(K)', 7X, 'IX(K)', 7X, 'IY(K)', 8X, 'IZ(K)', 7X, 'ALFAP(K)',
A/)
DO 4 LN=1, M
READ(NR,17)K, JJK, JKK, AX(K), IX(K), IY(K), IZ(K), ALFAP(K)
17 FORMAT(3I3, 4F10.0, F10.2)
WRITE(NW,19)K, JJ(K), JK(K), AX(K), IX(K), IY(K), IZ(K), ALFAP(K)
19 FORMAT(2X, I3, 5X, I3, 7X, I3, 4X, F10.0, 2X, F10.2, 2X, F10.2, 3X, F10.2, 2X,
AE9.3, //)
I=NRE(IPAIN, JJK)
J=NRE(IPAIN, JKK)
JJ(K)=I
JK(K)=J
JJ1=I
JK1=J
IA=IABS(JJ1-JK1)
IF (IA-DIFN)100,100,200
200 DIFN=IA
100 CONTINUE
XCL=X(JK1)-X(JJ1)
YCL=Y(JK1)-Y(JJ1)
ZCL=Z(JK1)-Z(JJ1)
CL(K)=SQRT(XCL**2+YCL**2+ZCL**2)
CX(K)=XCL/CL(K)
CY(K)=YCL/CL(K)
4 CZ(K)=ZCL/CL(K)
READ(NR,61)NBC, NNC
61 FORMAT(2I3)
IF(NBC)62,62,63
63 DO 64 LX=1, NBC
READ(NR,65)KK, NCAR
65 FORMAT(2I2)
AUX1=CL(KK)
DO 66 LK=1, NCAR
READ(NR,67)KTIPD, CAR, DIST
67 FORMAT(I2, 2F10.5)
CALL TIPO(KK, KTIPD, CAR, DIST, AUX1, PD, TS)
66 CONTINUE
64 CONTINUE
62 CONTINUE
WRITE(22, REC=6*IPAIN-5)PD
DO 68 LM=1, M
J1=6*JJ(LM)-5
J2=6*JJ(LM)-4
J3=6*JJ(LM)-3
J4=6*JJ(LM)-2
J5=6*JJ(LM)-1
J6=6*JJ(LM)
K1=6*JK(LM)-5
K2=6*JK(LM)-4
K3=6*JK(LM)-3
K4=6*JK(LM)-2

```



```

      K5=6*JK(LM)-1
      K6=6*JK(LM)
68   CONTINUE
      WRITE(14,REC=6*IPAIN-5)E,G,M,NJ, JJ, JK, AX, IX, IY, IZ, ALFAP, L, CX, CY, CZ
      ADIFN
      WRITE(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIC,NCL,NNCL
      NJ1=6*NJ
      DO 6 I=1,NJ1
      P(I)=0.
      6 CONTINUE
C
C***** LEITURA DAS CARGAS APLICADAS NOS NDS ****
C
      WRITE(NW,29)
29   FORMAT(//,34X,3(' '),1X,'CARGAS APLICADAS NOS NDS',1X,3(' '),//,
      A30X,' ','NJ',' ',16X,' ','A1',' ',16X,' ','A2',' ',16X,' ','A3',
      A' ','8X,' ','A4',' ',8X,' ','A5',' ',8X,' ','A6',' ',//)
      IF(NNC)102,102,104
104  DO 8 I=1,NNC
      READ(NR,31)K,A1,A2,A3,A4,A5,A6
31   FORMAT(I4,6F8.2)
      J1=6*K-5
      J2=6*K-4
      J3=6*K-3
      J4=6*K-2
      J5=6*K-1
      J6=6*K
      F(J1)=A1
      F(J2)=A2
      F(J3)=A3
      F(J4)=A4
      F(J5)=A5
      F(J6)=A6
      WRITE(NW,33)K,A1,A2,A3,A4,A5,A6
33   FORMAT(20X,I4,8X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2,8X,F8.2)
      8 CONTINUE
102  WRITE(NW,35)
35   FORMAT(30X,3(' '),2X,'VETOR DOS ESFORÇOS',2X,3(' '),//)
      CALL REAP(IPAIN,F,NNC,NCC,6)
      DO 70 LR=1,NJ1
      P(LR)=F(LR)-FD(LR)
70   CONTINUE
      DO 12 I=1,NJ1
      WRITE(NW,41)I,P(I)
41   FORMAT(20X,I2,10X,F8.2)
12   CONTINUE
      WRITE(16,REC=6*IPAIN-5)P
      RETURN
      END

```

C  
C \*\*\*\*\* SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE TRANSFORMACAO DE SISTEMAS \*\*  
C  
C

```

SUBROUTINE BETA(IPAIN, ANG, ANG1, ANG2, NCE, NCC, PB, PBB, TS)
INTEGER TS
DIMENSION RB(50,50), PBB(60,60)
COMMON /A/NR, NW
ANG=ANG/57.29578
ANG1=ANG1/57.29578
ANG2=ANG2/57.29578
T1=COS(ANG)
T2=SIN(ANG)
T3=COS(ANG1)
T4=SIN(ANG1)
T5=COS(ANG2)
T6=SIN(ANG2)
IF(TS .EQ. 2)GO TO 9
NCC=NCE
GO TO 15
9 NCC=NCE*1.5
15 DO 3 I=1,NCE
DO 3 J=1,NCC
RB(I,J)=0.
3 RBB(J,I)=0.
M=1
K=3
L1=1
100 L2=L1+1
L3=L2+1
IF(TS .EQ. 2)GO TO 20
LT=L3
GO TO 25
20 LT=L2
25 DO 10 I=L1,LT
J1=M
J2=J1+1
J3=J2+1
IF(TS .EQ. 6)GO TO 40
GO TO 45
40 IF(I .GT. K)GO TO 16
GO TO 17
16 J1=M+3
J2=J1+1
J3=J2+1
L2=L1+4
17 CONTINUE
45 IF(I-L2)11,12,13
11 RB(I,J1)=T5*T3
RB(I,J2)=T6
RB(I,J3)=T5*T4
GO TO 10
12 RB(I,J1)=-T1*T6*T3-T2*T4
RB(I,J2)=T1*T5
RB(I,J3)=-T1*T6*T4+T2*T3

```

```

GO TO 10
13 RB(I,J1)=-T1*T4
   RB(I,J2)=-T2*T5
   RB(I,J3)=T1*T3
10 CONTINUE
   IF(NCE-L2)21,21,22
22 IF(TS .EQ. 2)GO TO 30
   IF(TS .EQ. 6)GO TO 36
   GO TO 35
30 L1=L1+2
   M=M+3
   GO TO 100
36 L1=L1+6
   M=M+6
   K=K+6
   GO TO 100
35 L1=L1+3
   M=M+3
   GO TO 100
21 CONTINUE
   DO 8 I=1,NCE
   DO 8 J=1,NCC
8   RBB(J,I)=RB(I,J)
   WRITE(13,REC=6*IPAIN-5)RB
   RETURN
   END

```

C  
C  
C  
C

\*\*\* SUBROTINA QUE ESPECIFICA O TIPO DE CARREGAMENTO DAS BARRAS

```

SUBROUTINE TIPO(KK,KTIPO,P,DF,C,PO,TS)
REAL ME,MD,NE,ND
INTEGER TS
COMMON /A/NR,NW
DIMENSION PO(80,5)

```

C  
C  
C  
C

\*\*\* CARGA TIPO 5 CARGA CONCENTRADA AO LONGO DA BARRA APLICADA PARA A ESQUERDA

```

IF(KTIPO-5)1,2,1
2  NE=(P*(C-DF))/C
   ND=(P*DF)/C
   PO(KK,1)=PO(KK,1)+NE
   PO(KK,2)=PO(KK,2)+ND
   GO TO 3

```

C  
C  
C

\*\*\* CARGA TIPO 4 CARREGAMENTO TRIANGULAR COMEÇANDO COM ZERO A ESQUERDA

```

1  IF(KTIPO-4)4,5,4
5  ME=(P*(DF**2)*(10*(C**2)-(15*C*DF)+(6*(DF**2))))/(30*(C**2))
   MD=-((P*(DF**3)*(5*C)-(4*DF)))/(20*(C**2))
   NE=(P*DF*(0.5-10*DF/(3*C)))/((ME+MD)/C)
   OD=(P*(DF**2))/(3*C)-((ME+MD)/C)
   GO TO 3

```

C

C \*\*\* CARGA TIPO 3 CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA COMECANDO DA ESQUERDA

C  
 4 IF(KTIPO-3)6,7,6  
 7 ME=(P\*(DF\*\*2)\*(6\*(C\*\*2)-(8\*C\*DF)+13\*(DF\*\*2)))/(12\*(C\*\*2))  
 MD=-((P\*(DF\*\*3)\*(4\*C-(3\*DF)))/(12\*(C\*\*2))  
 QE=(P\*DF\*(1-(DF/(2\*C))))+((ME+MD)/C)  
 QD=(P\*(DF\*\*2)/(2\*C))-((ME+MD)/C)  
 GO TO 3

C  
 C \*\*\* CARGA TIPO 2 CARGA DADA POR UM MOMENTO APLICADO NA BARRA CONSIDERA  
 NDO HORARIO POSITIVO

6 IF(KTIPO-2)3,9,8  
 9 ME=((P\*(C-DF))\*(3\*(C-DF)-(2\*C)))/(C\*\*2)  
 MD=((P\*DF)\*((2\*C)-(3\*DF)))/(C\*\*2)  
 QE=((P-(ME+MD))/C)  
 QD=((P-(ME+MD))/C)  
 GO TO 3

C  
 C \*\*\* CARGA TIPO1 CARGA CONCENTRADA

8 ME=(P\*DF\*(C-DF)\*\*2)/(C\*\*2)  
 MD=-((P\*(DF\*\*2)\*(C-DF))/(C\*\*2)  
 QE=(P\*(1-(DF/C)))+((ME+MD)/C)  
 QD=((P\*DF)/C)-((ME+MD)/C)  
 3 IF(TS .EQ. 4)GO TO 12  
 PO(KK,2)=PO(KK,2)+QE  
 PO(KK,3)=PO(KK,3)+ME  
 PO(KK,5)=PO(KK,5)+QD  
 PO(KK,6)=PO(KK,6)+MD  
 GO TO 10  
 10 IF(TS .EQ. 1)GO TO 11  
 GO TO 30  
 11 PO(KK,1)=PO(KK,2)  
 PO(KK,2)=PO(KK,3)  
 PO(KK,3)=PO(KK,5)  
 PO(KK,4)=PO(KK,6)  
 GO TO 30  
 12 PO(KK,2)=PO(KK,2)+ME  
 PO(KK,3)=PO(KK,3)+QE  
 PO(KK,5)=PO(KK,5)+MD  
 PO(KK,6)=PO(KK,6)+QD  
 30 CONTINUE  
 DO 87 LI=1,5  
 87 WRITE(NW,86)PO(KK,LI)  
 88 FORMAT(5X,F10.2)  
 RETURN  
 END

C  
 C \*\*\*\*\* SUBROTINA QUE MULTIPLICA A MATRIZ BETA TRANSPOSTA \* RJ\*  
 C

SUBROUTINE MULT1(IPAIN,A,NL,NK,3,C)  
 DIMENSION A(60,60),B(60,60),C(60,60)  
 COMMON /A/NR,NW

C  
 DO 5 I=1,NL

```

      DO 5 J=1,NL
5     C(I,J)=0.
      DO 10 I=1,NL
      DO 12 J=1,NK
      L=0
      IF(J .LE. 1)L=1
      IF(J .LE. 1)GO TO 100
100   DO 20 K=1,NK
      L=L+1
      IF(L .GE. J)L=J
      IF(J .EQ. 1)M=K
      IF(J .EQ. 1)GO TO 150
      M=(J+1)-K
      IF(M .LE. 0)M=(K-J)+1
150   C(I,J)=C(I,J)+A(I,K)*B(L,M)
20    CONTINUE
12    CONTINUE
10    CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

C
C *** SUBROTINA QUE MULTIPLICA RM * BETA = RTT
C

```

```

      SUBROUTINE MULT2(IPAIN,B,NL,NK,A,C)
      DIMENSION A(60,60),B(60,60),C(60,60)
      COMMON /A/NR,NW
C

```

```

      DO 5 I=1,NK
      DO 5 J=1,NK
5     C(I,J)=0.
      M=NK
      DO 10 I=1,NK
      L=I
      DO 20 J=1,M
      DO 30 K=1,NL
      C(I,J)=C(I,J)+A(I,K)*B(K,L)
30    CONTINUE
      L=L+1
20    CONTINUE
      IF(I .GE. 0)M=NK-I
10    CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

C
C ***** SUBROTINA PARA MULTIPLICAR UMA MATRIZ POR UM VETOR
C

```

```

      SUBROUTINE PRMVIIPAIN,A,NL,NK,V,P)
      DIMENSION A(60,60),V(80),P(80)
      COMMON /A/NR,NW
      DO 1 I=1,NL
1     P(I)=0.
      DO 2 I=1,NL
      DO 2 J=1,NK
2     P(I)=P(I)+A(I,J)*V(J)
      RETURN

```

END

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

\*\*\* SUBROTINA QUE VOLTA A NUMERACAO DOS NOS \*\*\*

SUBROUTINE VOLTA(I1,FII,NNLIG,NCPN,TS,NB)

INTEGER TS

COMMON /A/NR,NW/B/NRE(15,80)

DIMENSION FII(80),FES(80)

DO 1 I=1,NB

1 FES(I)=FII(I)

DO 15 K=1,NNLIG

IF INRE(I1,K)-1)5,15,5

5 NCR=NCPN\*K

NCR=NCPN\*NRE(I1,K)

DO 10 I=1,NCPN

NN=NC-I+1

NR=NCR-I+1

G=DES(NN)

FES(NN)=FES(NR)

10 FES(NR)=G

15 CONTINUE

GO TO(21,22,23,24,25,26),TS

21 WRITE(NW,51)

51 FORMAT(/,5X,'++ND++',5X,'++TRANSLACAO Y++',5X,'++ ROTACAO Z ++',/)

GO TO 100

22 WRITE(NW,52)

52 FORMAT(/,5X,'++ND++',5X,'++TRANSLACAO X++',5X,'++TRANSLACAO Y ++',/

\*)

GO TO 100

23 WRITE(NW,53)

53 FORMAT(/,5X,'++ND++',5X,'++TRANSLACAO X++',5X,'++TRANSLACAO Y++',5X

\*, '++ ROTACAO Z ++',/)

GO TO 100

24 WRITE(NW,54)

54 FORMAT(/,5X,'++ND++',5X,'++ ROTACAO X++',5X,'++ ROTACAO Y ++',5X,'+

\*+ TRANSLACAO Z ++',/)

GO TO 100

25 WRITE(NW,55)

55 FORMAT(/,5X,'++ND++',5X,'++TRANSLACAO X++',5X,'++TRANSLACAO Y++',5X

\*, '++TRANSLACAO Z ++',/)

GO TO 100

26 WRITE(NW,56)

56 FORMAT(/,5X,'++ND++',5X,'++TRANSLACAO X++',5X,'++TRANSLACAO Y++',5X

\*, '++TRANSLACAO Z ++',5X,'++ROTACAO X++',5X,'++ROTACAO Y++',5X,'++R

\*OTACAO Z++',/)

GO TO 100

100 CONTINUE

GO TO (101,102,103,104,105,106),TS

101 DO 60 K=1,NB

60 WRITE(NW,61)K,FES(2\*K-1),FES(2\*K)

61 FORMAT(5X,I3,5X,G12.6,5X,G12.6)

GO TO 200

102 DO 70 K=1,NB

```

70 WRITE(NW,71)K,FES(2*K-1),FES(2*K)
71 FORMAT(5X,I3,5X,G12.6,5X,G12.6)
GO TO 200
103 DO 72 K=1,NB
72 WRITE(NW,73)K,FES(3*K-2),FES(2*K-1),FES(3*K)
73 FORMAT(5X,I3,5X,G12.6,5X,G12.6,5X,G12.6)
GO TO 200
104 DO 74 K=1,NB
74 WRITE(NW,75)K,FES(3*K-2),FES(2*K-1),FES(3*K)
75 FORMAT(5X,I3,5X,G12.6,5X,G12.6,5X,G12.6)
GO TO 200
105 DO 76 K=1,NB
76 WRITE(NW,77)K,FES(3*K-2),FES(2*K-1),FES(3*K)
77 FORMAT(5X,I3,5X,G12.6,5X,G12.6,5X,G12.6)
106 DO 78 K=1,NB
78 WRITE(NW,79)K,FES(6*K-5),FES(6*K-4),FES(6*K-3),FES(6*K-2),FES(6*K-
*)
79 FORMAT(5X,I3,5X,G10.6,5X,G10.6,5X,G10.6,5X,G10.6,5X,G10.6,5X,G10.6
*)
200 CONTINUE
RETURN
END

```

C

C

C\*\*\*\*\* SUBROTINA QUE REARRANJA A NUMERACAO DOS NJS\*\*\*

C

```

SUBROUTINE REARR(I1,NNLIG,NOL,NJ)
COMMON /B/NRE(15,30)
DIMENSION NOL(20)

```

C

```

NI=NJ-NNLIG
DO 10 I=1,NJ
10 NRE(I1,I)=I
IF(NI-1)15,13,13
13 CONTINUE
DO 30 I=1,NNLIG
J=NI+I
K=NOL(I)
M=NRE(I1,J)
NRE(I1,J)=NRE(I1,K)
NRE(I1,K)=M
30 NOL(I)=M
15 RETURN
END

```

C

C\*\*\*\*\* SUBROTINA QUE REARRANJA AS CARGAS

C

```

SUBROUTINE REAP(I1,F,NNC,NOC,NCPN)
COMMON /B/NRE(15,80)
DIMENSION F(30),NOC(20)

```

C

```

DO 15 K=1,NNC
M=NOC(K)
MM=NRE(I1,M)
NC=NCPN*M

```

```

NCR=NCPN*MM
DO 10 I=1,NCPN
NN=NC-I+1
NR=NCR-I+1
G=F(NN)
F(NN)=F(NR)
10 F(NR)=G
15 CONTINUE
RETURN
END

```

C  
C  
C  
C  
C  
C  
C  
C  
C  
C

\*\*\*\*\*  
PROGRAMA PRINCIPAL \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

C  
C  
C

```

REAL CL(60),CIX(50),CIY(50),CIZ(60)
INTEGER TS,T(15),TE
INTEGER NS,NNDS,NNA,NNLIG,NNLES,BAND,DIFN,BAND1
COMMON /A/NR,NW/B/NRE(15,80)/C/BANDA(15)/D/NCUU(15)
DIMENSION RJ(50,60),RS(80,80),RJD(60,60),RN(60,60),RT(60,60),CX(60
*),CY(60),CZ(60),AX(60),JJ(60),JK(60),ALFAP(20),RB(60,60),RBB(60,60
*),FII(80),RJ(80),JU(80),DB(80),RM(60,60),RTT(60,60),RNT(60,60)
DIMENSION X(40),Y(40),Z(40),NC(20),NNGL(20),F(80),NCPN(6),PII(80),
*PE(80),PEI(80),P(80),PIRJT(80),FBB(80),NCCA(6),PP(80),PBS(80)
DIMENSION PS(80),FB(80),U(80),NNL(20),FI(80),D(80),NQL(20),UU(80),
*BETAP(20),L1(6),ICON(6),ICONH(80),NEBC(40),CI(15),RECLQ(20)
DIMENSION PEX(80)

```

C

```

OPEN(UNIT=1,STATUS='OLD',FILE='DADO',ACCESS='SEQUENTIAL',
*FORM='FORMATTED')

```

C

```

OPEN(UNIT=13,STATUS='OLD',FILE='ARQ13',ACCESS='DIRECT',RECL=20000)

```

C

```

OPEN(UNIT=14,STATUS='OLD',FILE='ARQ14',ACCESS='DIRECT',RECL=20000)

```

C

```

OPEN(UNIT=15,STATUS='OLD',FILE='ARQ15',ACCESS='DIRECT',RECL=20000)

```

C

```

OPEN(UNIT=16,STATUS='OLD',FILE='ARQ16',ACCESS='DIRECT',RECL=10000)

```

C

```

OPEN(UNIT=17,STATUS='OLD',FILE='ARQ17',ACCESS='DIRECT',RECL=10000)

```

C

```

OPEN(UNIT=18,STATUS='OLD',FILE='ARQ18',ACCESS='DIRECT',RECL=20000)

```

C

```

OPEN(UNIT=19,STATUS='OLD',FILE='ARQ19',ACCESS='DIRECT',RECL=1000)

```

C

```

OPEN(UNIT=20,STATUS='OLD',FILE='ARQ20',ACCESS='DIRECT',RECL=1000)

```

C

```

OPEN(UNIT=22,STATUS='OLD',FILE='ARQ22',ACCESS='DIRECT',RECL=10000)

```

C



NR=1  
NW=3

C  
C  
C  
C

\*\*\*\*\* CARACTERISTICAS DA ESTRUTURA\*\*\*\*\*

```

WRITE(NW,100)
100 FORMAT(17X,3(' '),2X,'NUMERO DE SUBESTRUTURAS',2X,3(' '),17X,3(' '
A),2X,'NUMERO DE NOS',2X,3(' '),7X,3(' '),2X,'TIPO DE ESTRUTURA',2X
A3(' '),//,31X,'+', 'NS', '+',15X,'+', 'NNOS', '+',15X,'+', 'TE', '+',//)
READ(NR,102)NS,NNOS,TE
102 FORMAT(3I3)
WRITE(NW,104)NS,NNOS,TE
104 FORMAT(31X,I3,15X,I3,15X,I3,/)
WRITE(NW,106)
106 FORMAT(30X,3(' '),2X,'TIPO DE SUBESTRUTURA',2X,3(' '),/)
READ(NR,108)(T(I),I=1,NS)
108 FORMAT(30I1)
WRITE(NW,109)(T(I),I=1,NS)
109 FORMAT(20X,'I=',I1)

```

C  
C  
C

\*\*\*\*\* LEITURA DOS NOS DE APOIOS E RESTRICOES \*\*\*\*\*

```

WRITE(NW,101)
101 FORMAT(30X,3(' '),2X,'NUMERO DE NOS DE APOIO',2X,3(' '),/)
READ(NR,115)NNA
116 FORMAT(40I2)
WRITE(NW,115)NNA
115 FORMAT(/,35X,'NNA=',I2)
WRITE(NW,112)
112 FORMAT(/,20X,3(' '),2X,'NO DE APOIO',2X,3(' '),15X,3(' '),2X,'RES
*TRICGES',2X,3(' '),/)
IEND=0.
DO 501 K=1,NNA
IF(TE-3)50,50,51
50 NT=3
READ(NR,52)NC(K),(L1(I),I=1,NT),(ICON(I),I=1,NT)
52 FORMAT(7I3)
WRITE(NW,53)NC(K),(L1(I),I=1,NT),(ICON(I),I=1,NT)
53 FORMAT(/,25X,I3,13X,I3,5X,I3,5X,I3,5X,I3,5X,I3)
GO TO 54
51 NT=6
READ(NR,55)NC(K),(L1(I),I=1,NT),(ICON(I),I=1,NT)
55 FORMAT(13I3)
WRITE(NW,1313)NC(K),(L1(I),I=1,NT),(ICON(I),I=1,NT)
1313 FORMAT(/,16X,I3,5X,I3,3X,I3,3X,I3,3X,I3,3X,I3,3X,I3,3X,I3,3X
*,I3,3X,I3,3X,I3,3X,I3)
54 CONTINUE
DO 501 I=1,NT
IF(L1(I))501,501,56
56 M1=NT*(NC(K)-1)+I
IEND=IEND+1
ICONH(M1)=ICON(I)
NEBC(IEND)=M1
501 CONTINUE

```

NEQBC=IEND

C

C\*\*\*\*\* LEITURA DOS NOS CARREGADOS DA ESTRUTURA \*\*\*\*

C

```

      READ(NR,115)NNC
      WRITE(NW,113)NNC
118  FORMAT(/,15X,'NUMERO DE NOS CARREGADOS DA ESTRUTURA=',I3,/)
      IF(TE-6)502,503,503
502  IN=3*NNLES
      GO TO 504
503  IN=6*NNLES
504  CONTINUE
      DO 520 I=1,IN
          F(I)=0.
520  CONTINUE
      WRITE(NW,122)
122  FORMAT(20X,6(' '),1X,'ACOES APLICADAS NOS NOS',1X,3(' '),//,5X,'*
      *', 'NO', ' ',4X, ' ', 'FORCA X', ' ',4X, ' ', 'FORCA Y', ' ',4X, ' ', 'FORCA
      * Z', ' ',4X, ' ', 'MOMENTO X', ' ',4X, ' ', 'MOMENTO Y', ' ',4X, ' ', 'MOME
      *NTO Z', ' ',//)
      IF(NNC)507,503,507
507  DO 530 I=1,NNC
      READ(NR,124)K,A1,A2,A3,A4,A5,A6
124  FORMAT(I2,6F8.2)
      WRITE(NW,126)K,A1,A2,A3,A4,A5,A6
126  FORMAT(10X,I2,5X,F8.2,5X,F8.2,5X,F8.2,5X,F8.2,5X,F8.2,5X,F8.2)
508  CONTINUE
      IF(TE-6)505,506,506
505  L11=2*K-2
      F(L11)=A1
      F(L11+1)=A2
      F(L11+2)=A6
      GO TO 530
506  L11=6*K-2
      F(L11)=A1
      F(L11+1)=A2
      F(L11+2)=A3
      F(L11+3)=A4
      F(L11+4)=A5
      F(L11+5)=A6
530  CONTINUE
      WRITE(NW,128)
128  FORMAT(/,20X,' ', 'VETOR DAS CARGAS', ' ',/,5X,' ', 'COORDENADA',
      *', ' ',6X, 'CARGA X',7X, 'CARGA Y',7X, 'CARGA Z',/)
      DO 535 I=1,NNLES
          IF(TE-6)1231,1232,1232
1231  WRITE(NW,130)I,F(3*I-2),F(3*I-1),F(3*I)
130  FORMAT(9X,I3,3X,F7.2,8X,F7.2,8X,F7.2)
          GO TO 535
1232  WRITE(NW,1233)I,F(6*I-5),F(6*I-4),F(6*I-3),F(6*I-2),F(6*I-1),F(6*I
      *)
1233  FORMAT(/,4X,I3,5X,F7.2,5X,F7.2,5X,F7.2,5X,F7.2,5X,F7.2,5X,F7.2)
535  CONTINUE
      DO 534 I=1,IN
          DO 534 J=1,IN

```

```

      RS(I,J)=0.
534  CONTINUE
      DO 536 I=1,IN
      PS(I)=0.
      FB(I)=0.
      U(I)=0.
      PBS(I)=0.
536  CONTINUE
      DO 1000 I=1,NS

```

C

C\*\*\*\*\* LEITURA DOS NOS DE LIGACAO DA ESTRUTURA \*\*\*\*

C

```

      READ(NR,115)NNLIG,(NNOL(J),J=1,NNLIG)
      WRITE(NW,996)NNLIG
996  FORMAT(/,15X,'NNLIG=',I2)
      WRITE(NW,150)
150  FORMAT(/,27X,'VETOR NNOL',/)
      DO 511 J=1,NNLIG
      WRITE(NW,119)J,NNOL(J)
119  FORMAT(/,20X,'J=',I2,5X,'NNOL=',I2,/)
511  CONTINUE

```

C

C\*\*\*\*\* LEITURA DOS ANGULOS DA ESTRUTURA COM A SUBESTRUTURA \*\*\*\*

C

```

512  READ(NR,125)ANG,ANG1,ANG2
125  FORMAT(3F6.2)

```

C \*\*\*\* ANG = ANGULO ALFA

C \*\*\*\* ANG1=ANGULO BETA

C \*\*\*\* ANG2=ANGULO TETA-

C

```

      WRITE(NW,132)ANG,ANG1,ANG2
132  FORMAT(/,15X,'ANG=',F6.2,10X,'ANG1=',F6.2,10X,'ANG2=',F6.2)
      TS=T(I)
      GO TO (1,2,3,4,5,6),TS
1  CALL SUB1(I,NNLIG,NNOL,TS)
      GO TO 537
2  CALL SUB2(I,NNLIG,NNOL,TS)
      GO TO 537
3  CALL SUB3(I,NNLIG,NNOL,TS)
      GO TO 537
4  CALL SUB4(I,NNLIG,NNOL,TS)
      GO TO 537
5  CALL SUB5(I,NNLIG,NNOL,TS)
      GO TO 537
6  CALL SUB6(I,NNLIG,NNOL,TS)
      GO TO 537
537  TS=T(I)
      GO TO (7,8,9,10,11,12),TS
7  CALL MRSU1(I,NNLIG,NJ,RJ)
      GO TO 538
8  CALL MRSU2(I,NNLIG,NJ,RJ)
      GO TO 538
9  CALL MRSU3(I,NNLIG,NJ,RJ)
      GO TO 538
10  CALL MRSU4(I,NNLIG,NJ,RJ)

```

```

GO TO 538
11 CALL MRSU5(I,NNLIG,NJ,RJ)
GO TO 538
12 CALL MRSU6(I,NNLIG,NJ,RJ)
GO TO 538
538 TS=T(I)
GO TO (13,13,14,14,14,15),TS
13 NCPN(I)=2
GO TO 539
14 NCPN(I)=3
GO TO 539
15 NCPN(I)=6
GO TO 539
539 NCPA=NCPN(I)
BAND1=BANDA(I)
NCI=(NJ-NNLIG)*NCPA
NB=NJ*NCPA
NCE=NB-NCI

```

```

C
C**** DESMEMBRANDO O VETOR DAS ACOES -P- EM ACOES INTERNAS PII E ACOES E
C PEI
C

```

```

READ(16,REC=6*I-5)P
IF(NCI)540,541,540
540 KX=1
MA=NCI+1
DO 542 LP=MA,NB
PEI(KX)=P(LP)
KX=KX+1
542 CONTINUE
CALL FAIXA(I,RJ,BAND1,NB,NCI,NCE,P,FI,D)

```

```

C
C**** CALCULO DA CONTRIBUICAC DAS CARGAS INTERNAS NO VETOR DE CARGAS
C

```

```

CALL SEP(I,RJ,BAND1,NB,RNT,RN,NCI,NCE)
NCU1=NCU(I)
CALL PRMV(I,RN,NCU1,NCI,FI,FBB)
GO TO 543
541 CONTINUE
DO 544 LB=1,NCE
544 PEI(LB)=P(LB)
543 CONTINUE
IF(NCE-BAND1)16,16,17
16 M=NCE
GO TO 545
17 M=BAND1
545 CONTINUE
DO 550 K=1,NCE
LI=NCI+K
DO 551 J=1,M
551 RJ(K,J)=PJ(LI,J)
550 CONTINUE
TS=T(I)
CALL BETA(I,ANG,ANG1,ANG2,NCE,NCC,RB,RBB,TS)
IF(NCI)552,553,552

```

```

552 CALL MULT1(I,RBB,NCC,NCE,RJ,RM)
    CALL MULT2(I,RB,NCE,NCC,RM,RTT)
    CALL PRMV(I,RBB,NCC,NCE,FBB,PP)
    IF(ITE-6)901,902,902
901 CALL FBSIP(I,PP,PS,NNLES)
    GO TO 557
902 CALL FBSIE(I,PP,PS,NCPA,NNLES)
    GO TO 557
553 CALL MULT1(I,RBD,NCC,NCE,RJ,RM)
    CALL MULT2(I,RB,NCE,NCC,RM,RTT)
557 CONTINUE
    CALL PRMV (I,RBB,NCC,NCE,PEI,PEX)
    IF(ITE-6)24,25,25
24 CALL MRSIP(I,RTT,NCC,RS,NNLES)
C
C *** CALCULO DA CONTRIBUICAO DAS CARGAS INTERNAS NO VETOR DE CARGAS
C
    CALL FBSIP(I,PEX,PBS,NNLES)
    GO TO 1000
25 CALL MRSIE(I,RTT,NCC,RS,NCPA,NNLES)
    CALL FBSIE(I,PP,PBS,NCPA,NNLES)
1000 CONTINUE
C
C *** CALCULO DO VETOR FB DA ESTRUTURA-CONTRIBUICAO DE PEI EM F(I)
C
    DO 560 I=1,IN
560 F(I)=F(I)+PBS(I)
C
C *** CALCULO DO VETOR FB* DA ESTRUTURA - CONTRIBUICAO DE P EM F -
C
    DO 580 I=1,IN
580 FB(I)=F(I)-PS(I)
C
C *** CALCULO DO DESLOCAMENTO DE BORDA -UB- DA ESTRUTURA
C
    BAND=IN
C
C *** IMPOSICAO DAS CONDICÕES DE CONTORNO
C
    MM=BAND
    DO 743 J=1,NEQBC
    N=NEBC(J)
    N2=N-1
C
C *** N2--NÚMERO DA ÚLTIMA EQ. IMEDIATAMENTE ANTES DE N-RS(,)=0.
C
    IF(ICONH(IN))745,745,750
745 IF(N-MM)755,755,760
755 IF(N-1)765,765,770
770 DO 775 LF=1,N2
    K=N-LF+1
775 RS(LF,K)=0.
    GO TO 765
C
C *** NUMERO DA LINHA ONDE HAVERA IMPOSICAO DE RS(,)=0.

```

```

C
760 N1=N-MM+1
    DO 780 LF=N1,N2
      K=N-LF+1
780 RS(LF,K)=0.
765 RS(N,1)=1.
      FB(N)=0.
      DO 785 LF=2,MM
785 RS(N,LF)=0.
      GO TO 743
750 CI(N)=RS(N,1)*10.**20
      FB(N)=RECLQ(N)*CI(N)
743 CONTINUE
      CALL GFAIX(RS,BAND,IN,FB)
      DO 585 I=1,IN
585 U(I)=FB(I)
      WRITE(NW,154)
154 FORMAT(/,20X,'VETOR DESLOCAMENTO DA ESTRUTURA',//,7X,'ND',7X,'DESL',
  *X',9X,'DESL.Y',9X,'DESL.Z',/)
      IF(ITE-6)7781,7782,7782
7781 WRITE(NW,155)(I,U(3*I-2),U(3*I-1),U(3*I),I=1,NNLES)
156 FORMAT(/,5X,'C=',I2,5X,G12.6,5X,G12.6,5X,G12.6)
      GO TO 7783
7782 WRITE(NW,7784)(I,U(6*I-5),U(6*I-4),U(6*I-3),U(6*I-2),U(6*I-1),U(6*
  *I),I=1,NNLES)
7784 FORMAT(/,5X,'C=',I2,5X,G12.6,5X,G12.6,5X,G12.6,5X,G12.6,5X,G12.6,5
  *X,G12.6)
7783 CONTINUE

```

```

C
C *** CALCULO DOS ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS DAS SUBESTRUTURAS
C

```

```

    DO 2000 I=1,NS
      WRITE(NW,153)I
158 FORMAT(/,10X,'ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS DA SUBESTRUTURA=',I3,/)

```

```

C
C ***** DESLOCAMENTOS EXTERNOS (BORDA) *****
C

```

```

    TS=T(I)
    GO TO (26,26,27,27,27,28),TS
26 NCPN(I)=2
    GO TO 590
27 NCPN(I)=3
    GO TO 590
28 NCPN(I)=6
    GO TO 590
590 NCPA=NCPN(I)
    READ(17,REC=6*I-5)NNLIG
    TS=T(I)
    GO TO (29,30,31,32,33,34),TS
29 READ(14,REC=6*I-5)E,M,CIZ,NNLIG,NOL,NNOL
    GO TO 591
30 READ(14,REC=6*I-5)E,M,NJ,JJ,JK,AX,CL,CX,CY,DIFN
    GO TO 591
31 READ(14,REC=6*I-5)E,M,NJ,JJ,JK,AX,CIZ,CL,CX,CY,DIFN
    GO TO 591

```

```

32  READ(14,REC=6*I-5)E,G,M,NJ,JJ,JK,CIX,CIY,CL,CX,CY,DIFN
    GO TO 591
33  READ(14,REC=6*I-5)E,M,NJ,JJ,JK,AX,CL,CX,CY,CZ,DIFN
    GO TO 591
34  READ(14,REC=6*I-5)E,G,M,NJ,JJ,JK,AX,CIX,CIY,CIZ,ALFAP,CL,CX,CY,CZ,
    *DIFN
    GO TO 591
591  CONTINUE
    NCE=NNLIG*NCPA
    TS=T(I)
    GO TO (35,35,36,36,36,36),TS
35  NCCA(I)=NCE*1.5
    GO TO 592
36  NCCA(I)=NCE
    GO TO 592
592  NCC=NCCA(I)
    IF(TE-6)37,38,38
37  CALL DEBSP(I,U,UJ,DU,RB,NCE,NCC)
    GO TO 593
38  CALL DEBSE(I,U,UJ,DU,RB,NCPA,NCE,NCC)
    GO TO 593
    NCI=(NJ-NNLIG)*NCPA
    NB=NJ*NCPA
    BAND1=BANDA(I)
    IF(NCI)595,596,595
595  CALL MAD1(I,FI,D,NCI)
    READ(18,REC=6*I-5)RJ
    DO 597 J=1,NCI
    XAUX=RJ(J,1)
    DO 598 K=1,BAND1
    RJ(J,K)=RJ(J,K)/XAUX
598  CONTINUE
597  CONTINUE
    DO 599 K=1,40
    DO 599 J=1,40
599  RT(K,J)=0.
    READ(15,REC=6*I-5)RNT
    NCU1=NCUU(I)
    CALL PRMV(I,RNT,NCI,NCU1,DU,RU)
    DO 609 K=1,NB
609  FII(K)=0.
    DO 610 K=1,NCI
610  FII(K)=FI(K)-RU(K)
    DO 611 K=1,NCI
611  WRITE(NW,2225)K,FII(K)
2225  FORMAT(/,'K=',I2,5X,'FII=',G12.6)
    NCCI=NCI
    DO 612 K=1,NCI
    IF(NCCI.GT. BAND1)GO TO 613
    KAUX=NCI-K+1
    GO TO 614
613  KAUX=BAND1
    NCCI=NCI-K
    GO TO 614
614  DO 615 J=1,KAUX

```

```

      RT(K,J)=RJ(K,J)
615 CONTINUE
612 CONTINUE
      CALL GAUS3(I,RT,NCCI,NCI,FII)
      DO 623 K=1,NCI
623   FII(K)=FII(K)
C
C *** DESLOCAMENTOS INTERNOS DAS SUBESTRUTURAS
C
      DO 630 K=NCI+1,NB
      LM=K-NCI
630   FII(K)=DU(LM)
      GO TO 600
      596 CONTINUE
      DO 601 K=1,NB
601   FII(K)=DU(K)
600   WRITE(NW,5000)I
5000  FORMAT(/,10X,'DESLOCAMENTO NOS NOS DA SUBESTRUTURA=',I3)
      CALL VOLTA(I,FII,NNLIG,NCPA)
      CALL DESFS(I,FII,NB,DB,TS)
2000  CONTINUE
      CALL EXIT
      END
C
C
C*****SUBROTINA QUE TRIANGULARIZA A MATRIZ DE RIGIDEZ RJ E CALCULA O VET
C TOR FB* E FI* DAS SUBESTRUTURAS
C
      SUBROUTINE FAIXA(IPAIN,RJ,BAND1,NB,NCI,NCE,P,FI,D)
C
C *** DADOS DE ENTRADA ***
C IPAIN=NUMERO DA SUBESTRUTURA
C RJ=MATRIZ DE RIGIDEZ DA SUBESTRUTURA
C P=VETOR DOS ESFORÇOS DAS SUBESTRUTURAS
C NB=ORDEM DA MATRIZ E DO VETOR
C BANDA=LARGURA DA MATRIZ
C NCI=NUMERO DE COORDENADAS INTERNAS DAS SUBESTRUTURAS
C
C *** DADOS DE SAIDA ***
C RJ=MATRIZ TRIANGULARIZADA DA SUBESTRUTURA CONTENDO AS SUBMATRIZES
C D,K*,RNT,LT
C P=VETOR DOS ESFORÇOS DAS SUBESTRUTURAS CONTENDO FI* E FB*
C FI* E ARQUIVADO EM DISCO
C D=MATRIZ D EM FORMA DE VETOR,ARMAZENADA EM DISCO
      INTEGER BAND1
      DIMENSION RJ(60,60),P(80),FI(80),D(80)
      COMMON /A/NR,NW/C/BANDA(15)
C
C **** FASE DE TRIANGULARIZACAO
C
      BAND1=BANDA(IPAIN)
      DO 20 L=1,NCI
      I1=L+BAND1-1
      IF(I1.GT.NB)I1=NB
C *** TESTE DE ESTABILIDADE NUMERICA

```



```

      IF (ABS(RJ(L,1)) .GE. 0.1E-20) GO TO 3
      GO TO 4
4     WRITE(NW,2)
2     FORMAT(/,5X,'SUBROTINA NAO ADEQUADA PARA A RESOLUCAO DO SISTEMA
ADE EQUACOES',/)
      GO TO 100
3     LL=L+1
      DO 20 I=LL,I1
      AUX=RJ(L,I-L+1)/RJ(L,1)
      I2=NB-I+1
      I3=L+BAND1-I
      IF(I3 .GT. I2) I3=I2
      DO 15 J=1,I3
15    RJ(I,J)=RJ(I,J)-AUX*RJ(L,J-L+1)
20    P(I)=P(I)-AUX*P(L)
C
C *** FASE DE SUBSTITUICAO - SAI FI* E FB* DAS SUBESTRUTURAS
C
      WRITE(19,REC=6*IPAIN-5)RJ
      DO 30 I=1,NCI
30    D(I)=0.
      DO 35 J=1,NCI
      D(J)=RJ(J,1)
35    CONTINUE
      WRITE(19,REC=6*IPAIN-5)D
      DO 45 I=1,NCI
45    FI(I)=P(I)
      WRITE(20,REC=6*IPAIN-5)FI
100   CONTINUE
      RETURN
      END
C
C
C *** SUBROTINA PARA RESOLVER UM SIISTEMA DE EQUACOES NO QUAL A MATRIZ
C DOS COEFICIENTES E DIAGONAL -CALCULO DE DELTAI*=(D)**-1*(FI*) -
C
      SUBROUTINE MADI(IPAIN,FI,D,NCI)
      DIMENSION FI(80),D(80)
      COMMON /A/NR,NW
C
      READ(19,REC=6*IPAIN-5)D
      READ(20,REC=6*IPAIN-5)FI
      DO 10 I=1,NCI
      FI(I)=FI(I)/D(I)
10    CONTINUE
      RETURN
      END
C
C
C *** SUBROTINA PARA RESOLUCAO PELO METODO DE GAUSS DE SISTEMA DE EQUACC
C ES COM A MATRIZ DOS COEFICIENTES ARMazenADA EM BANDA ***
C
      SUBROUTINE GFAIX(RS,BAND,IN,FB)
C *** DADOS DE ENTRADA ***
C     RS=MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA=K*

```

```

C   FB=VETOR DOS ESFORÇOS DA ESTRUTURA=FB*
C   IN=ORDEM DA MATRIZ E DO VETOR-IN=3*NNLES OU IN=6*NNLES
C   BANDA=LARGURA DA MATRIZ
C
C *** DADOS DE SAIDA ***
C   O VETOR DESLOCAMENTO UB* OCUPA A MESMA POSICAO DE MEMORIA DO VETOR
C   DOS ESFORÇOS FB*
C   INTEGER BAND
C   DIMENSION RS(80,80),FB(80)
C   COMMON /A/NR,NW
C
C **** FASE DE TRIANGULARIZACAO
C
C   NB=IN
C   NB1=NB-1
C   DO 20 L=1,NB1
C   I1=L+BAND-1
C   IF(I1 .GT. NB) I1=NB
C *** TESTE DE ESTABILIDADE NUMERICA
C   IF(ABS(RS(L,1)) .GE. 0.1E-20) GO TO 3
C   4 WRITE(NW,2)
C   2 FORMAT(/,5X,'SUBROTINA NAO ADEQUADA PARA A RESOLUCAO DO SISTEMA
C   A DE EQUACCOES',/)
C   GO TO 100
C   3 LL=L+1
C   DO 20 I=LL,I1
C   AUX=RS(L,I-L+1)/RS(L,1)
C   I2=NB-I+1
C   I3=L+BAND-I
C   IF(I3 .GT. I2) I3=I2
C   DO 15 J=1,I3
C   15 RS(I,J)=RS(I,J)-AUX*RS(L,J-L+1)
C
C *** FASE DE SUBSTITUICAO ***
C
C   20 FB(I)=FB(I)-AUX*FB(L)
C
C *** TESTE DE SINGULARIDADE DO SISTEMA ***
C
C   IF(ABS(RS(NB,1)) .LT. 0.1E-20) GO TO 4
C
C *** FASE DE RETROSUBSTITUICAO
C
C   DO 60 J=1,1
C   60 FB(NB)=FB(NB)/RS(NB,1)
C   NB2=NB-1
C   DO 75 I1=1,NB2
C   I=NB-I1
C   AUX=FB(I)
C   DO 75 J=1,1
C   I2=I+BAND-1
C   IF(I2 .GT. NB) I2=NB
C   KK=I+1
C   DO 70 K=KK,I2
C   70 AUX=AUX-RS(I,K-I+1)*FB(K)

```

```

75  FB(I)=AUX/RS(I,1)
100 CONTINUE
    RETURN
    END

C
C
C
C**** SUBROTINA QUE TIRA AS SUBMATRIZES (L) TRANSPOSTA E (RN) TRANSPOSTA DA
C      MATRIZ DE RIGIDEZ TRIANGULARIZADA DAS SUBESTRUTURAS
C
SUBROUTINE SEP(IPAIN,RJ,BAND1,N3,RNT,RN,NCI,NCE)
INTEGER BAND1
COMMON /A/NR,NW/C/BANDA(15)/D/NCUU(15)
DIMENSION RJ(60,60),RN(60,60),RNT(60,60)

C
BAND1=BAND0A(IPAIN)
READ(18,REC=6*IPAIN-5)RJ
DO 10 L=1,50
DO 10 K=1,50
RN(L,K)=0.
10  RNT(L,K)=0.
C  DIVIDINDO AS LINHAS NCI DA MATRIZ RJ PELO PRIMEIRO ELEMENTO
DO 15 L=1,NCI
XAUX=RJ(L,1)
DO 20 K=1,BAND1
RJ(L,K)=RJ(L,K)/XAUX
20  CONTINUE
15  CONTINUE
C  OBTENDO A SUBMATRIZ RN
NX=NCI-BAND1
IF(NX)12,17,17
12  NCL=1
    GO TO 16
17  NCL=NX+2
16  CONTINUE
    NCU=ABS(BAND1-(NCI+1))
    NCK=NCI+1
    IF(NCL.GT.1)NCK=BAND1
    IF(NCL.GT.1)NCU=0.
    DO 35 I=NCL,NCI
    NCU=NCU+1
    IF(NCU.GT.NCE)NCU=NCE
    DO 40 J=1,NCU
    RNT(I,J)=RJ(I,NCK)
40  NCK=NCK+1
    NCK=NCK-(NCU+1)
35  CONTINUE
C ***** MATRIZ RNT GUARDADA EM DISCO
WRITE(15,REC=6*IPAIN-5)RNT
NCUU(IPAIN)=NCU
NCUI=NCUU(IPAIN)
C ***** OBTENDO A SUBMATRIZ RN
DO 45 I=1,NCI
DO 45 J=1,NCU
45  RN(J,I)=RNT(I,J)

RETURN
END

```

```

C
C
C *** SUBROTINA GAUSS3 - PARA DETERMINAR O DESLOCAMENTO INTERNO DAS SUB-
C   ESTRUTURAS .
C
C   SUBROUTINE GAUSS3(IPAIN,RT,NCCI,NCI,FII)
C
C *** DADOS DE ENTRADA ***
C   RT=MATRIZ LT
C   FII=VETOR RESULTANTE DA OPERACAO(FI*-RNT*DELTA3)
C   NCI=ORDEM DO VETOR FII E DE LT
C   NCCI E BANDA=ORDEM DA MATRIZ LT
C
C *** DADOS DE SAIDA ***
C   SAI O VETOR JI* QUE E O VETOR DOS ESFORCOS INTERNOS DAS SUBESTRU-
C   TURAS OCUPANDO A MESMA POSICAO DE MEMORIA DO VETOR FII
C
C   INTEGER BAND1
C   COMMON /A/NR,NW/C/BANDA(15)
C   DIMENSION RT(60,60),FII(80)
C
C   BAND1=BANDA(IPAIN)
C *** FASE DE RETROSUBSTITUICAO
C   NB=NCI
C   FII(NB)=FII(NB)/RT(NB,1)
C   NB2=NB-1
C   DO 20 I1=1,NB2
C     I=NB-I1
C     AUX=FII(I)
C     DO 20 J=1,1
C       I2=I+NCCI-1
C       IF(I2.GT. NB) I2=NB
C       KK=I+1
C       DO 30 K=KK,I2
C         AUX=AUX-RT(I,K-I+1)*FII(K)
C       FII(I)=AUX/RT(I,1)
C 20 CONTINUE
C   RETURN
C   END
C
C
C *** SUBROTINA QUE CALCULA OS ESFORCOS INTERNOS DAS SUBESTRUTURAS ***
C
C   SUBROUTINE DESFS(IPAIN,FII,NCI,DB,TS)
C   INTEGER TS,DIFN,NNLIG
C   COMMON /A/NR,NW/B/NRE(15,80)
C   DIMENSION FII(80),JJ(60),JK(60),AX(60),CX(60),CY(60),CZ(60),DB(80)
C   DIMENSION NNGL(20),NOL(20),PC(60,6),CL(60),CIZ(60),CIX(60),CIY(60)
C   DIMENSION EB(30),R(78)
C
C   READ(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG,NOL,NNOL
C   DO 40 I=1,6
C 40 DB(I)=0.

```

```

      GO TO (1,2,3,4,5,6),TS
1    READ(14,REC=6*IPAIN-5)E,M,CIZ,NNLIG,NCL,NNCL
      GO TO 100
2    READ(14,REC=6*IPAIN-5)E,M,NJ,JJ,JK,AX,CL,CX,CY,DIFN
      GO TO 100
3    READ(14,REC=6*IPAIN-5)E,M,NJ,JJ,JK,AX,CIZ,CL,CX,CY,DIFN
      GO TO 100
4    READ(14,REC=6*IPAIN-5)E,G,M,NJ,JJ,JK,CIX,CIY,CL,CX,CY,DIFN
      GO TO 100
5    READ(14,REC=6*IPAIN-5)E,M,NJ,JJ,JK,AX,CL,CX,CY,CZ,DIFN
      GO TO 100
6    READ(14,REC=6*IPAIN-5)E,G,M,NJ,JJ,JK,AX,CIX,CIY,CIZ,ALFAP,CL,CX,CY
      *CZ,DIFN
      GO TO 100
100  CONTINUE
      READ(22,REC=6*IPAIN-5)PG
      WRITE(NW,24)
24   FORMAT(/,10X,'***** ESFORÇOS INTERNOS NAS BARRAS DA SUBESTRUTURA
      * ****',/)
      GO TO (7,8,9,10,11,12),TS
7    WRITE(NW,51)
51   FORMAT(/,5X,'++ BARRA ++',5X,'++ FORÇA CORTANTE ++',5X,'++ MOMENTO
      * FLETOR ++',/)
      GO TO 110
8    WRITE(NW,52)
52   FORMAT(5X,'++ BARRA ++',5X,'++ FORÇA NORMAL ++',5X,'++ FORÇA CORTA
      *NTE ++',/)
      GO TO 110
9    WRITE(NW,53)
53   FORMAT(/,5X,'++ BARRA ++',5X,'++ FORÇA NORMAL ++',5X,'++ FORÇA COR
      *TANTE ++',5X,'++ MOMENTO FLETOR ++',/)
      GO TO 110
10   WRITE(NW,54)
54   FORMAT(/,5X,'++ BARRA ++',5X,'++ MOMENTO TORCOR ++',5X,'++ MOMENTO
      * FLETOR ++',5X,'++ FORÇA CORTANTE ++',/)
      GO TO 110
11   WRITE(NW,55)
55   FORMAT(/,5X,'++ BARRA ++',5X,'++ FORÇA NORMAL ++',5X,'++ FORÇA EM
      *Y ++',5X,'++ FORÇA EM Z ++',/)
      GO TO 110
12   WRITE(NW,56)
56   FORMAT(/,5X,'++ BARRA ++',5X,'++ FORÇA EM X ++',5X,'FORÇA EM Y ++'
      *,5X,'++ FORÇA EM Z ++',5X,'++ MOMENTO X ++',5X,'++ MOMENTO Y ++',5
      *X,'++ MOMENTO Z ++',/)
110  CONTINUE
      DO 15 I=1,M
      AUX1=CL(I)
      AUX2=AX(I)
      AUX3=CIZ(I)
      AUX4=CIX(I)
      AUX5=CIY(I)
      GO TO (444,555,666,777,888,999),TS
444  L1=2*I-1
      L2=2*I
      K1=2*I+1

```

```

K2=2*J+2
DB(1)=FII(L1)
DB(2)=FII(L2)
DB(3)=FII(K1)
DB(4)=FII(K2)
CALL RB1(E,AUX1,AUX3,R)
N1=4
N2=10
CALL MMVV(I,PO,R,N2,DB,N1,EB,TS)
GO TO 15
555 L1=2*JJ(I)-1
L2=2*JJ(I)
K1=2*JK(I)-1
K2=2*JK(I)
DB(1)=FII(L1)*CX(I)+FII(L2)*CY(I)
DB(2)=-FII(L1)*CY(I)+FII(L2)*CX(I)
DB(3)=FII(K1)*CX(I)+FII(K2)*CY(I)
DB(4)=-FII(K1)*CY(I)+FII(K2)*CX(I)
CALL RB2(E,AUX1,AUX2,R)
N1=4
N2=10
CALL MMVV(I,PO,R,N2,DB,N1,EB,TS)
WRITE(NW,65) I, (EB(IA), IA=1,N1)
65  FORMAT(/,10X,I2,9X,F9.2,16X,F9.2,/,21X,F9.2,18X,F9.2)
GO TO 15
666 L1=3*JJ(I)-2
L2=3*JJ(I)-1
L3=3*JJ(I)
K1=3*JK(I)-2
K2=3*JK(I)-1
K3=3*JK(I)
DB(1)=FII(L1)*CX(I)+FII(L2)*CY(I)
DB(2)=-FII(L1)*CY(I)+FII(L2)*CX(I)
DB(3)=FII(L3)
DB(4)=FII(K1)*CX(I)+FII(K2)*CY(I)
DB(5)=-FII(K1)*CY(I)+FII(K2)*CX(I)
DB(6)=FII(K3)
CALL RB3(E,AUX1,AUX2,AUX3,R)
N1=6
N2=21
CALL MMVV(I,PO,R,N2,DB,N1,EB,TS)
WRITE(NW,66) I, (EB(IA), IA=1,N1)
66  FORMAT(/,10X,I2,9X,F9.2,18X,F9.2,17X,F9.2,/,21X,F9.2,18X,F9.2,17X,
*F9.2)
GO TO 15
777 L1=3*JJ(I)-2
L2=3*JJ(I)-1
L3=3*JJ(I)
K1=3*JK(I)-2
K2=3*JK(I)-1
K3=3*JK(I)
DB(1)=FII(L1)*CX(I)+FII(L2)*CY(I)
DB(2)=-FII(L1)*CY(I)+FII(L2)*CX(I)
DB(3)=FII(L3)
DB(4)=FII(K1)*CX(I)+FII(K2)*CY(I)

```

```

DB(5)=-FII(K1)*CY(I)+FII(K2)*CX(I)
DB(6)=FII(K3)
CALL R84(E,G,AUX1,AUX4,AUX5,R)
N1=6
N2=21
CALL MMVV(I,PD,R,N2,DB,N1,EB,TS)
WRITE(NW,67) I, (EB(IA), IA=1,N1)
67  FORMAT(/,10X,I2,9X,F9.3,18X,F9.3,17X,F9.3,/,21X,F9.3,18X,F9.3,17X,
      *F9.3)
GO TO 15
888  L1=3*JJ(I)-2
      L2=3*JJ(I)-1
      L3=3*JJ(I)
      K1=3*JK(I)-2
      K2=3*JK(I)-1
      K3=3*JK(I)
      A1=CX(I)
      A2=CY(I)
      A3=CZ(I)
      T1=SQRT(A1*A1+A3*A3+A2*A2)
      T2=-A1*A2/T1
      T3=-A2*A3/T1
      T4=-A3/T1
      T5=A1/T1
      DB(1)=FII(L1)*A1+FII(L2)*A2+FII(L3)*A3
      DB(2)=FII(L1)*T2+FII(L2)*T1+FII(L3)*T3
      DB(3)=FII(L1)*T4+FII(L3)*T5
      DB(4)=FII(K1)*A1+FII(K2)*A2+FII(K3)*A3
      DB(5)=FII(K1)*T2+FII(K2)*T1+FII(K3)*T3
      DB(6)=FII(K1)*T4+FII(K3)*T5
      CALL R85(E,AUX1,AUX2,R)
      N1=6
      N2=21
      CALL MMVV(I,PG,R,N2,DB,N1,EB,TS)
      WRITE(NW,68) I, (EB(IA), IA=1,N1)
68  FORMAT(/,10X,I2,9X,F9.4,18X,F9.4,17X,F9.4,/,21X,F9.4,13X,F9.4,17X,
      *F9.4)
GO TO 15
999  L1=6*JJ(I)-5
      L2=6*JJ(I)-4
      L3=6*JJ(I)-3
      L4=6*JJ(I)-2
      L5=6*JJ(I)-1
      L6=6*JJ(I)
      AB=SIN(ALFAP)
      BC=COS(ALFAP)
      B1=CX(I)
      B2=CY(I)
      B3=CZ(I)
      A1=SQRT(B1*B1+B3*B3)
      A2=B1*B2
      A3=B1*B3
      T1=-A2*BC-B3*AB/A1
      T2=A1*BC
      T3=-A3*BC+B1*AB/A1

```

```

T4=A2*A8-B3*BC/A1
T5=-A1*AB
T6=A3*AB+B1*BC/A1
K1=6*JK(I)-5
K2=6*JK(I)-4
K3=6*JK(I)-3
K4=6*JK(I)-2
K5=6*JK(I)-1
K6=6*JK(I)
DB(1)=FII(L1)*B1+FII(L2)*B2+FII(L3)*B3
DB(2)=FII(L1)*T1+FII(L2)*T2+FII(L3)*T3
DB(3)=FII(L1)*T4+FII(L2)*T5+FII(L3)*T6
DB(4)=FII(L4)*B1+FII(L5)*B2+FII(L6)*B3
DB(5)=FII(L4)*T1+FII(L5)*T2+FII(L6)*T3
DB(6)=FII(L4)*T4+FII(L5)*T5+FII(L6)*T6
DB(7)=FII(K1)*B1+FII(K2)*B2+FII(K3)*B3
DB(8)=FII(K1)*T1+FII(K2)*T2+FII(K3)*T3
DB(9)=FII(K1)*T4+FII(K2)*T5+FII(K3)*T6
DB(10)=FII(K4)*B1+FII(K5)*B2+FII(K6)*B3
DB(11)=FII(K4)*T1+FII(K5)*T2+FII(K6)*T3
DB(12)=FII(K4)*T4+FII(K5)*T5+FII(K6)*T6
CALL RB6(E,3,AUX1,AUX2,AUX3,AUX4,AUX5,R)
N1=12
N2=78
CALL MMVV(I,PO,R,N2,DB,N1,EB,TS)
WRITE(NW,69)(EB(IA),IA=1,N1)
69  FORMAT(/,3X,(12G10.5,2X))
15  CONTINUE
    RETURN
    END

```

C  
C  
C  
C  
C

\*\*\* SUBROTINA QUE MULTIPLICA UMA MATRIZ ARMAZENADA EM VETOR, POR UM VETOR. \*\*\*

```

SUBROUTINE MMVV(K,PO,R,N2,DB,N1,EB,TS)
INTEGER TS
DIMENSION R(21),DB(80),EB(80),PO(80,6)
COMMON /A/NR,NW
L1=0
DO 20 I=1,N1
EB(I)=PO(K,I)
IF(TS .EQ. 4)GO TO 1
GO TO 3
1 IF(I .EQ. 2)EB(I)=-PO(K,I)
IF(I .EQ. 5)EB(I)=-PO(K,I)
3 L2=0
DO 10 J=1,N1
IF(I .LE. J)EB(I)=EB(I)+R(J+L1)*DB(J)
IF(I .LE. J)GO TO 10
EB(I)=EB(I)+R(I+L2)*DB(J)
L2=L2+N1-J
10 CONTINUE
20 L1=L1+N1-I
RETURN

```



```

C
C
C****SUBROTINA QUE CALCULA OS DESLOCAMENTOS EXTERNOS(BORDA) DAS SUBES-
C TRUTURAS PLANAS***
C

```

```

SUBROUTINE DEBSP(IPAIN,U,UU,DU,RS,NCE,NCC)
DIMENSION U(30),UU(80),RS(60,60),DU(80),NNCL(20),NCL(20)
COMMON /A/NR,NW

```

```

C
10 READ(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG,NCL,NNCL
IC=3*NNLIG
DO 10 I=3,IC,3
LAUX=I/3
N=NNCL(LAUX)
J1=I-2
J2=J1+1
J3=J2+1
K1=(N-1)*3+1
K2=K1+1
K3=K2+1
UU(J1)=U(K1)
UU(J2)=U(K2)
UU(J3)=U(K3)
CONTINUE
10 READ(13,REC=6*IPAIN-5)RS
CALL PRMV(IPAIN,RS,NCE,NCC,UU,DU)
RETURN
END

```

```

C
C
C****SUBROTINA PARA CALCULAR A MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA NO
C SISTEMA PLANO ***
C

```

```

SUBROUTINE MRSIP(IPAIN,RTT,NCC,RS,NNLES)
DIMENSION RTT(60,60),RS(80,80),NCL(20),NNCL(20)
COMMON /A/NR,NW

```

```

C
10 READ(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG,NCL,NNCL
IN=3*NNLES
IC=3*NNLIG
DO 10 I=1,IC
N=(I-1)/3+1
L1=INNCL(N)-1)*3
L2=I-3*(N-1)
L3=L1+L2
DO 10 J=I,IC
M=(J-1)/3+1
K1=INNCL(M)-1)*3
K2=J-3*(M-1)
K3=K1+K2
10 RS(L3,K3-L3+1)=RS(L3,K3-L3+1)+RTT(I,J-I+1)
RETURN
END

```

```

C
C

```

```

C
C*****SUBROTINA QUE CALCULA OS DESLOCAMENTOS EXTERNOS (BORDA) DA SUBSTRU
C   TURA ESPACIAL.****
C
SUBROUTINE DEBSE(IPAIN,U,UU,DU,RB,NCPN,NCE,NCC)
DIMENSION U(80),UU(80),RB(50,50),DU(80),NNOL(20),NOL(20)
COMMON /A/NR,NW
C
READ(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG,NOL,NNOL
IF(NCPN-6)1,2,2
1  IC=3*NNLIG
   ID=3
   GO TO 3
2  IC=6*NNLIG
   ID=6
3  CONTINUE
   DO 10 I=ID,IC,10
   LAUX=I/10
   N=NNOL(LAUX)
   IE=ID-1
   J1=I-ID
   J2=J1+1
   J3=J2+1
   J4=J3+1
   J5=J4+1
   J6=J5+1
   K1=(N-1)*6+1
   K2=K1+1
   K3=K2+1
   K4=K3+1
   K5=K4+1
   K6=K5+1
   UU(J1)=U(K1)
   UU(J2)=U(K2)
   UU(J3)=U(K3)
   IF(NCPN-6)10,5,5
5  UU(J4)=U(K4)
   UU(J5)=U(K5)
   UU(J6)=U(K6)
10  CONTINUE
   DO 30 I=1,IC
30  WRITE(NW,6)I,UU(I)
6  FORMAT(/,5X,'I=',12,5X,G12.6)
   READ(13,REC=6*IPAIN-5)RB
   CALL PRMV(IPAIN,RB,NCE,NCE,UU,DU)
   RETURN
END

```

```

C
C
C*****SUBROTINA QUE CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA ESPACIAL
C
SUBROUTINE MRSIE(IPAIN,RTT,NCC,RS,NCPN,NNLES)
DIMENSION RTT(50,50),RS(80,80),NOL(20),NNOL(20)
COMMON /A/NR,NW
C

```

```

READ(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG,NOL,NNOL
IN=3*NNLES
IF(NCPN-6)1,2,2
1 IC=3*NNLIG
GO TO 3
2 IC=6*NNLIG
3 CONTINUE
DO 10 I=1,IC
N=(I-1)/3+1
IF(NCPN-6)4,5,5
4 L1=(NNOL(N)-1)*6
GO TO 6
5 L1=(NNOL(N)-1)*3
6 L2=I-3*(N-1)
L3=L1+L2
DO 10 J=1,IC
M=(J-1)/3+1
IF(NCPN-6)7,8,8
7 K1=(NNOL(M)-1)*6
GO TO 9
8 K1=(NNOL(M)-1)*3
9 K2=J-3*(M-1)
K3=K1+K2
10 RS(L3,K3-L3+1)=RS(L3,K3-L3+1)+RTT(I,J-I+1)
RETURN
END

```

C  
C\*\*\*\*\*SUBROTINA QUE CALCULA O VETOR DOS ESFORÇOS DO SISTEMA ESPACIAL  
C

```

SUBROUTINE FBSIE(IPAIN,PP,PS,NCPN,NNLES)
DIMENSION PS(30),NNOL(20),NNL(20),PP(60),NOL(20)
COMMON /A/NR,NW

```

C

```

READ(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG,NOL,NNOL
IN=3*NNLES
IF(NCPN-6)1,2,2
1 IC=3*NNLIG
ID=3
GO TO 3
2 IC=6*NNLIG
ID=6
3 CONTINUE
DO 10 I=ID,IC,ID
LAUX=I/ID
N=NNOL(LAUX)
K1=(N-1)*6+1
K2=K1+1
K3=K2+1
K4=K3+1
K5=K4+1
K6=K5+1
IE=ID-1
J1=I-IE
J2=J1+1
J3=J2+1

```

```

J4=J3+1
J5=J4+1
J6=J5+1
PS(K1)=PS(K1)+PP(J1)
PS(K2)=PS(K2)+PP(J2)
PS(K3)=PS(K3)+PP(J3)
IF(NCPN-6)10,4,4
4 PS(K4)=PS(K4)+PP(J4)
PS(K5)=PS(K5)+PP(J5)
PS(K6)=PS(K6)+PP(J6)
10 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C****SUBROTINA QUE CALCULA O VETOR PS=SOMATORIA (BETA TRANSPOSTA)*(F)
C DAS SUBESTRUTURAS NO SISTEMA PLANO ***
C

```

```

SUBROUTINE FBSIP(IPAIN,PP,PS,NNLES)
DIMENSION PP(80),PS(80),NOL(20),NNOL(20)
COMMON /A/NR,NW
C

```

```

READ(17,REC=6*IPAIN-5)NNLIG,NOL,NNOL
IN=3*NNLES
IC=3*NNLIG
DO 10 I1=3,IC,3
LAUX=I1/3
N=NNOL(LAUX)
K1=(N-1)*3+1
K2=K1+1
K3=K2+1
J1=I1-2
J2=J1+1
J3=J2+1
PS(K1)=PS(K1)+PP(J1)
PS(K2)=PS(K2)+PP(J2)
PS(K3)=PS(K3)+PP(J3)
10 CONTINUE
RETURN
END

```

C A P Í T U L O I V

## EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente capítulo tem por objetivo apresentar exemplos já abordados por outros autores, com o intuito de comparar resultados, assim como novos exemplos, visando mostrar algumas aplicações do programa em questão.

Logicamente o ideal seria colocar exemplos em grande número e com variedade de tipos estruturais, e só não o foram devido à restrita disponibilidade de tempo para utilização do computador. Desta forma optou-se pela apresentação de apenas 3 exemplos, variando o tipo de subestrutura que os compõem.

2 - EXEMPLO Nº 1

O exemplo de número 1 (fig. IV-1) consiste em uma estrutura plana de 27 nós e 46 barras e que foi calculada pelos programas PÓRTICO<sup>(10)</sup> e PPLAN1<sup>(11)</sup>. Para esse exemplo, a estrutura foi dividida em cinco subestruturas dos tipos treliça e pórtico plano mantendo-se as características das barras. Os nós de borda da estrutura e o carregamento adotado encontram-se na fig. IV-2, e o valor de  $E$  é respectivamente  $210 \text{ tf/cm}^2$  para as colunas e  $2100 \text{ tf/cm}^2$  para as treliças.

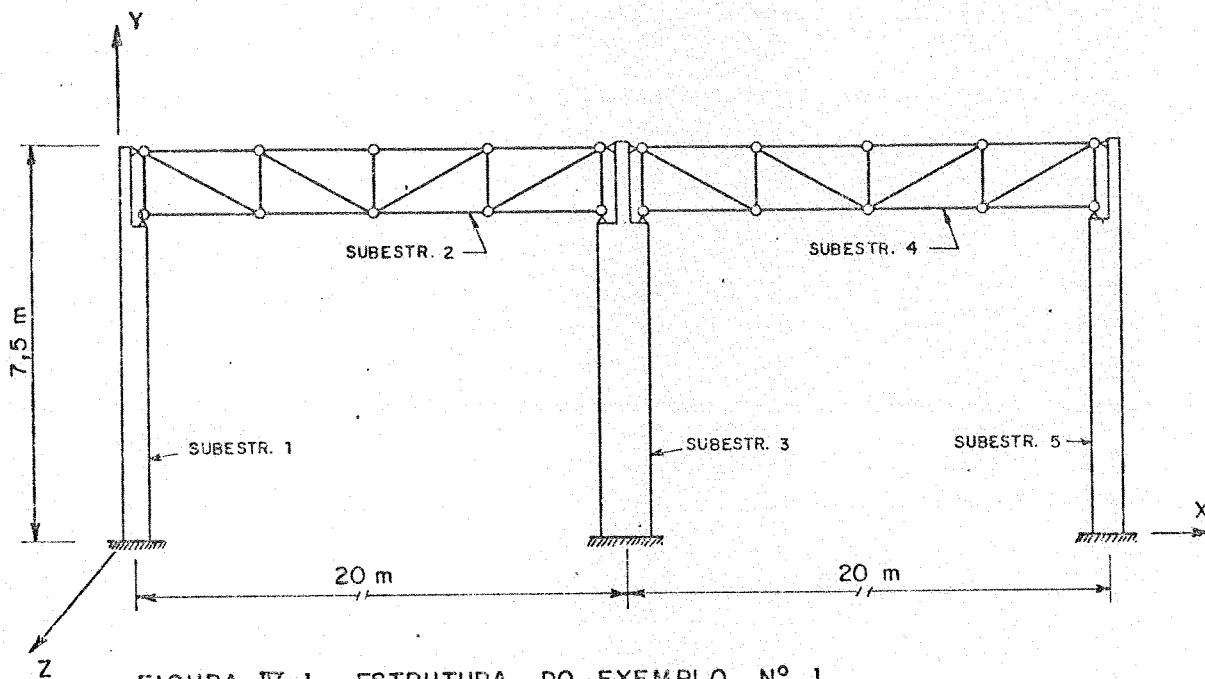


FIGURA IV-1 - ESTRUTURA, DO EXEMPLO Nº 1

Os resultados obtidos para os esforços nas barras das subestruturas (fig. IV-3) do programa do presente trabalho e dos programas PÓRTICO ou PPLAN1, encontram-se nas tabelas IV-1 a IV-14, respectivamente, com os sinais de acordo

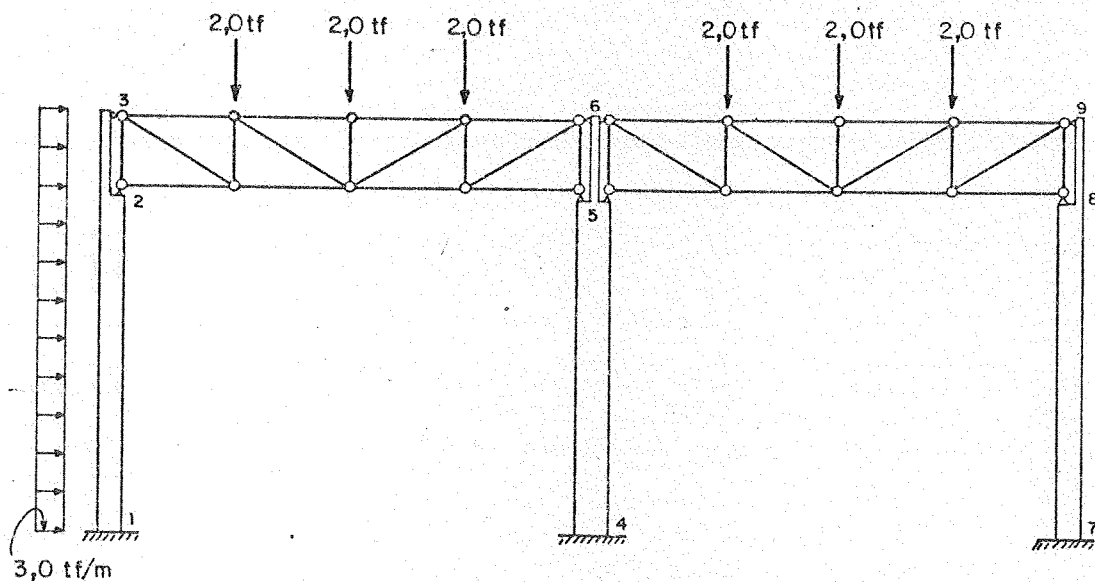


FIGURA IV-2 - CARREGAMENTO E NÓS DE BORDA.

com os sistemas de referência adotados, onde o primeiro dos programas mencionados será referido como PROG 1 e o segundo como PROG 2.

Convém ressaltar, que neste exemplo, a matriz de rigidez global da estrutura quando calculada pelos programas acima mencionados ou por qualquer outro de cálculo de esforços de pórticos planos ficará na ordem de  $(81 \times 81)$ , enquanto que, no programa do presente trabalho sua ordem será de  $(27 \times 27)$ .

Esforços normais nas barras da sub-estrutura 1 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-1,867	-1,867
2	-1,867	-1,867
3	-1,867	-1,867
4	-1,867	-1,867

Tabela IV-1

Momentos fletores inferiores das barras da subestrutura 1 (tfcm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-293,664	-293,664
2	674,266	674,266
3	442,200	442,200
4	0,000	0,000

Tabela IV-3

Esforços cortantes nas barras da subestrutura 1 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	13,840	13,840
2	7,840	7,840
3	1,840	1,840
4	-0,698	-0,698

Tabela IV-2

Momentos fletores superiores das barras da subestrutura 1 (tfm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-2461,595	-2461,595
2	-293,664	-293,664
3	674,266	674,266
4	442,199	442,199

Tabela IV-4



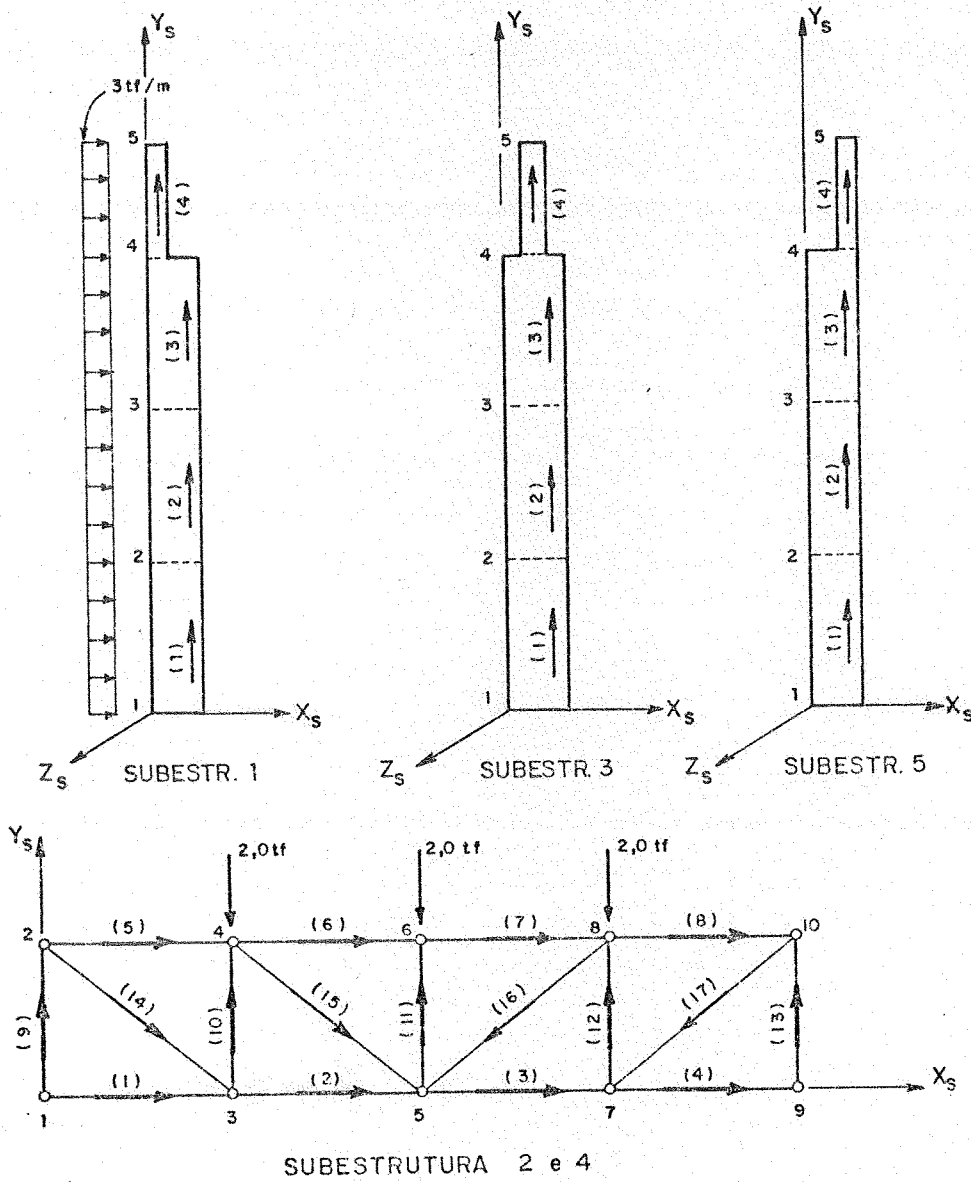


FIGURA IV-3 - SUBESTRUTURAS

Esforços normais nas barras da subestrutura 2 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	- 3,462	- 3,462
2	2,761	2,761
3	- 4,793	- 4,793
4	-18,570	-18,570
5	-11,421	-11,421
6	-10,978	-10,978
7	-10,978	-10,978
8	- 3,867	- 3,867
9	- 0,172	- 0,172
10	- 1,867	- 1,867
11	- 2,000	- 2,000
12	- 4,133	- 4,133
13	- 0,566	- 0,566
14	6,497	6,497
15	- 0,463	- 0,463
16	7,423	7,423
17	14,383	14,383

Tabela IV-5

Esforços normais nas barras da subestrutura 4 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	- 6,427	- 6,427
2	2,110	2,110
3	- 0,815	- 0,815
4	-12,278	-12,278
5	- 6,438	- 6,438
6	- 8,309	- 8,309
7	- 8,308	- 8,308
8	- 3,512	- 3,512
9	- 0,566	- 0,566
10	- 2,561	- 2,561
11	- 2,000	- 2,000
12	- 3,439	- 3,439
13	- 0,318	- 0,318
14	8,913	8,913
15	1,953	1,953
16	5,007	5,007
17	11,968	11,968

Tabela IV-6

Esforços cortantes nas barras da subestrutura 3 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	4,333	4,333
2	4,333	4,333
3	4,333	4,333
4	-7,810	-7,810

Tabela IV-8

Momentos fletores superiores nas barras da subestrutura 3 (tfcM)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-1428,125	-1428,125
2	-561,573	-561,573
3	304,981	304,982
4	1171,535	1171,539

Tabela IV-10

Esforços normais nas barras da subestrutura 3 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-6,694	-6,694
2	-6,694	-6,694
3	-6,694	-6,694
4	-5,562	-5,562

Tabela IV-7

Momentos fletores inferiores nas barras da subestrutura 3 (tfcM)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-561,573	-561,573
2	304,981	304,981
3	1171,535	1171,535
4	0,000	-0,002

Tabela IV-9

Esforços cortantes nas barras da subestrutura 5 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	4,327	4,327
2	4,327	4,327
3	4,327	4,327
4	-7,951	-7,951

Tabela IV-12

Momentos fletores superiores nas barras da subestrutura 5 (tfcm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-1403,819	-1403,819
2	-538,355	-538,355
3	327,107	327,107
4	1192,575	1192,575

Tabela IV-14

Esforços normais nas barras da sub-estrutura 5 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-3,439	-3,439
2	-3,439	-3,439
3	-3,439	-3,439
4	-3,121	-3,121

Tabela IV-11

Momentos fletores inferiores nas barras da subestrutura 5 (tfcm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-538,355	-538,355
2	327,107	327,107
3	1192,573	1192,573
4	0,000	-0,003

Tabela IV-13

3 - EXEMPLO Nº 2

O exemplo aqui considerado, Fig. IV-4, trata-se de uma estrutura de Treliça Espacial com as seguintes características:

- número de nós: 16
- número de barras: 42
- todas as barras são constituídas por cantoneiras de abas iguais, variando as dimensões nas barras verticais, horizontais e diagonais
- o valor de  $E$ :  $2.100 \text{ tf/cm}^2$
- o carregamento nos nós está em tf

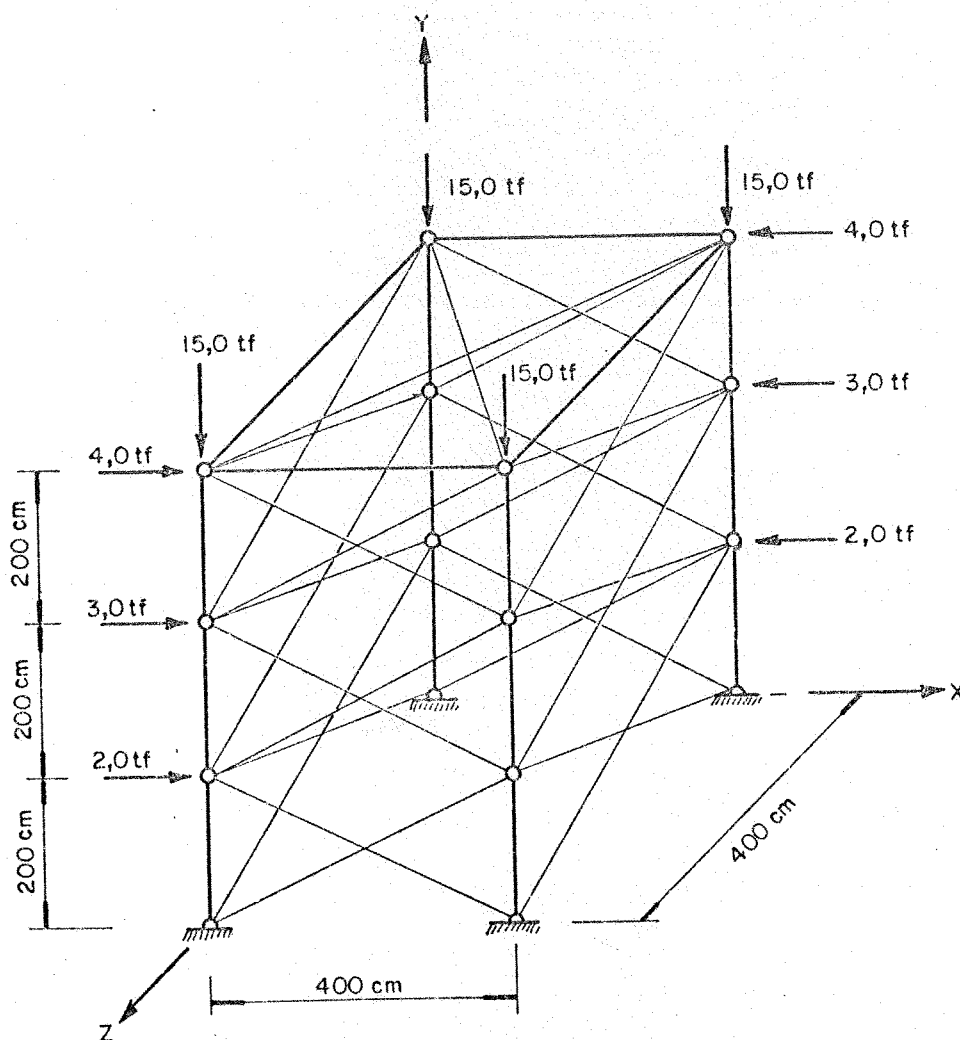
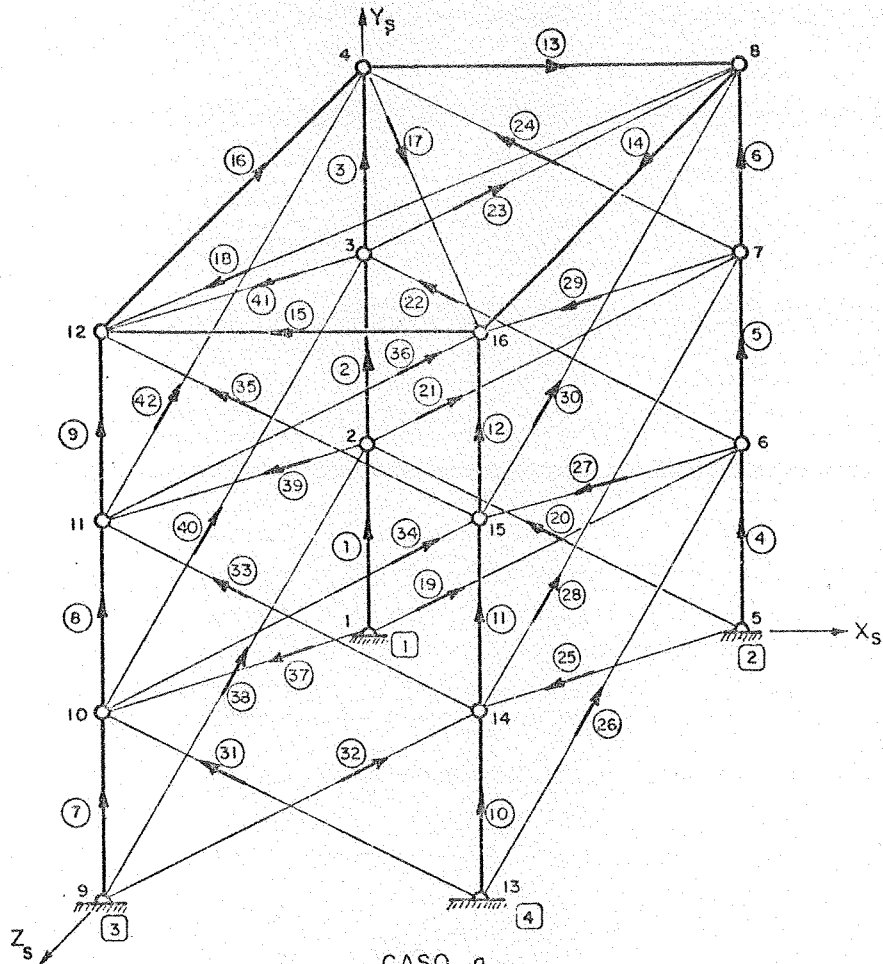
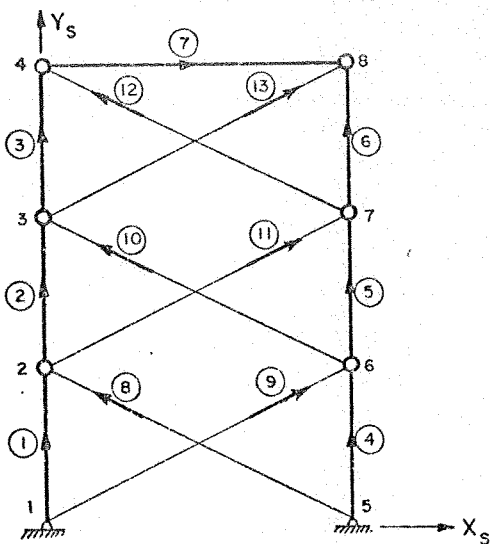


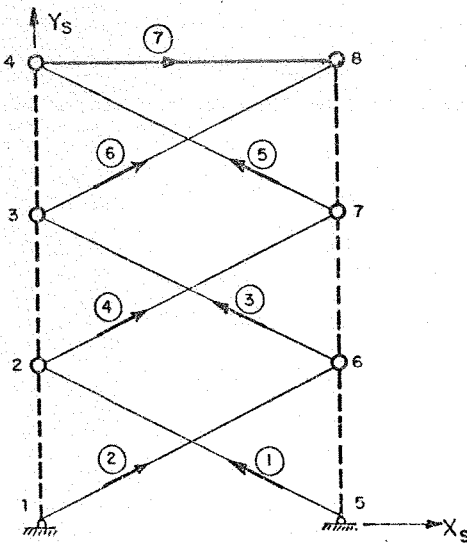
FIGURA IV-4 - ESTRUTURA DO EXEMPLO Nº 2 .



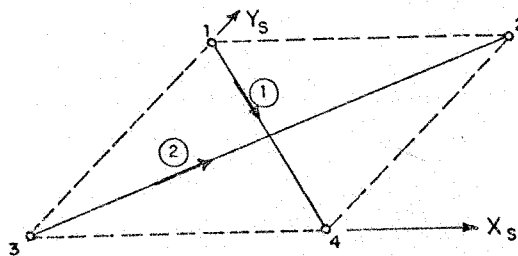
CASO a



SUBESTRUTURA 1 e 3



SUBESTRUTURA 2 e 4



SUBESTRUTURA 5

Caso b

FIGURA IV-5 - SUBESTRUTURAS DO EXEMPLO Nº 2 .

Este exemplo foi tratado de duas maneiras distintas:

Caso a) Considerando a estrutura composta de uma única subestrutura do tipo Treliça Espacial com quatro nós de ligação, sendo esses os que ligam a subestrutura com a chapa-terra (fig. IV-5).

Caso b) Considerando a estrutura composta de cinco subestruturas do tipo Treliça Plana (Fig. IV-5).

Os resultados obtidos para ambos os casos serão comparados aos apresentados no programa TESP - Sistema LASER<sup>(8)</sup>, nas tabelas IV-15 IV-20, valendo para estas as mesmas considerações feitas no primeiro exemplo, a respeito da nomenclatura e convenções de sinais usados.

No caso a a matriz de rigidez da estrutura global ficou na ordem de (12x12) enquanto que, no caso b e no programa TESP ou em qualquer outro de cálculo de Treliças Espaciais a ordem da matriz de rigidez será de (48x48). Entretanto, no caso b ter-se-á a estrutura tridimensional calculada como um conjunto de estruturas planas.



Esforços Normais nas Barras da Treliza - Caso <u>a</u> (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-15.2358	-15.236
2	-14.3185	-14.318
3	-13.9586	-13.959
4	-14.0428	-14.043
5	-15.4028	-15.403
6	-14.8201	-14.820
7	-14.0428	-14.043
8	-15.4027	-15.403
9	-14.8201	-14.820
10	-15.2357	-15.236
11	-14.3185	-14.319
12	-13.9687	-13.959
13	- 0.8209	- 0.821
14	0.3647	0.365
15	- 0.8209	- 0.821
16	0.3647	0.365
17	1.7952	1.795
18	- 2.2514	- 2.251
19	- 4.0105	- 4.011
20	2.8526	2.853
21	- 2.8526	- 2.853
22	1.7745	1.774
23	- 1.7745	- 1.774
24	- 0.5015	- 0.502
25	- 1.8270	- 1.827
26	1.3722	1.372
27	- 1.3722	- 1.372
28	1.8270	1.827
29	- 1.8270	- 1.827

Tabela IV-15

Barra	PROG. 1	PROG. 2
30	1.3722	1.372
31	-4.0105	-4.011
32	2.8526	2.852
33	-2.8526	-2.852
34	1.7745	1.774
35	-1.7745	-1.774
36	-0.5015	-0.502
37	1.3721	1.372
38	-1.8270	-1.827
39	1.8270	1.827
40	-1.3722	-1.372
41	1.3721	1.372
42	-1.8270	-1.827

Tabela IV-15 (continuação)

Esforços Normais nas Barras da Subestrutura 5 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	1.7952	1.795
2	-2.2514	-2.251

Tabela IV-16

Esforços Normais nas Barras da Subestrutura 3 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-14.0428	-14.043
2	-15.4027	-15.403
3	-14.8201	-14.820
4	-15.2357	-15.236
5	-14.3185	-14.319
6	-13.9587	-13.959
7	- 0.8209	- 0.821
8	- 4.0105	- 4.011
9	2.8526	2.853
10	- 2.8526	- 2.853
11	1.7745	1.774
12	- 1.7745	- 1.774
13	- 0.5015	- 0.502

Esforços Normais nas Barras da Subestrutura 1 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-15.2357	-15.236
2	-14.3184	-14.318
3	-13.9587	-13.959
4	-14.0428	-14.043
5	-15.4027	-15.403
6	-14.8201	-14.820
7	- 0.8209	- 0.821
8	2.8526	2.853
9	- 4.0105	- 4.011
10	1.7745	1.774
11	- 2.8526	- 2.853
12	- 0.5015	- 0.502
13	- 1.7745	- 1.774

Tabela IV-18

Tabela IV-17

Esforços Normais nas Barras da Subestrutura 4 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-1.8270	-1.827
2	1.3721	1.372
3	-1.3721	-1.372
4	1.8270	1.827
5	-1.8270	-1.827
6	1.3721	1.372
7	0.3647	0.365

Esforços Normais nas Barras da Subestrutura 2 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	1.3722	1.372
2	-1.8270	-1.827
3	1.8270	1.827
4	-1.3722	-1.372
5	1.3722	1.372
6	-1.8270	-1.827
7	0.3647	0.365

Tabela IV-20

Tabela IV-10

4 - EXEMPLO Nº 3

O exemplo de número 3, Fig. IV-6, trata-se de uma estrutura do tipo Grelha, que apresenta as seguintes características:

- Número de nós: 20
- Número de barras: 31
- Dimensões das vigas: 20x90cm
- Valor adotado para  $E$ :  $210\text{tf/cm}^2$
- Valor adotado para  $G$ :  $87,5\text{tf/cm}^2$

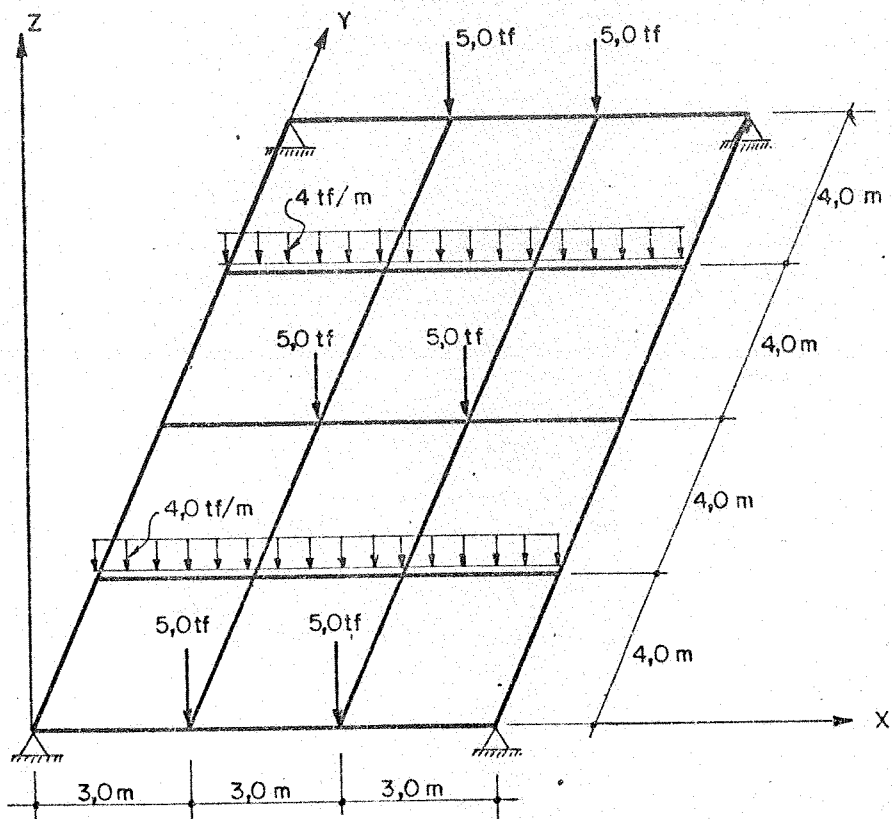
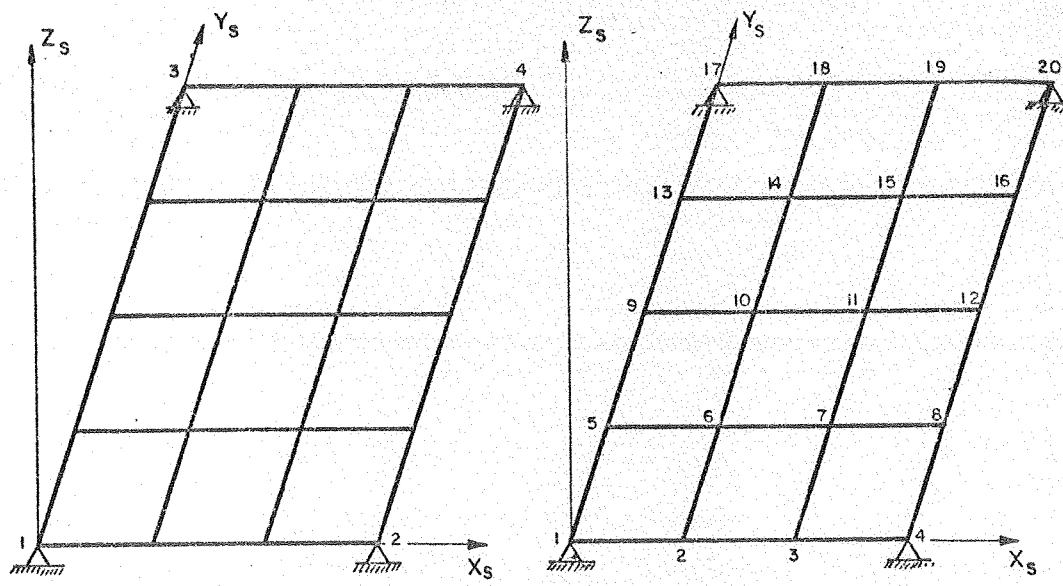


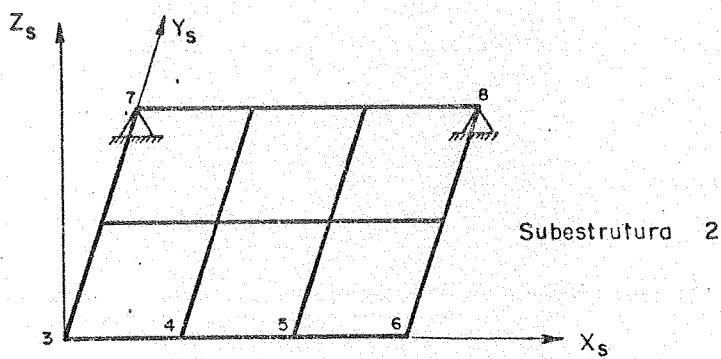
FIG. IV-6 - ESTRUTURA DO EXEMPLO Nº 3 .

Este exemplo foi tratado de três maneiras distintas:

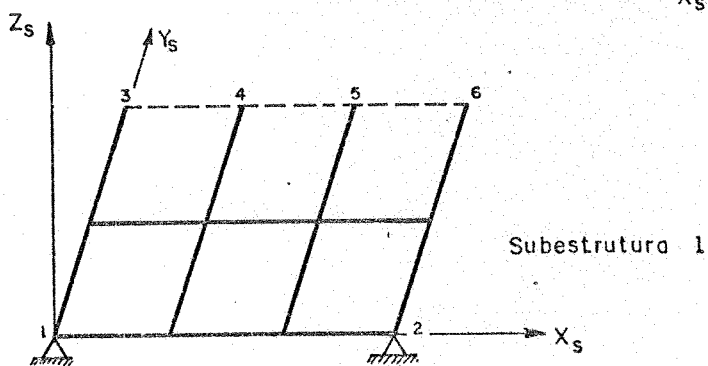


Caso a

Caso b



Subestructura 2



Subestructura 1

Caso c

FIGURA IV-7 - SUBESTRUTURAS.

- Caso a) Considerando a estrutura composta de uma única sub-estrutura com quatro nós de ligação, sendo esses os que ligam a subestrutura com a chapa-terra (fig. IV-7 a).
- Caso b) Considerando a estrutura composta de uma única sub-estrutura onde todos os nós são considerados nós de ligação (fig. IV-7 b).
- Caso c) Considerando a estrutura composta de duas subestruturas grelha, com oito nós de ligação (fig. IV-7 c)

Os resultados obtidos para os três casos serão comparados aos obtidos em <sup>(9)</sup> nos gráficos das figuras IV-9 a IV-14 nas vigas Nº 1 e Nº 7 (fig. IV-8) onde as curvas contínuas representam os resultados obtidos do programa do presente trabalho e as curvas tracejadas os resultados em <sup>(9)</sup>.

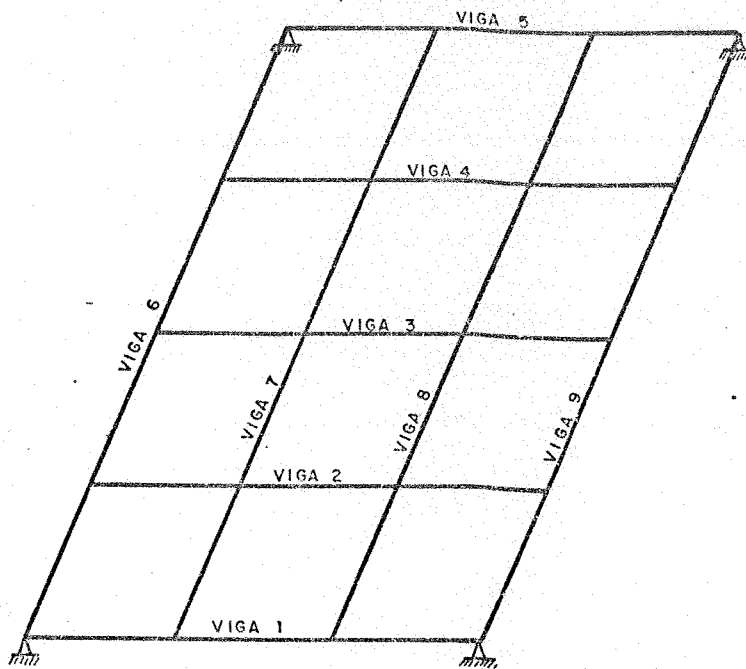


FIGURA IV-8 - VIGAS DA ESTRUTURA.

Convém ressaltar que para as três maneiras distintas que foi tratado este exemplo, houve uma variação na dimensão da matriz de rigidez global e no vetor dos esforços da estrutura, embora os deslocamentos e os esforços obtidos tenham sido exatamente iguais:

Caso a) Matriz de ordem (12x12)

Caso b) Matriz de ordem (60x60)

Caso c) Matriz de ordem (24x24)



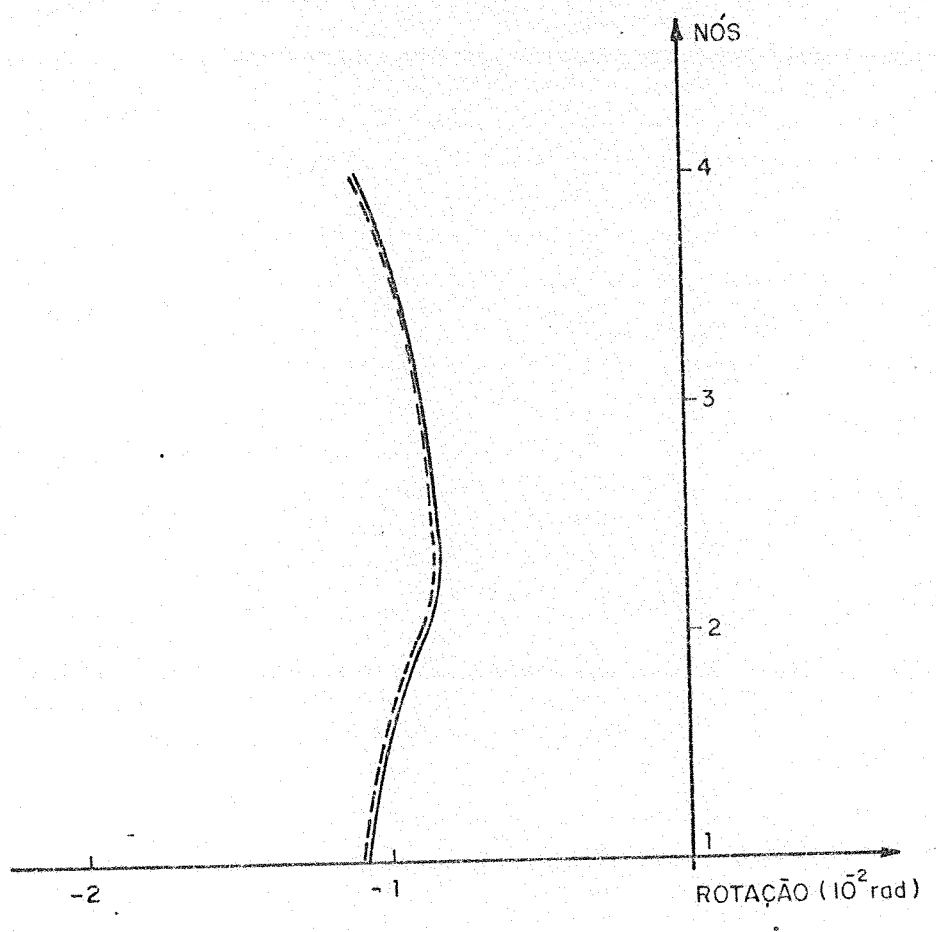


FIGURA IV-9 - ROTAÇÃO  $\alpha_s$  DA VIGA Nº 1 .

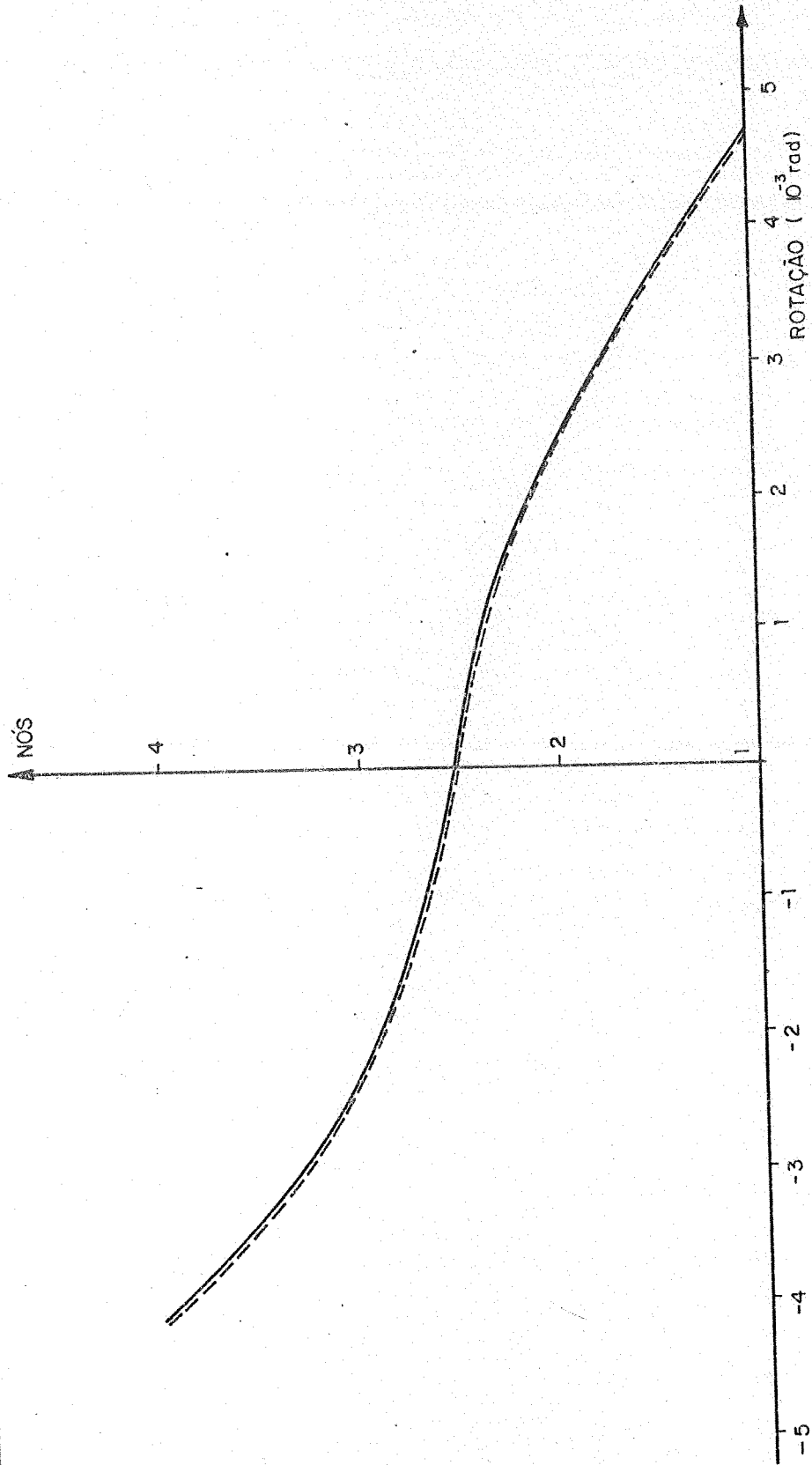
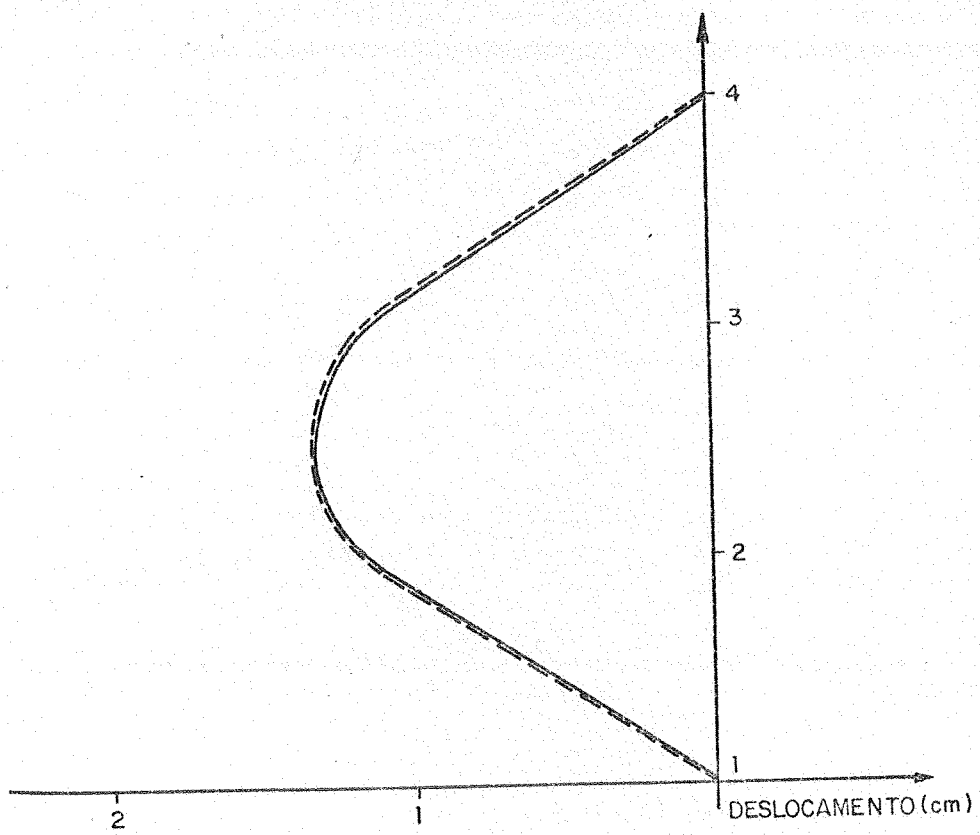
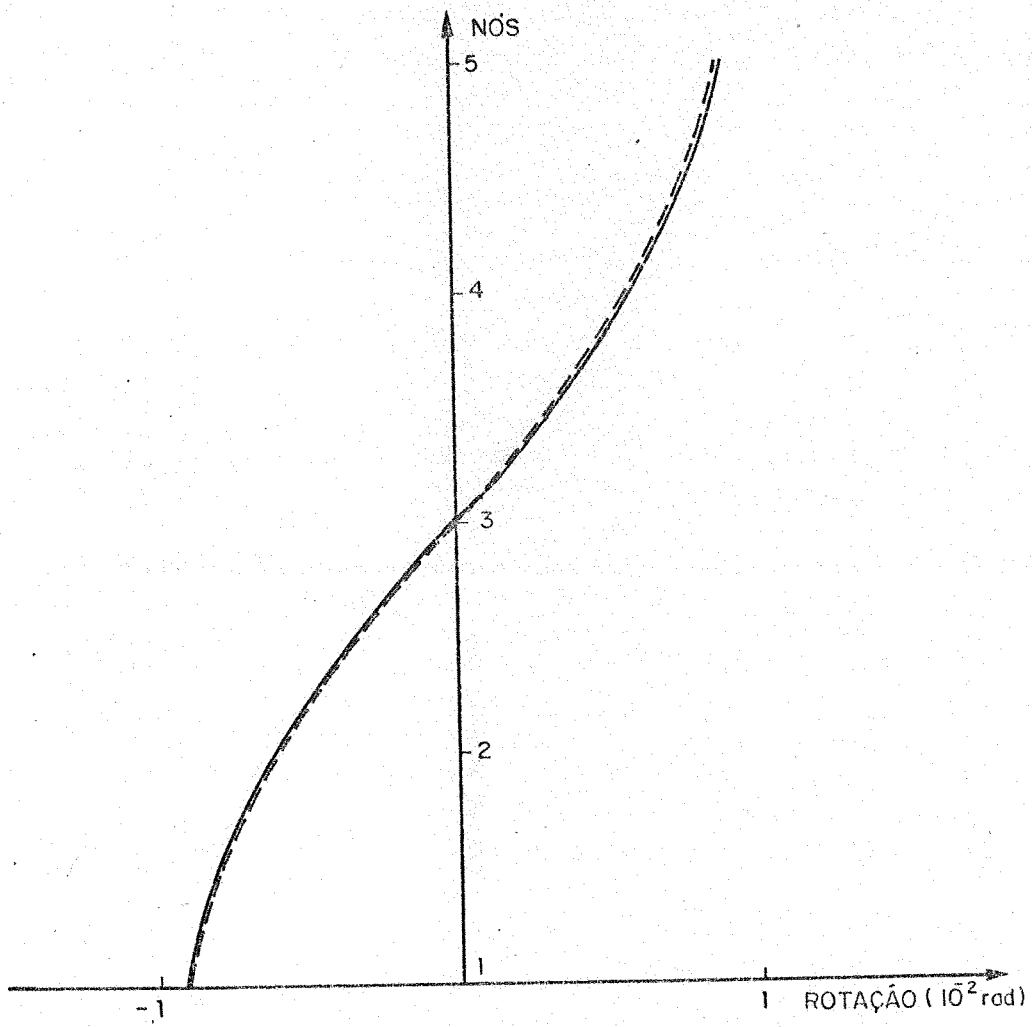
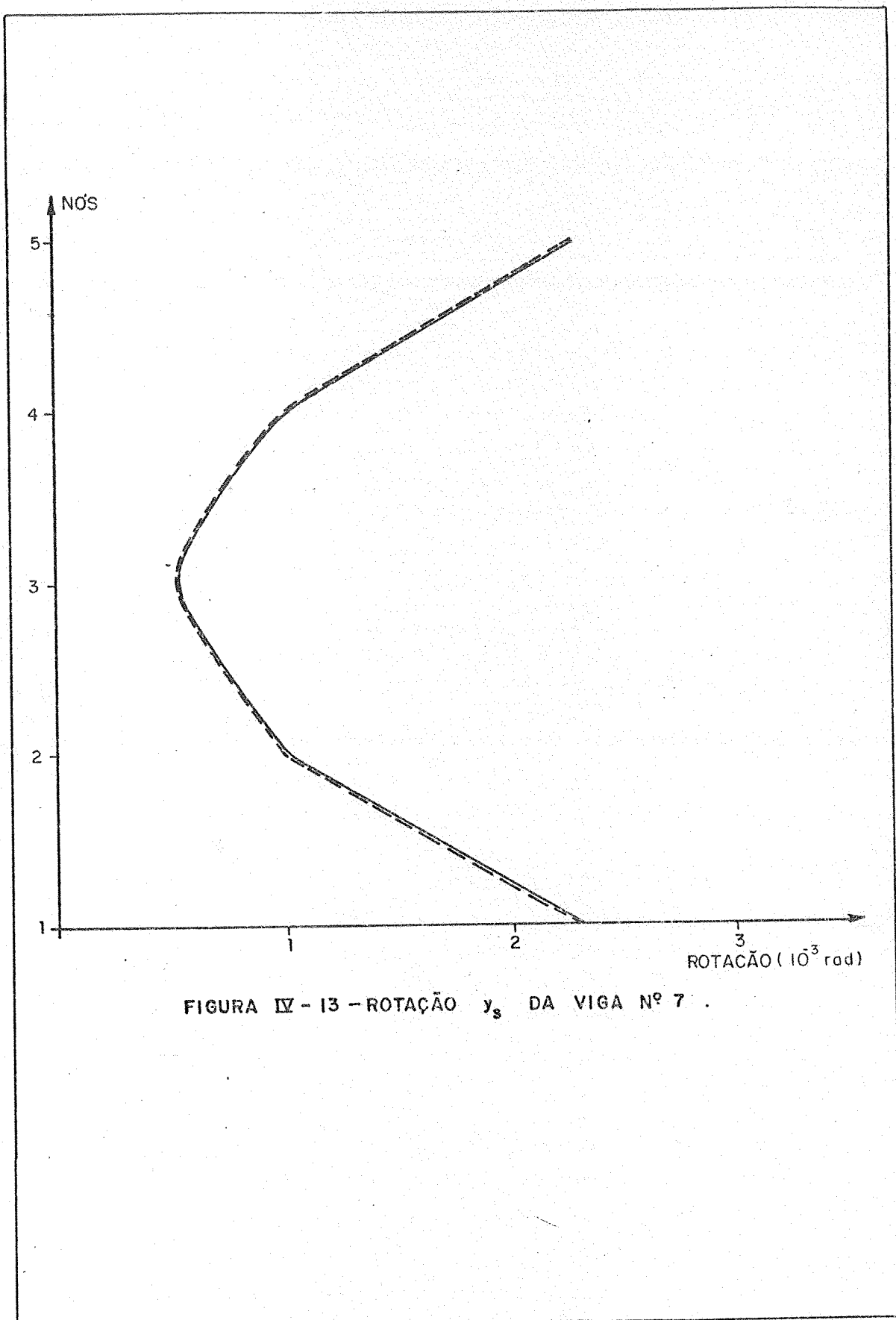
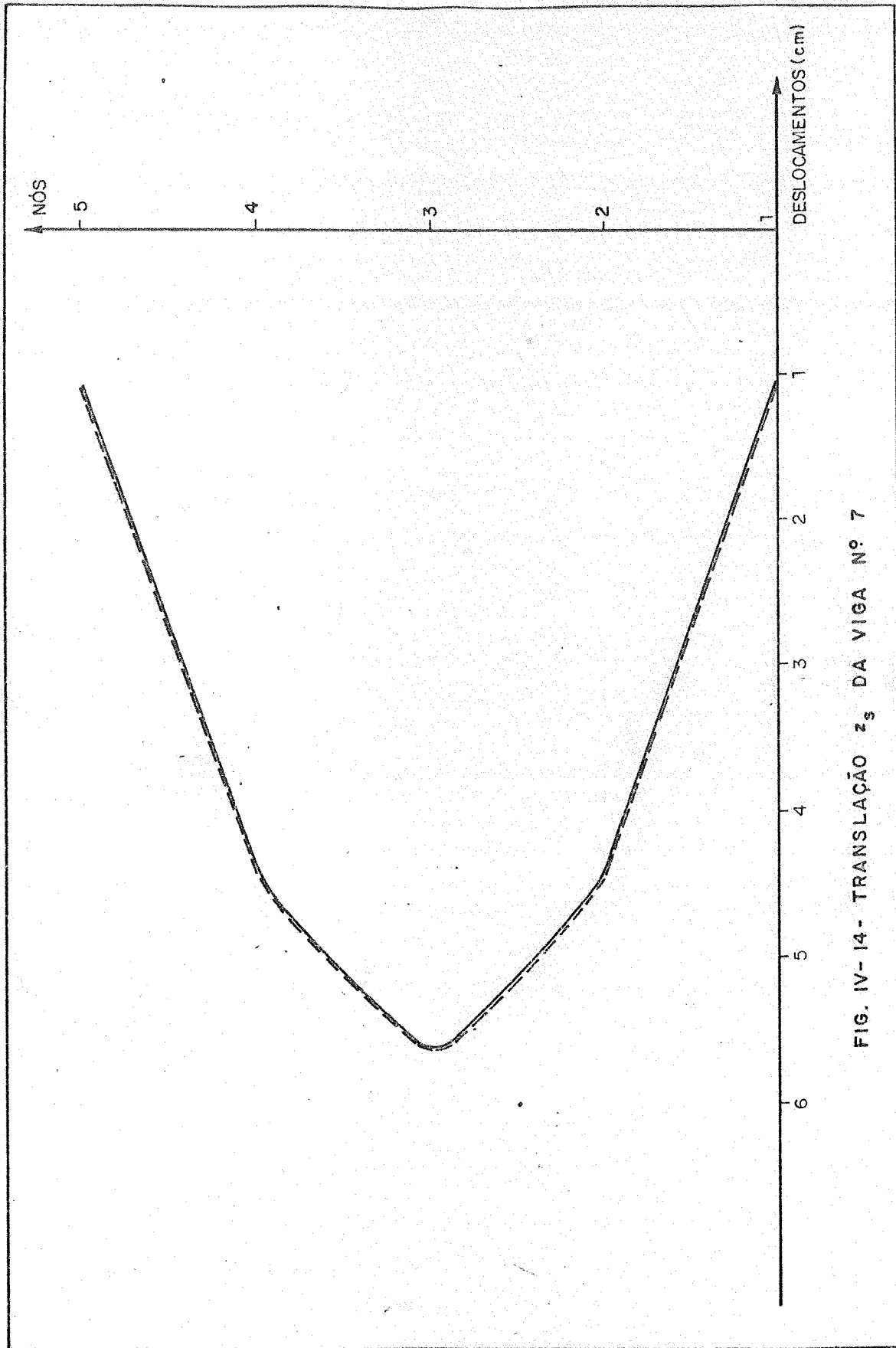


FIGURA IV-10- ROTAÇÃO  $\gamma_s$  DA VIGA Nº 1

FIGURA IV-11 - TRANSLAÇÃO  $z_s$  DA VIGA Nº 1

FIGURA IV-12 - ROTAÇÃO  $x_s$  DA VIGA Nº 7.

FIGURA IV - 13 - ROTACÃO  $y_s$  DA VIGA Nº 7 .

FIG. IV-14- TRANSLAÇÃO  $z_s$  DA VIGA Nº 7

2 - EXEMPLO Nº 1

O exemplo de número 1 (fig. IV-1) consiste em uma estrutura plana de 27 nós e 46 barras e que foi calculada pelos programas PÓRTICO<sup>(10)</sup> e PPLAN1<sup>(11)</sup>. Para esse exemplo, a estrutura foi dividida em cinco subestruturas dos tipos treliça e pórtico plano mantendo-se as características das barras. Os nós de borda da estrutura e o carregamento adotado encontram-se na fig. IV-2, e o valor de  $E$  é respectivamente  $210 \text{ tf/cm}^2$  para as colunas e  $2100 \text{ tf/cm}^2$  para as treliças.

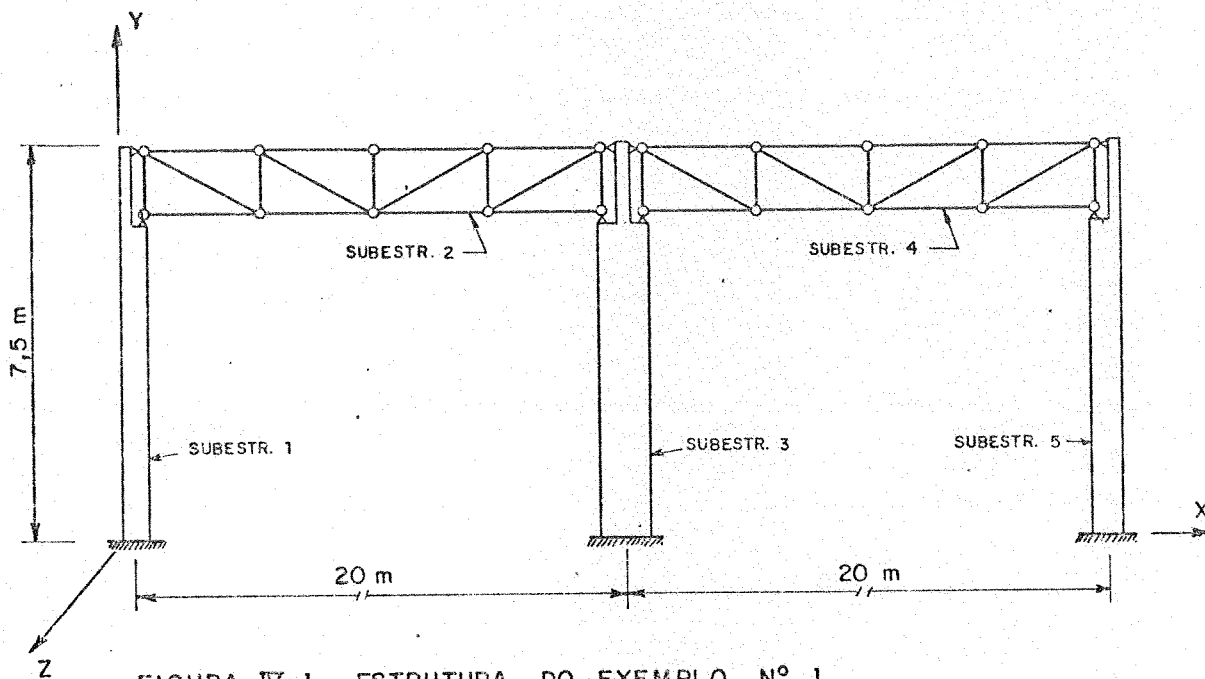


FIGURA IV-1 - ESTRUTURA, DO EXEMPLO Nº 1

Os resultados obtidos para os esforços nas barras das subestruturas (fig. IV-3) do programa do presente trabalho e dos programas PÓRTICO ou PPLAN1, encontram-se nas tabelas IV-1 a IV-14, respectivamente, com os sinais de acordo

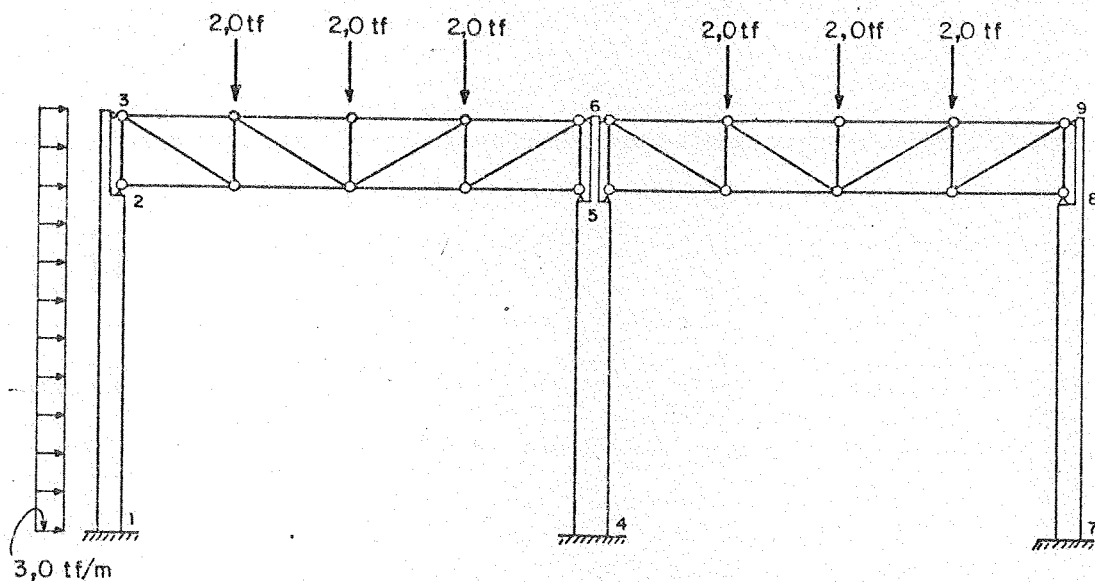


FIGURA IV-2 - CARREGAMENTO E NÓS DE BORDA.

com os sistemas de referência adotados, onde o primeiro dos programas mencionados será referido como PROG 1 e o segundo como PROG 2.

Convém ressaltar, que neste exemplo, a matriz de rigidez global da estrutura quando calculada pelos programas acima mencionados ou por qualquer outro de cálculo de esforços de pórticos planos ficará na ordem de  $(81 \times 81)$ , enquanto que, no programa do presente trabalho sua ordem será de  $(27 \times 27)$ .



Esforços normais nas barras da sub- estrutura 1 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-1,867	-1,867
2	-1,867	-1,867
3	-1,867	-1,867
4	-1,867	-1,867

Tabela IV-1

Momentos fletores inferiores das barras da subestrutura 1 (tfcm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-293,664	-293,664
2	674,266	674,266
3	442,200	442,200
4	0,000	0,000

Tabela IV-3

Esforços cortantes nas barras da subestrutura 1 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	13,840	13,840
2	7,840	7,840
3	1,840	1,840
4	-0,698	-0,698

Tabela IV-2

Momentos fletores superiores das barras da subestrutura 1 (tfm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-2461,595	-2461,595
2	-293,664	-293,664
3	674,266	674,266
4	442,199	442,199

Tabela IV-4

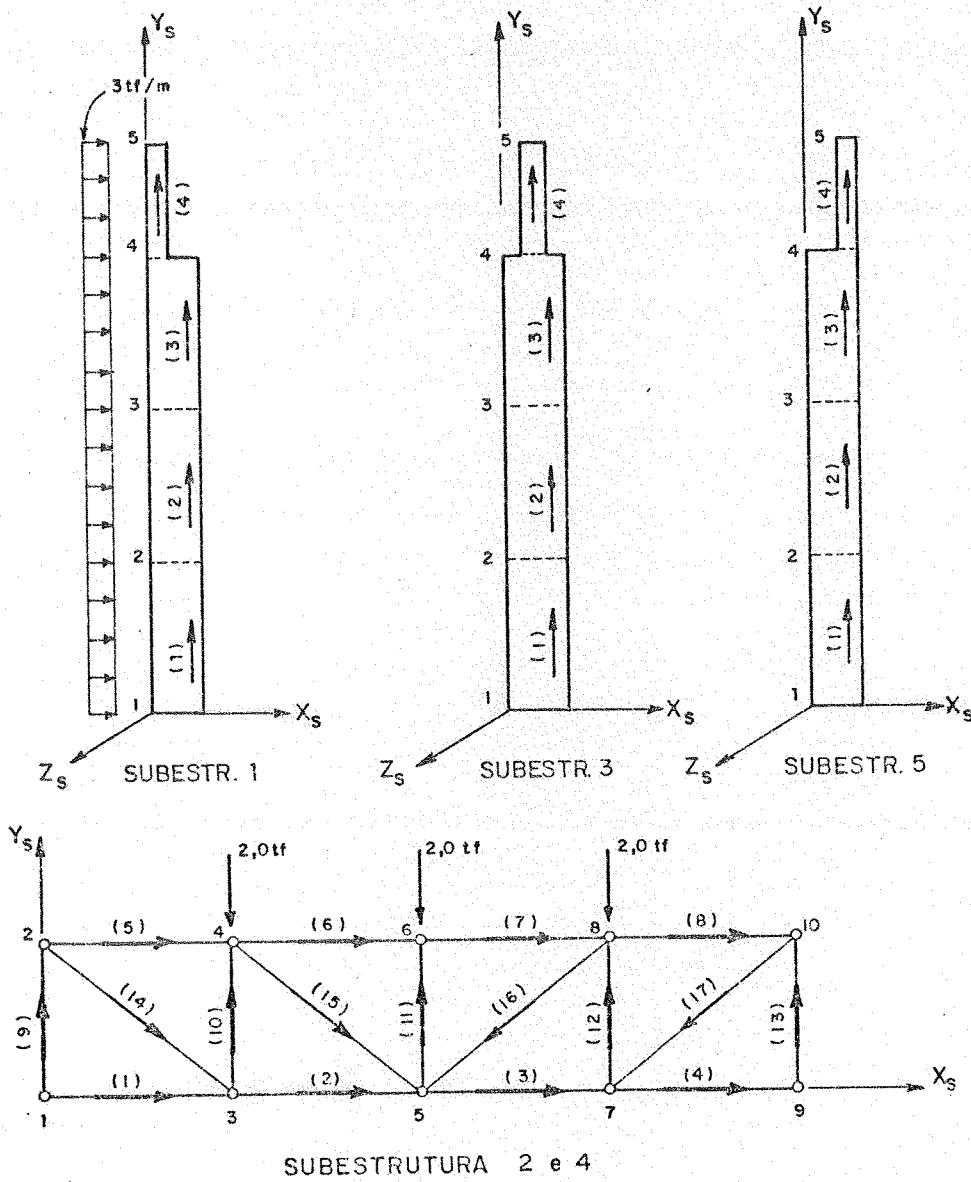


FIGURA IX-3 - SUBESTRUTURAS

Esforços normais nas barras da subestrutura 2 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	- 3,462	- 3,462
2	2,761	2,761
3	- 4,793	- 4,793
4	-18,570	-18,570
5	-11,421	-11,421
6	-10,978	-10,978
7	-10,978	-10,978
8	- 3,867	- 3,867
9	- 0,172	- 0,172
10	- 1,867	- 1,867
11	- 2,000	- 2,000
12	- 4,133	- 4,133
13	- 0,566	- 0,566
14	6,497	6,497
15	- 0,463	- 0,463
16	7,423	7,423
17	14,383	14,383

Tabela IV-5

Esforços normais nas barras da subestrutura 4 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	- 6,427	- 6,427
2	2,110	2,110
3	- 0,815	- 0,815
4	-12,278	-12,278
5	- 6,438	- 6,438
6	- 8,309	- 8,309
7	- 8,308	- 8,308
8	- 3,512	- 3,512
9	- 0,566	- 0,566
10	- 2,561	- 2,561
11	- 2,000	- 2,000
12	- 3,439	- 3,439
13	- 0,318	- 0,318
14	8,913	8,913
15	1,953	1,953
16	5,007	5,007
17	11,968	11,968

Tabela IV-6

Esforços cortantes nas barras da subestrutura 3 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	4,333	4,333
2	4,333	4,333
3	4,333	4,333
4	-7,810	-7,810

Tabela IV-8

Momentos fletores superiores nas barras da subestrutura 3 (tfcm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-1428,125	-1428,125
2	-561,573	-561,573
3	304,981	304,982
4	1171,535	1171,539

Tabela IV-10

Esforços normais nas barras da subestrutura 3 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-6,694	-6,694
2	-6,694	-6,694
3	-6,694	-6,694
4	-5,562	-5,562

Tabela IV-7

Momentos fletores inferiores nas barras da subestrutura 3 (tfcm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-561,573	-561,573
2	304,981	304,981
3	1171,535	1171,535
4	0,000	-0,002

Tabela IV-9

Esforços cortantes nas barras da subestrutura 5 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	4,327	4,327
2	4,327	4,327
3	4,327	4,327
4	-7,951	-7,951

Tabela IV-12

Momentos fletores superiores nas barras da subestrutura 5 (tfcm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-1403,819	-1403,819
2	-538,355	-538,355
3	327,107	327,107
4	1192,575	1192,575

Tabela IV-14

Esforços normais nas barras da sub-estrutura 5 (tf)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-3,439	-3,439
2	-3,439	-3,439
3	-3,439	-3,439
4	-3,121	-3,121

Tabela IV-11

Momentos fletores inferiores nas barras da subestrutura 5 (tfcm)		
Barra	PROG. 1	PROG. 2
1	-538,355	-538,355
2	327,107	327,107
3	1192,573	1192,573
4	0,000	-0,003

Tabela IV-13

C O N C L U S Õ E S

O objetivo deste trabalho é o cálculo dos esforços internos e deslocamentos nas extremidades das barras dos diversos tipos de estruturas lineares que podem estar compondo uma estrutura. Acredita-se que esse objetivo foi atingido tanto no cálculo em si, como na possibilidade de calcular uma estrutura com muitos nós, reduzindo-se a ordem de sua matriz de rigidez global e tratando-a como formada de vários tipos de subestruturas lineares.

Considerando-se uma determinada capacidade de memória de computador, como era de se esperar, a utilização da Técnica das Subestruturas possibilitou a resolução de estruturas, que pelo grande número de barras e de nós, não poderiam ser tratadas sem esta técnica. É importante lembrar que, quanto maior for a memória auxiliar do computador maior será o número de nós e barras possíveis de serem analisados no programa do presente trabalho.

Outro aspecto a ser ressaltado é o tempo de execução que, apesar de se trabalhar com memória auxiliar, ob

servou-se que, em todos os exemplos apresentados houve uma grande rapidez de execução.

Quanto à validade dos resultados e a versatilidade do programa no tocante às variedades de ligação dos diversos tipos de subestruturas, os próprios exemplos apresentados com suas tabelas e gráficos comprovam por si só, que o programa funciona conforme se esperava.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - PRZEMIEWIECKI, J.S. Theory of matrix structural analysis. New York, McGraw-Hill, 1968. 467 p.
- 2 - GERE, J.M. & WEAVER JR., W. Análise de estruturas reticuladas. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1981. 443 p.
- 3 - ROSEN, R. & RUBINSTEIN, M.F. Substructure analysis by matrix recomposition. Journal of Structural Division, Proc. ASCE, New York, 96 (3): 663-70, Marc. 1970.
- 4 - PRZEMIEWIECKI, J.S., loc. cit.
- 5 - Id., Ibid.
- 6 - SORIANO, H.L. Sistemas de equações algébricas lineares em problemas estruturais. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981. 400 p. (Seminário 280).
- 7 - WEAVER, JR., W. Computer programs for structural analysis. Princeton, D. Van Nostrand, 1967. 330 p.
- 8 - SISTEMA LASER. Linguagem para análise de sistemas estruturais reticulados. Programa TESP-1. Análise de treliças espaciais - EESC-USP.
- 9 - ANTUNES, H.M.C.C. Programa para cálculo de grelhas - EESC-USP.
- 10 - Id. Programa para cálculo de pórticos planos - EESC-USP.
- 11 - SISTEMA LASER. Id. Programa PPLAN1. Análise de Pórticos Planos - EESC-USP.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 - ANTUNES, H.M.C.C. Carregamento crítico de instabilidade geral para estruturas tridimensionais de edifícios altos. São Carlos, EESC-USP, 1978. 160 p. (Tese doutorado).
- 2 - GERE, J.M. & WEAVER JR., W. Análise de estruturas reticuladas. Rio de Janeiro, Guanabara - Dois, 1981. 443 p.
- 3 - HEHL, M.E. Sistemas de programação Fortran IV - G-H. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1979. 240 p.
- 4 - PRUDENTE, M. Análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos. São Carlos, EESC-USP, 1983. 150 p. (Dissertação de mestrado).
- 5 - PRZEMIEWIECK, J.S. Theory of matrix structural analysis. New York, McGraw-Hill, 1968. 407 p.
- 6 - RUBINSTEIN, M.F. Matrix computer analysis of structures. New Jersey, Prentice - Hall, 1966. 402 p.
- 7 - RUBINSTEIN, M.F. & ROSEN, R. Substructure analysis by matrix decomposition. Journal of structural division, Proc. ASCE, New York, 96(3): 663-70, Mar., 1970.
- 8 - SORIANO, H.L. Sistemas de equações algébricas lineares em problemas estruturais. Lisboa, Lab. Nacional de Engenharia Civil, 1981. 400 p. (Seminário 280).
- 9 - KARDESTUNCER, H. Introducción al análisis estructural con matrices. México, McGraw-Hill, 1975. 418 p.