

ANÁLISE DE ESTRUTURAS RETICULADAS ESPACIAIS COM BARRAS
DE EIXO CURVO E SEÇÃO VARIÁVEL

MARIA DEL PILAR AUREA MANUELA RODRIGUEZ PAZOS

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JA-
NEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE "MESTRE EM CIÊNCIA" (M.Sc.).

Aprovado por:

Fernando L. Lamer
Presidente
Jaime Cesariliani
Roberto Yamaguchi
Nelson Francisco Fátima Ebedeu

RIO DE JANEIRO
ESTADO DA GUANABARA - BRASIL
DEZEMBRO DE 1973

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Fernando Luiz Lobo Carneiro, pelo exemplo que nos dá todos os dias, através de sua dedicação ao magistério e do seu empenho em auxiliar a todos que a ele recorrem; em particular, pela orientação dada a esta tese.

A todos os professores da UFRJ, pelos ensinamentos básicos, tão bem transmitidos.

A todos os professores da COPPE, que fizeram com que eu desenvolvesse meus conhecimentos.

Aos meus colegas, da COPPE, da PROJECTUM e do NCE, que colaboraram para que eu concluísse este trabalho.

A todos os funcionários do NCE, pois, sua ajuda foi muito importante.

A todos os funcionários da COPPE, em particular a Heloisa, pela solicitude com que sempre me atendeu.

À Conceição pela sua paciência ao datilografar esta tese.

Enfim, aos que souberam me incentivar e me deram apoio, pois, sem isto, este trabalho seria impossível.

RESUMO

Esta tese se compõe de um programa de computador para resolução de estruturas espaciais compostas de elementos unidimensionais. Os elementos unidimensionais podem ter eixo reto ou curvo, secção constante ou variável. A secção transversal pode ser qualquer desde que possua pelo menos um eixo de simetria. Quando esta condição não é satisfeita os resultados obtidos são aproximados. Os elementos de eixo curvo podem ter forma circular, parabólica ou qualquer outra. Os elementos podem ter liberações nas extremidades e os apoios podem ser rígidos ou elásticos. É possível analisar também estruturas que possuam elementos de diferentes materiais.

O programa foi desenvolvido baseado no Gere e Weaver e em teses já existentes na COPPE. São apresentadas a listagem do programa bem como exemplos de aplicação.

ABSTRACT

The present thesis deals with a computer program for the solution of space framed structures. Their unidimensional elements may have straight or curved axis, and constant or variable sections. The cross-section may be of any shape, provided it has at least an axis of symmetry. When this condition is not satisfied, the final results are only approximated. Curved axis elements may be circular, parabolic or assume any other form of plane curve. Curved elements may have start or end releases and their supports may be either rigid or elastic. It is also possible to analyze structures having elements of different materials.

This program was developed based upon Gere and Weaver, and on theses already existing in COPPE. The computer program is listed and examples of its application are shown.

INDICE

INTRODUÇÃO	viii
NOTAÇÃO	xii
CAPÍTULO I - Método da Flexibilidade ou das Forças e Método da Rigidez ou dos Deslocamentos	
1 - Introdução	1
2 - Método da Flexibilidade	2
3 - Método da Rigidez	3
CAPÍTULO II - Análise Matricial pelo Método dos Deslocamentos	
1 - Sistemas de Referência	
1.1 - Sistema de Referência Local	5
1.2 - Sistema de Referência Global	8
2 - Matriz de Rotação	
2.1 - Elemento contido num plano qualquer	10
2.2 - Elemento contido num plano perpendicular a XZ e paralelo a XY	15
2.3 - Elemento ortogonal ao plano XZ	17
2.4 - Introdução do ângulo α no programa .	18
3 - Matriz de Rigidez dos Membros	
3.1 - Matriz de Rigidez de Elementos Retos	
3.1.1 - Matriz de Rigidez de Elementos Retos com Secção Constante	20
3.1.2 - Matriz de Rigidez de Elementos Retos com Secção Variável	24
3.2 - Matriz de Rigidez de Elementos curvos com Secção Constante ou Variável	28

4 - Esforços de Engastamento	
4.1 - Esforços de Engastamento em Elementos Retos	
4.1.1 - Esforços de Engastamento em Elementos Retos com Secção Constante ou Variável	36
4.2 - Esforços de Engastamento em Elementos Curvos com Secção Constante ou Variável	
4.2.1 - Elementos de Eixo Curvo sujeitos a cargas concentradas inclinadas em relação aos três eixos.....	42
4.2.2 - Elementos de Eixo Curvo sujeitos a carga distribuída paralela ao eixo Y_M	48
4.2.3 - Elementos de Eixo Curvo sujeitos a carga distribuída paralela ao eixo X_M	52
4.2.4 - Elementos de Eixo Curvo sujeitos a carga distribuída total paralela ao eixo Z_M .	56
4.2.5 - Elementos de Eixo Curvo sujeitos a carga distribuída parcial paralela ao eixo Z_M	59
4.2.6 - Elementos de Eixo Curvo sujeitos a Momento Uniforme Total	62
5 - Introdução das Liberações nos membros ..	64

CAPITULO III - Programa Automático

1 - Diagrama de Blocos do Programa Principal	68
2 - Explicações sobre o Programa e Subrotinas	
2.1 - Comentários sobre o Programa Principal	101
2.2 - Comentários sobre as Subrotinas	
2.2.1 - Subrotina FORMA	110
2.2.2 - Subrotina INVER	110
2.2.3 - Subrotina LIBER	110
2.2.4 - Subrotina RIREC	111
2.2.5 - Subrotina RIREV	111
2.2.6 - Subrotina RERIV	111
2.2.7 - Subrotina RICUR	111
2.2.8 - Subrotina ESRET	112
2.2.9 - Subrotina CURV	112
2.2.10- Subrotina CURDY	113
2.2.11- Subrotina CURDX	113
2.2.12- Subrotina CURDZ	113
2.2.13- Subrotina CIRDZ	114
2.2.14- Subrotina CURMT	114
3 - Manual de Entrada	115
4 - Listagens do Programa Principal e das Subrotinas	124
CAPITULO IV - Exemplos	176
CAPITULO V - Conclusões	213
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	215

INTRODUÇÃO

Freqüentemente, os calculistas estruturais são solicitados para calcular estruturas complexas cuja solução manual é menos econômica que a solução quando se recorre a um programa de computador.

Na COPPE, no Departamento de Engenharia Civil vem sendo organizada uma biblioteca de programas, cuja finalidade entre outras é a de atender à constante solicitação dos escritórios de cálculo.

Atualmente, conta-se com programas para resolver estruturas com duas dimensões predominantes (placas, chapas etc...) ou com três dimensões (blocos, barragens, etc...). São programas baseados no Método dos Elementos Finitos.

Para estruturas com elementos unidimensionais existem programas para resolução de pórticos com elementos de eixo reto ou curvo (4), grelhas com elementos de eixo reto ou curvo (5) e pórticos espaciais com elementos de eixo reto (3). Em todos estes programas são previstos elementos com secção constante ou variável.

Tendo em vista a complementação desta série, resolvemos fazer um programa que analisasse estruturas espaciais (com seis graus de liberdade em cada nó) que possuíssem elementos de eixo curvo.

A utilidade deste programa é grande uma vez que se aplica a pontes curvas, com curvatura em planta e em perfil, a coberturas de projeção circular com eixos curvos segundo os meridia

nos e paralelos, e se aplica também a estruturas com eixo helicoidal, desde que todos os eixos reversos sejam divididos em eixos curvos contidos em um plano.

O programa foi feito utilizando dois dos computadores existentes na UFRJ, ambos da IBM, um de modelo 1130 e outro de modelo/360. O primeiro foi utilizado principalmente para depuração do programa. O segundo, de maior capacidade e mais rápido, foi utilizado para processar os exemplos práticos. O tempo de processamento do programa se encontra nas listagens.

O processamento de um mesmo exemplo prático pelo STRESS, implantado no 1130, e pelo programa no /360 foi de uma hora para o STRESS e aproximadamente três minutos para o mesmo exemplo resolvido pelo programa.

Para utilizar o STRESS quando temos eixos curvos, é necessária a sua subdivisão em elementos retos; isto faz com que a estrutura necessite de grande número de membros, quando se quer precisão.

Os resultados obtidos nos dois programas são iguais, quando se aumenta o número de elementos no STRESS.

Com a finalidade de considerar as cargas mais frequentes que ocorrem nos tipos de estruturas que podem ser resolvidas por este programa, foram criadas em separado sete subrotinas que calculam os esforços de engastamento perfeito.

Os elementos retos foram tratados à parte e uma subrotina engloba todos os tipos de carregamento possíveis nos mesmos.

Para os elementos curvos foram desenvolvidas seis subrotinas independentes, uma vez que alguns carregamentos s \tilde{o} se aplicam a arcos e outros a vigas curvas.

A \tilde{u} nica subrotina que se aplica a ambos \acute{e} a que calcula esfor \tilde{c} os de engastamento perfeito para elementos sujeitos a cargas concentradas decompostas nas dire \tilde{c} ões dos tr \tilde{e} s eixos locais.

Duas subrotinas s \tilde{a} o exclusivamente para arcos; s \tilde{a} o as que calculam esfor \tilde{c} os de engastamento perfeito para carga distribuida paralela a X_M e Y_M .

Tr \tilde{e} s subrotinas s \tilde{a} o se aplicam a vigas curvas: duas destas calculam esfor \tilde{c} os de engastamento perfeito para carga distribuida paralela a Z_M (uma para carga parcial e outra para carga total) e a terceira subrotina calcula esfor \tilde{c} os de engastamento perfeito para vigas sujeitas a momento torsor distribuido.

Existem ainda tr \tilde{e} s subrotinas para calcular a matriz de rigidez de elementos retos: uma para elementos com sec \tilde{c} ão constante e duas, interligadas, para elementos com sec \tilde{c} ão variável.

J \tilde{a} para os elementos curvos, no c \tilde{a} lculo da matriz de rigidez se usa apenas uma subrotina que prev \tilde{e} a exist \tilde{e} ncia de elementos com sec \tilde{c} ão constante ou variável.

Existe uma subrotina com a finalidade de modificar a matriz de rigidez, quando o elemento possui articula \tilde{c} ões nas suas extremidades.

O programa cont \tilde{e} m tamb \tilde{e} m uma subrotina para invers \tilde{a} o de matrizes, baseada no m \tilde{e} todo de parti \tilde{c} ão de Choleski.

Para calcular os ângulos de inclinação e as ordenadas das secções dos elementos de eixo curvo, existe um subrotina específica.

O programa utiliza também, para fazer as integrações, a subrotina QSF da IBM.

O programa principal trabalha, portanto, com o auxílio de quinze subrotinas.

No capítulo III, são apresentados, além dos diagramas de blocos, as listagens e explicações sobre o programa principal e subrotinas.

Com o auxílio do manual de entrada do programa, cremos que este pode ser facilmente utilizado.

Esperamos ter contribuído, um pouco, para a resolução de estruturas deste tipo, e temos fé de que ele servirá como primeiro passo para criação de outros programas.

NOTAÇÕES

$\{ A \}$	Vetor das ações globais
A	Abcissa inicial da carga distribuída parcial, paralela a Y_M ou Z_M , nos elementos retos
AA ou α	Angulo entre o eixo Y_M (local) e o eixo Y (global)
$\{ AC \}$	Vetor de cargas combinadas nos nós
$\{ AE \}$	Vetor de ações equivalentes nos nós
AH	Abcissa inicial da carga distribuída parcial, paralela a X_M , nos elementos retos
$\{ AM \}$	Vetor das ações locais no elemento
$\{ AML \}$	Vetor dos esforços de engastamento perfeito no sistema local
$\{ AMS \}$	Vetor dos esforços de engastamento perfeito no sistema local para elementos curvos
$\{ AR \}$	Vetor das reações de apoio
$\{ AT \}$	Vetor auxiliar para obtenção de AML
AX	Secção transversal dos elementos de secção constante
AXI	Secção transversal dos elementos de secção variável
AXL	Abcissa inicial do torsor parcial distribuído em elementos retos
AXT	Abcissa do momento torsor concentrado em elementos retos

B	Abcissa final da carga distribuída parcial, paralela a Y_M ou Z_M , em elementos retos
BB	Índice para teste de liberações nos membros
BH	Abcissa final da carga distribuída parcial, paralela a X_M , nos elementos retos
BX1	Abcissa final do torsor parcial distribuído em elementos retos
CRL	Lista cumulativa de restrições
{D}	Vetor de deslocamentos globais
DA	Abcissa do ponto de aplicação da carga concentrada, ou distância até o início da carga parcial distribuída, em elementos curvos
DB	Distância contada da extremidade direita até o ponto de aplicação da carga concentrada, ou até o final da carga parcial distribuída em elementos curvos
DC	Comprimento do intervalo carregado com a carga uniforme parcial paralela a Y_M
DE	Distância até o início da carga uniforme parcial paralela a Z_M
{DL}	Vetor de deslocamentos devidos as cargas
{DM}	Vetor de deslocamentos locais do elemento
DPMZ	Posição do momento fletor em elementos retos

DPY	Posição da carga concentrada para elementos retos
DQ	Comprimento do intervalo carregado com a carga uniforme parcial paralela a Z_M
E	Módulo de elasticidade longitudinal para a estrutura
EM	Módulo de elasticidade longitudinal dos elementos , quando de materiais diferentes
F	Ordenada máxima dos eixos curvos
FI ou ϕ	Ângulo entre o eixo X_G e o X_M
$[FM]$	Matriz de flexibilidade
G	Módulo de elasticidade transversal da estrutura
GM	Módulo de elasticidade transversal dos elementos, quando de materiais diferentes
$\{H\}$	Vetor auxiliar na inversão da matriz de rigidez global
HA e HB	Abcissa inicial e final da carga trapezoidal parcial distribuída, paralela a X_M , nos elementos retos
ICONC	Índice para concavidades diferentes
ICLB	Índice para indicar liberações
IFI	Variável auxiliar usada, quando $\phi=90^\circ$
IFOR	Índice para indicar forma de eixo curvo
ITM	Índice para indicar tipo de elemento
ITS	Índice para indicar tipo de secção

IX	Momento de inércia à torção para secção constante
IXI	Momento de inércia à torção para secção variável
IY	Momento de inércia à flexão para secção constante
IYI	Momento de inércia à flexão para secção variável
IZ	Momento de inércia à flexão para secção constante
IZI	Momento de inércia à flexão para secção variável
JJ	Junta inicial do elemento
JK	Junta final do elemento
L	Comprimento dos elementos retos ou corda dos elementos curvos
LB	Matriz para teste de liberações
M	Número de membros
MH	Componente horizontal do momento total aplicado a elementos de eixo curvo
MV	Componente vertical do momento total aplicado a elementos de eixo curvo
MT	Momento torsor distribuído uniforme em elementos retos
NJ	Número de juntas
NP ou NPI	Número de secções dos elementos com inércia variável
NR	Número de restrições
NRJ	Número de juntas com restrições
NCC	Número de cargas concentradas

NCM	Número de momentos torsores uniformes
NCDX	Número de cargas distribuídas parciais paralelas a X_M
NCDY	Número de cargas distribuídas parciais paralelas a Y_M
NCDZP	Número de cargas distribuídas parciais paralelas a Z_M
NCDZT	Número de cargas distribuídas totais paralelas a Z_M
NRAD	Índice para ângulos entre X_S e X_M
PMZ	Momento fletor aplicado em elementos retos
PX	Componente da carga concentrada, na direção X_M (local), em elementos curvos
PY	Componente da carga concentrada, na direção Y_M (local), em elementos curvos
PZ	Componente da carga concentrada na direção Z_M (local), em elementos curvos
Q	Carga parcial uniforme distribuída, paralela a Z_M (local), em elementos curvos
QA	Valor inicial da carga distribuída parcial trapezoidal
QB	Valor final da carga distribuída parcial trapezoidal
QDX	Valor inferior da carga distribuída parcial paralela a X_M
QDY	Valor da direita da carga distribuída trapezoidal paralela a Y_M

QEX	Valor superior da carga distribuída parcial paralela a X_M
QEY	Valor da esquerda da carga distribuída trapezoidal paralela a Y_M
QT	Carga total uniforme distribuída paralela a Z_M
QTY	Valor máximo da parcela triangular que compõe a carga distribuída trapezoidal paralela a Y_M
QY	Carga distribuída total, paralela a Y_M , em elementos retos
QZ	Carga distribuída total paralela a Z_M
[R]	Matriz de rotação
RL	Restrições nos apoios no sistema de referência global
[S]	Matriz de rigidez global
[SM]	Matriz de rigidez dos elementos
[SMR]	Matriz de rigidez dos elementos multiplicada pela matriz de rotação
[T]	Matriz auxiliar na formação da matriz de rigidez dos elementos retos com secção variável
TC	Momento torsor concentrado, aplicado em elementos retos
TD	Momento torsor distribuído total aplicado em elementos retos

TDX1 e TDX2	Valor inicial e final do momento torsor trapezoidal parcialmente distribuído em elementos retos
X	Coordenada X das juntas
XG	Abcissa do CG para cargas distribuídas paralelas a Z_M
XM ou xm	Abcissa da secção transversal
Y	Coordenada Y das juntas
YA	Ordenada superior da carga distribuída parcial trapezoidal paralela a X_M
YB	Ordenada inferior da carga distribuída parcial trapezoidal paralela a X_M
YG	Ordenada do CG para cargas distribuídas paralelas a Z_M
YM ou ym	Ordenada da secção transversal
YP	Posição da carga concentrada em relação a X_M
Z	Coordenada Z das juntas

CAPITULO IMETODO DA FLEXIBILIDADE OU DAS FORÇAS EMETODO DA RIGIDEZ OU DOS DESLOCAMENTOS1 - Introdução

Quando se quer calcular uma estrutura hiperestática pode-se optar entre duas formas de análise: a que baseia no Método das Forças e a que se baseia no Método dos Deslocamentos.

Ao se fazer o cálculo manual opta-se pela que resulte em menor número de incógnitas; já quando se utiliza um programa de computador isto não constitui problema.

Os dois métodos são distintos fisicamente nas analogias em sua formulação matemática, bastando que se observem as equações de compatibilidade dos dois métodos.

Ao calcular a estrutura pelo método das forças é necessário que se crie um sistema principal, que se obtém liberando os vínculos excedentes em relação às equações da Estática; já pelo método dos deslocamentos o sistema principal se obtém bloqueando todos os nós.

Portanto, quando se utiliza o método das forças, o sistema principal escolhido não é o único possível, ao passo que, pelo método dos deslocamentos o sistema principal é sempre o mesmo; isto determina a escolha deste método para programação automática em computadores.

2 - Método da Flexibilidade

A análise de uma estrutura pelo método das forças se faz criando inicialmente um sistema principal, obtido pela liberação de vínculos em número suficiente para torná-la estáticamente determinada.

Em seguida, aplicam-se esforços unitários nas direções das liberações dadas. Estabelece-se a matriz de flexibilidade desse sistema principal cujos coeficientes são os deslocamentos na direção das ações excedentes para esforços unitários aplicados sucessivamente nessas direções.

Submetendo a estrutura às cargas determina-se o vetor dos deslocamentos produzidos na direção das ações excedentes.

Tanto os coeficientes da matriz de flexibilidade como os do vetor de deslocamentos produzidos pelas cargas se obtêm pela aplicação do princípio dos trabalhos virtuais.

A equação de compatibilidade do método das forças é:

$$\begin{bmatrix} F \end{bmatrix} \{ Q \} + \{ DL \} = 0$$

onde: $\{ DL \}$ = Vetor dos deslocamentos
 $\begin{bmatrix} F \end{bmatrix}$ = Matriz de flexibilidade
 $\{ Q \}$ = Vetor das ações excedentes

Aplicando a equação de compatibilidade, determina-se o valor dos esforços desconhecidos:

$$\{ Q \} = \begin{bmatrix} F \end{bmatrix}^{-1} \{ DL \}$$

3 - Método dos Deslocamentos

O sistema principal se obtém bloqueando todos os nós da estrutura.

Aplicando deslocamentos unitários sucessivamente no sentido de cada direção bloqueada e mantendo as outras presas, obtêm-se os coeficientes da matriz de rigidez, que são os esforços que aparecem nos nós devidos aos deslocamentos dados.

Submete-se a estrutura às cargas e calculam-se os esforços que aparecem nas extremidades dos membros, estes esforços vão constituir o vetor de ações de engastamento perfeito.

Tanto a matriz de rigidez como o vetor de esforços se obtém pela consideração do princípio dos trabalhos virtuais.

A equação de compatibilidade do método dos deslocamentos é:

$$\{AD\} = \{ADL\} + [S]\{D\}$$

onde: $\{AD\}$ = Vetor das ações na estrutura real correspondente aos deslocamentos desconhecidos

$\{ADL\}$ = Vetor das ações na estrutura restringida, na direção dos deslocamentos procurados, produzidos pelas cargas

$[S]$ = Matriz de rigidez

$\{D\}$ = Vetor dos deslocamentos desconhecidos dos nós.

Os deslocamentos são obtidos a partir da equação anterior e valem:

$$\{D\} = [S]^{-1} [\{AD\} - \{ADL\}]$$

Ao se substituírem as cargas sobre os elementos pelas cargas equivalentes nos nós, têm-se:

$$\{ADL\} = 0$$

$$\{D\} = [S]^{-1} \{AD\}$$

onde:

$\{AD\}$ = Vetor das cargas combinadas nos nós na direção dos deslocamentos procurados.

CAPÍTULO IIANÁLISE MATRICIAL PELO MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS1 - Sistemas de Referência1.1 - Sistema de Referência Local (SRL)

Para montagem da matriz de rigidez do elemento, bem como para o estudo das ações de engastamento nas extremidades dos membros considerados isolados entre si, torna-se necessária a criação de um sistema de referência, localizado no elemento, com orientação de acordo com a numeração dos nós que se situam nas suas extremidades.

Desta forma, as cargas aplicadas ao membro sendo dadas em relação a este sistema de eixos, independendo da posição relativa dos membros, possibilita a análise de forma geral para qualquer orientação que se dê ao elemento.

A determinação do sistema de referência local dentro do programa é automática, bastando que se dêem informações a respeito dos nós inicial e final do membro.

O nó esquerdo é referido como J e o direito como K e a orientação do eixo X_M positivo é de J para K.

A seguir têm-se as representações do sistema de referência local para elementos retos e curvos.

1.1.1 - Elemento Reto no SRL

Quando se trata de um elemento reto o sistema de referência local coincide com o sistema de referência da secção transversal da peça, conforme se pode ver na fig. 1.1.1.

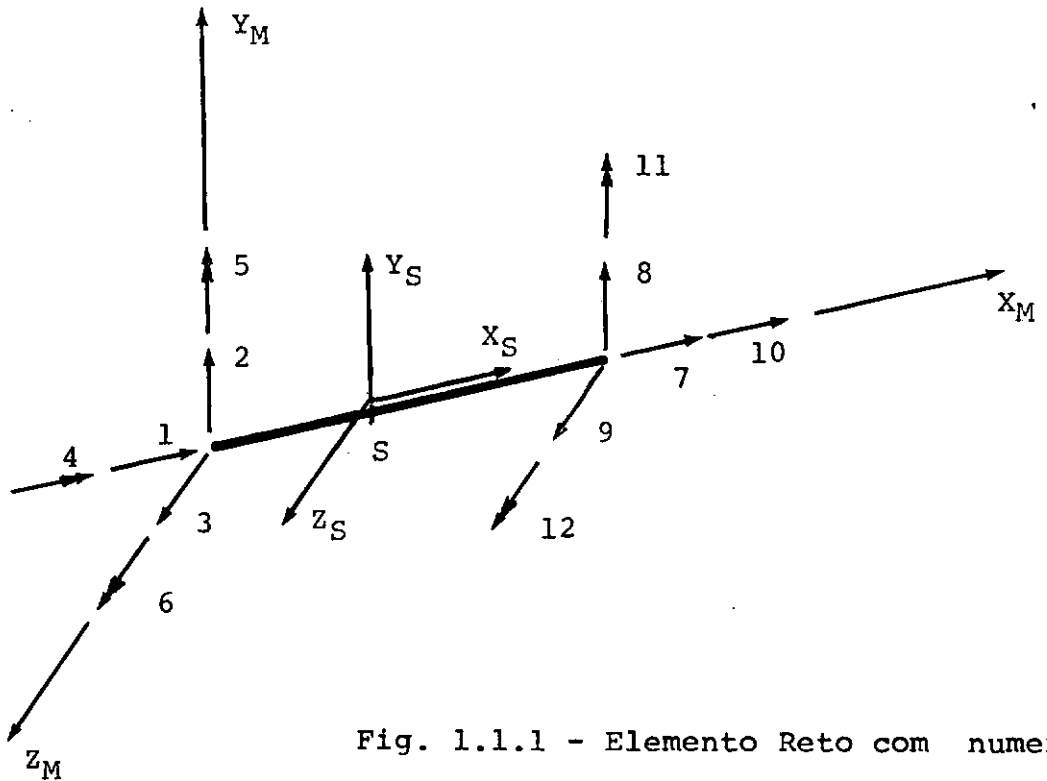


Fig. 1.1.1 - Elemento Reto com numeração das direções das ações e dos deslocamentos no sistema de referência local.

1.1.2 - Elemento Curvo no SRL

No caso de barras de eixo curvo, o sistema de referência local é definido considerando o eixo X_M positivo ligando as extremidades J e K conforme se pode observar na fig. 1.1.2.

As ações de engastamento perfeito e os deslocamentos do membro são calculados em relação ao sistema de referência local de modo a permitir que a análise com relação a eixos de

referência seja a mesma para elementos retos ou curvos.

O sistema de referência das secções não coincide com o sistema de referência local, de forma que, quando se desejam as ações referidas aos eixos da secção é necessária uma rotação de eixos.

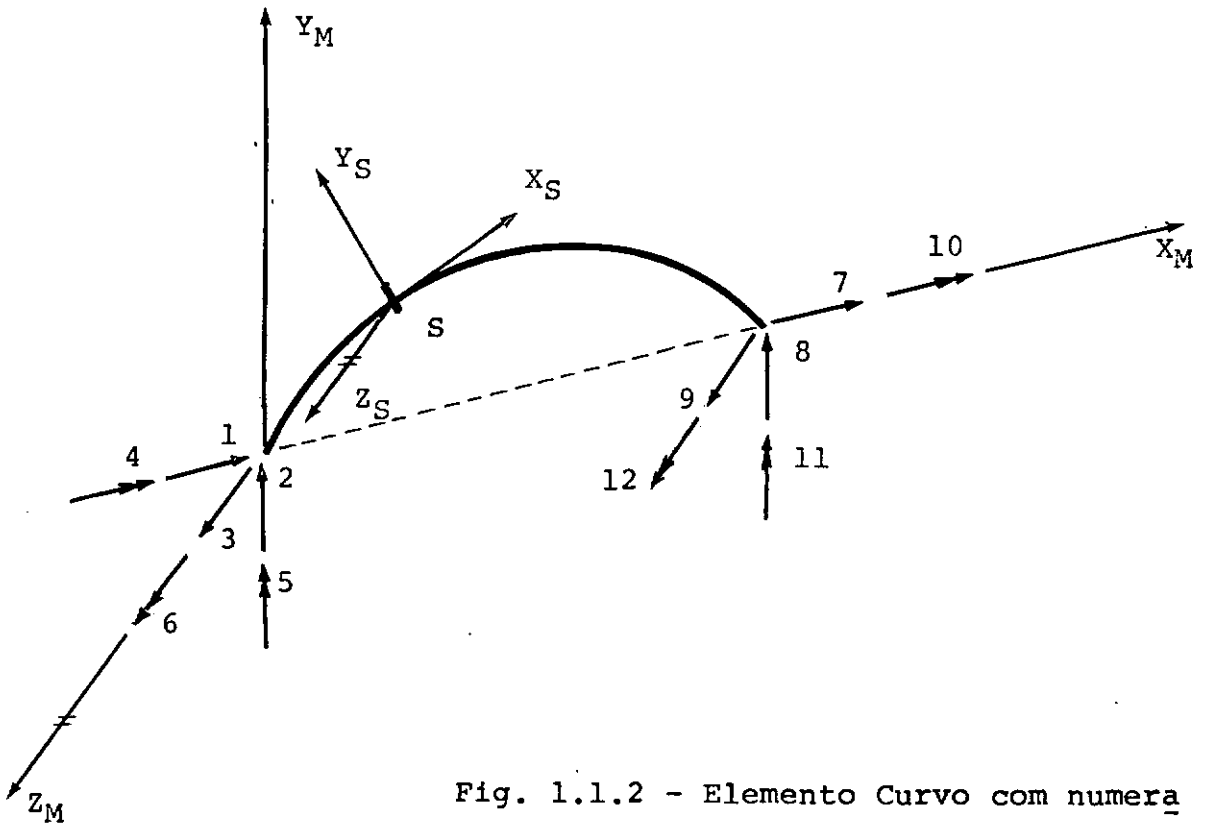


Fig. 1.1.2 - Elemento Curvo com numeração das direções das ações e dos deslocamentos no sistema de referência local.

1.2 - Sistema de Referência Global (SRG)

As coordenadas dos nós da estrutura são dadas no sistema de referência global.

A matriz de rigidez global montada a partir das matrizes de rigidez dos membros, é referida aos nós da estrutura, logo é feita em relação ao sistema global.

As cargas aplicadas as juntas, bem como os resultados fornecidos nas juntas, qual sejam as reações nos apoios e os deslocamentos dos nós são referidas ao sistema global.

Nas figuras que se seguem têm-se o elemento reto e o elemento curvo representados no sistema de referência global.

1.2.1 - Elemento Reto no SRG

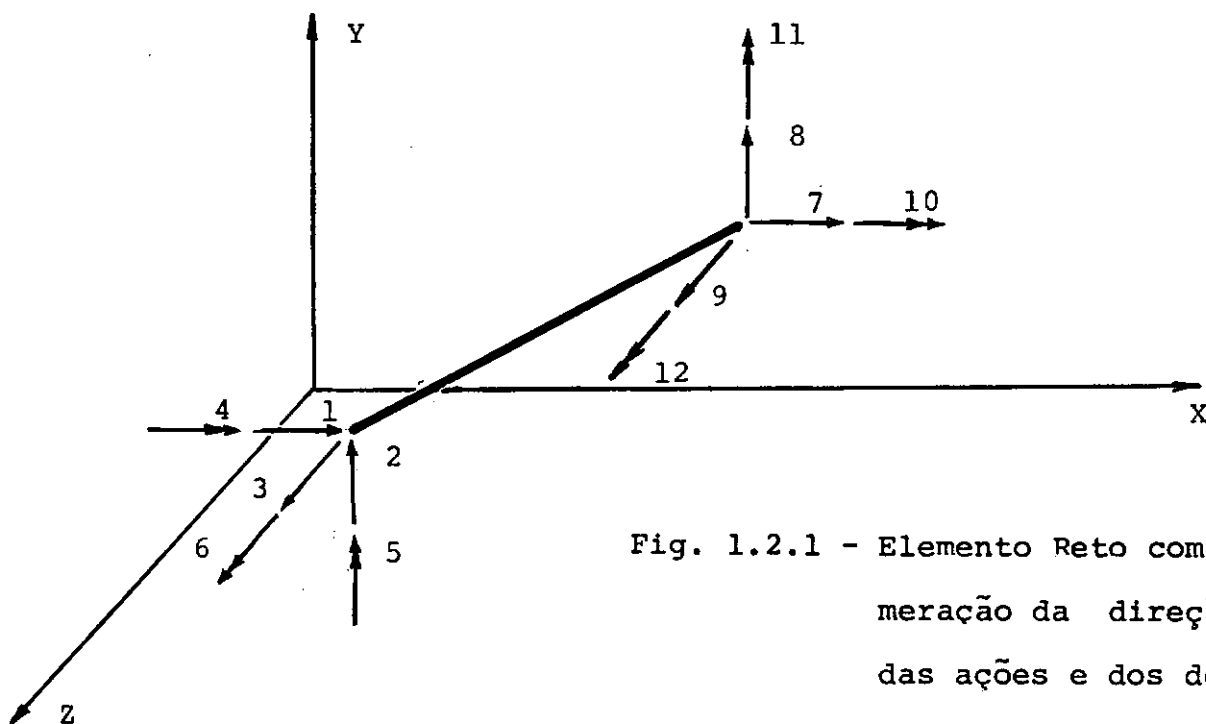


Fig. 1.2.1 - Elemento Reto com numeração da direção das ações e dos deslocamentos no sistema de referência global.

1.2.2 - Elemento Curvo no SRG

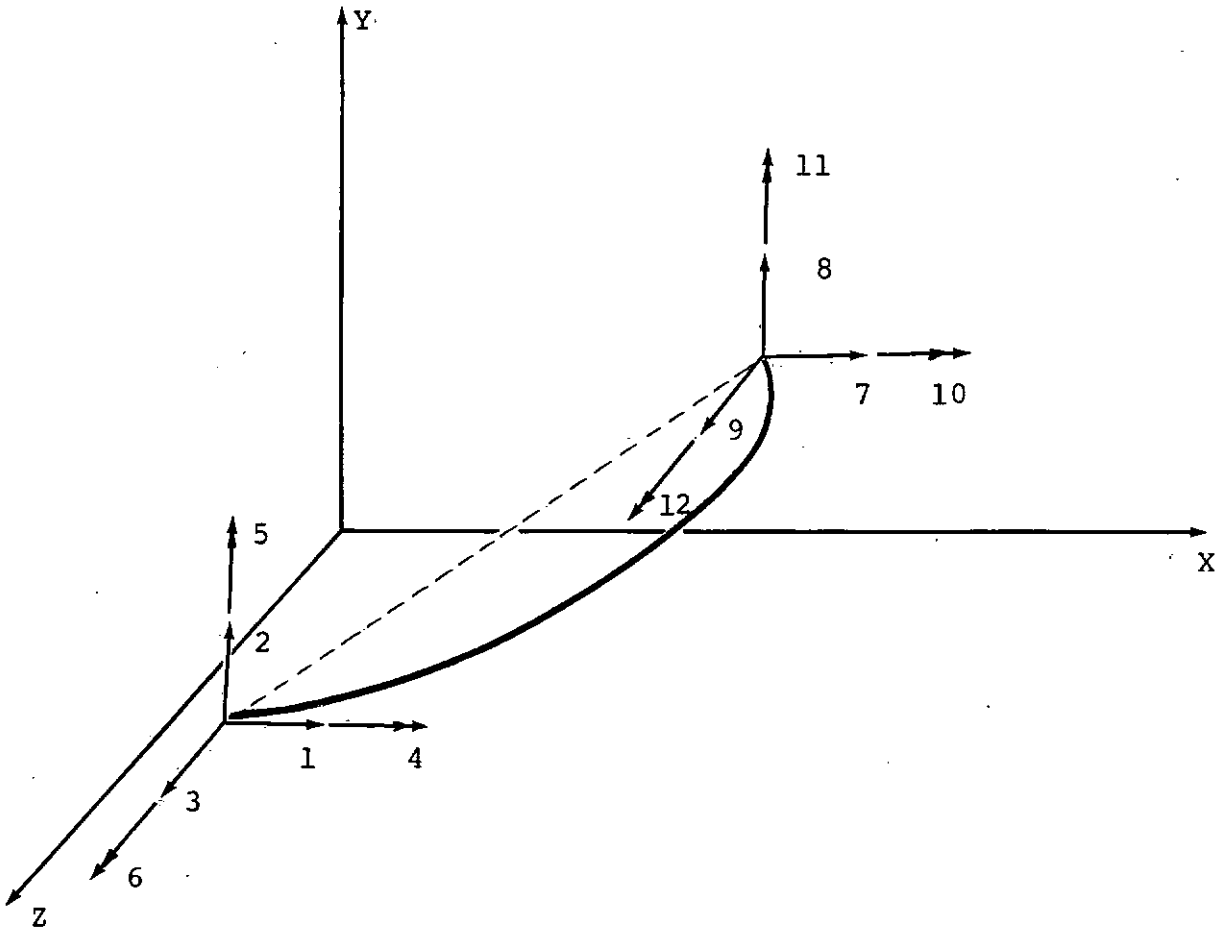
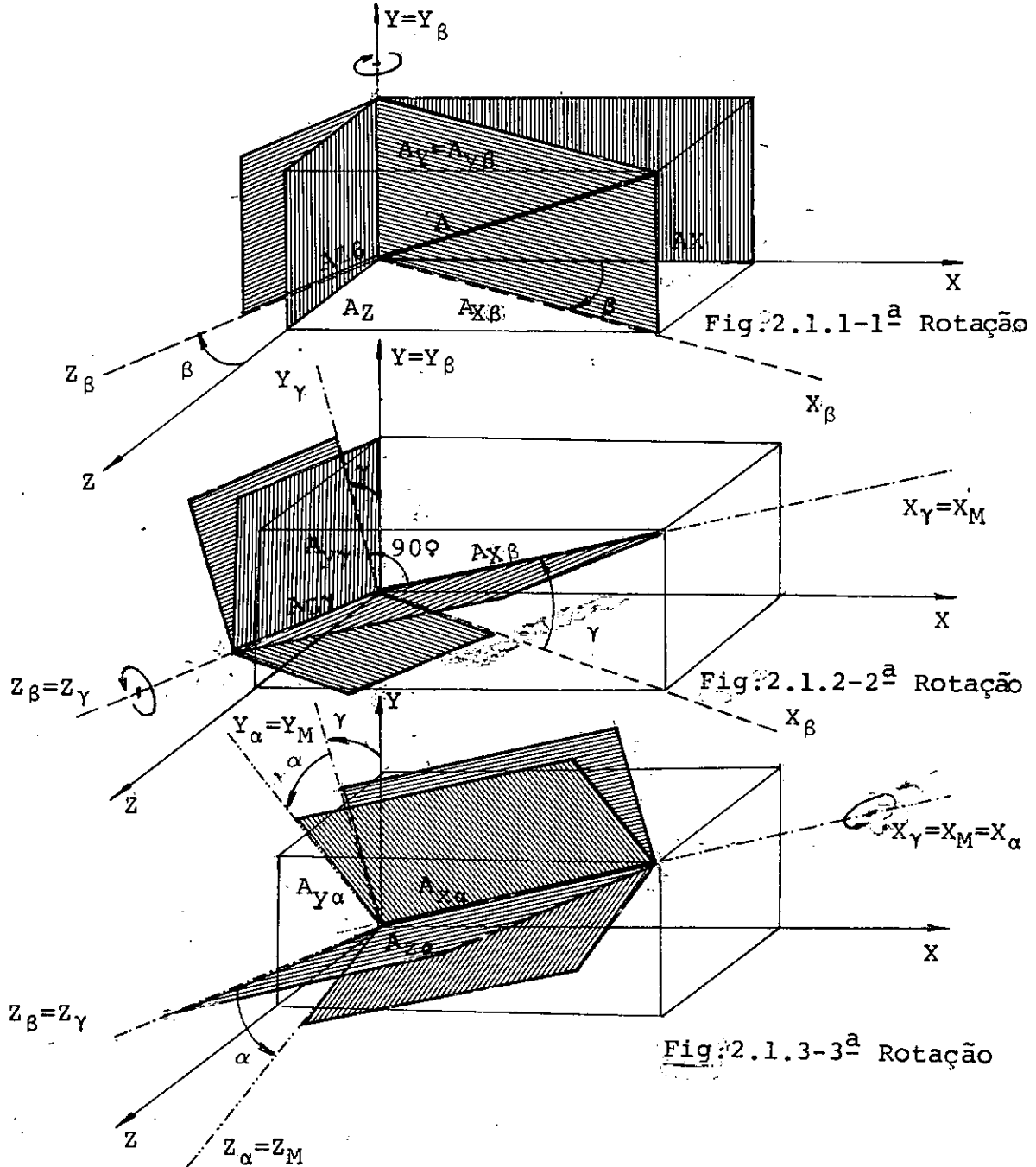


Fig. 1.2.2 - Elemento Curvo com numeração da direção das ações e dos deslocamentos no sistema de referência global.

2 - Matriz de Rotação

2.1 - Elemento Contido num Plano Qualquer

A passagem do Sistema de Referência Local para o Sistema de Referência Global pode ser feita através de três rotações, como é explicado a seguir:



A primeira rotação é feita girando os planos XY e YZ em torno do eixo Y de um ângulo β , obtendo-se os novos eixos X_β e Z_β .

Observando a fig. 2.1.1 verifica-se que a relação entre as ações no $SR\beta$ e no SRG é dada por:

$$\begin{Bmatrix} Ax \\ Ay \\ Az \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\text{sen}\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Ax\beta \\ Ay\beta \\ Az\beta \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} Ax\beta \\ Ay\beta \\ Az\beta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \text{sen}\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Ax \\ Ay \\ Az \end{Bmatrix}$$

$$\left\{ A_\beta^C \right\} = \left[R_\beta \right] \left\{ A^C \right\}$$

Girando os planos $X_\beta Z_\beta$ e $Y_\beta Z_\beta$ em torno do eixo Z_β de um ângulo γ , obtêm-se os novos eixos X_γ e Y_γ , sendo $X_\gamma = X_M$.

Da observação da fig. 2.1.2, tem-se que a relação entre as ações no $SR\beta$ e no $SR\gamma$ é:

$$\begin{Bmatrix} Ax\beta \\ Ay\beta \\ Az\beta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\text{sen}\gamma & 0 \\ \text{sen}\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Ax\gamma \\ Ay\gamma \\ Az\gamma \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} Ax\gamma \\ Ay\gamma \\ Az\gamma \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \text{sen}\gamma & 0 \\ -\text{sen}\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Ax\beta \\ Ay\beta \\ Az\beta \end{Bmatrix}$$

$$\left\{ A_\gamma^C \right\} = \left[R_\gamma \right] \left\{ A_\beta^C \right\} = \left[R_\gamma \right] \left[R_\beta \right] \left\{ A^C \right\}$$

A terceira rotação se faz girando os planos X_Y , Y_Y e X_Z , Y_Z e X_Y em torno do eixo X_Y de um ângulo α , obtendo-se os eixos Y_α e Z_α ,

$$\text{sendo: } Y_\alpha = Y_M$$

$$Z_\alpha = Z_M$$

Através da fig. 2.1.3. pode-se estabelecer a relação entre as ações no SR_Y e SR_α que é:

$$\begin{pmatrix} Ax_Y \\ Ay_Y \\ Az_Y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\text{sen} \alpha \\ 0 & \text{sen} \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Ax_\alpha \\ Ay_\alpha \\ Az_\alpha \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Ax_\alpha \\ Ay_\alpha \\ Az_\alpha \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \text{sen} \alpha \\ 0 & -\text{sen} \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Ax_Y \\ Ay_Y \\ Az_Y \end{pmatrix}$$

$$\left\{ A_M^C \right\} = \left[R_\alpha \right] \left\{ A_Y^C \right\} = \left[R_\alpha \right] \left[R_Y \right] \left[R_\beta \right] \left\{ A^C \right\} = \left[R \right] \left\{ A^C \right\}$$

$$\left\{ A_M^C \right\} = \left[R \right] \left\{ A^C \right\} \text{ onde: } \left[R \right] = \left[R_\alpha \right] \left[R_Y \right] \left[R_\beta \right]$$

Os senos e cossenos dos ângulos β e γ podem ser obtidos através dos cossenos diretores dos elementos. A matriz de rotação é calculada em função destes e do seno e cosseno do ângulo α . Quando o ângulo α é diferente de zero, tem que ser um dado para o programa.

Com o eixo do membro representado no sistema de referência global, fig. 2.1.4, podemos estabelecer as expressões dos cossenos diretores, conforme é explicado a seguir.

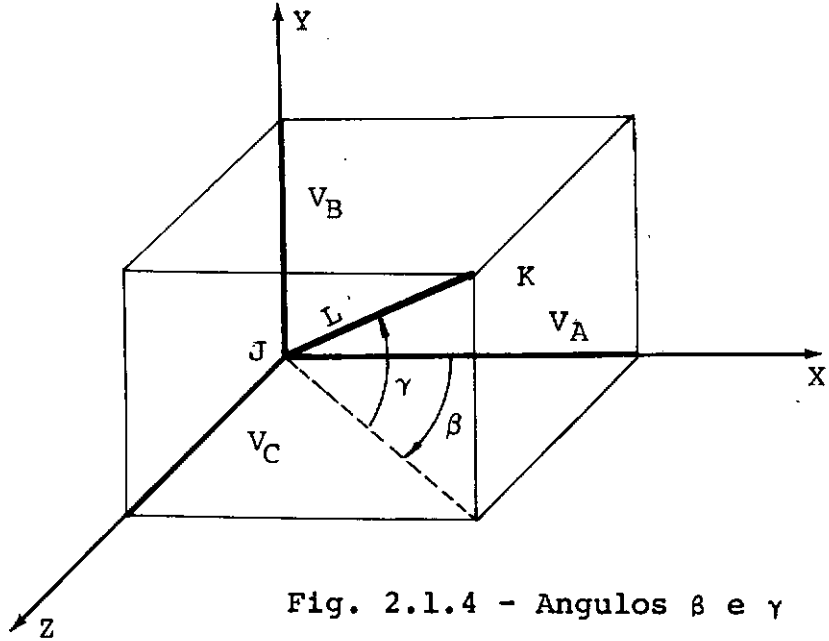


Fig. 2.1.4 - Angulos β e γ

Tendo as coordenadas das juntas J e K, é possível calcular as distâncias V_A, V_B, V_C e L.

Os cossenos diretores para cada membro serão:

$$C_X = \frac{V_A}{L}, \quad C_Y = \frac{V_B}{L} \quad \text{e} \quad C_Z = \frac{V_C}{L}$$

Através da fig. 2.1.4 vê-se que V_A, V_B e V_C podem ser relacionados com L por meio de β e γ , obtendo-se:

$$V_A = L \cos \gamma \cos \beta$$

$$V_B = L \sin \gamma$$

$$V_C = L \cos \gamma \sin \beta$$

Assim CX, CY e CZ passam a ser:

$$CX = \cos\gamma\cos\beta$$

$$CY = \text{sen}\gamma$$

$$CZ = \cos\gamma\text{sen}\beta$$

A matriz de rotação $[R]$ pode ser: então:

$$[R] = [R_\alpha] [R_\gamma] [R_\beta]$$

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \text{sen}\alpha \\ 0 & -\text{sen}\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & \text{sen}\gamma & 0 \\ -\text{sen}\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \text{sen}\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}$$

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \text{sen}\alpha \\ 0 & -\text{sen}\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma\cos\beta & \text{sen}\gamma & \cos\gamma\text{sen}\beta \\ -\text{sen}\gamma\cos\beta & \cos\gamma & -\text{sen}\gamma\text{sen}\beta \\ -\text{sen}\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}$$

Tendo em vista as expressões dos cossenos diretores, po
de-se escrever que:

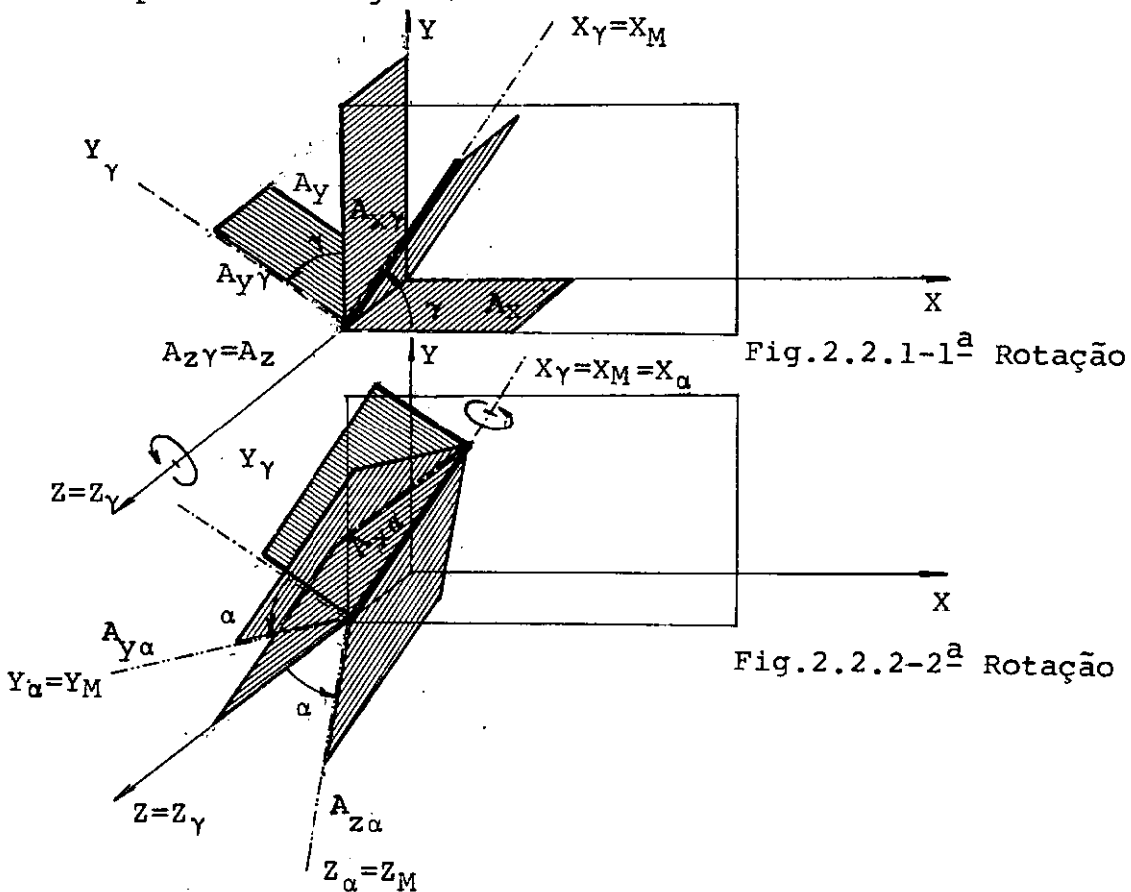
$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \text{sen}\alpha \\ 0 & -\text{sen}\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{CX}{\sqrt{CX^2+CZ^2}} & \frac{CY}{\sqrt{CX^2+CZ^2}} & \frac{CZ}{\sqrt{CX^2+CZ^2}} \\ \frac{-CXY}{\sqrt{CX^2+CZ^2}} & 0 & \frac{-CYCZ}{\sqrt{CX^2+CZ^2}} \\ \frac{-CZ}{\sqrt{CX^2+CZ^2}} & 0 & \frac{CX}{\sqrt{CX^2+CZ^2}} \end{bmatrix}$$

E, finalmente:

$$[R] = \begin{bmatrix} CX & CY & CZ \\ \frac{-CXCY\cos\alpha - CZ\sen\alpha}{\sqrt{CX^2 + CZ^2}} & \sqrt{CX^2 + CZ^2}\cos\alpha & \frac{CYCZ\cos\alpha - CX\sen\alpha}{\sqrt{CX^2 + CZ^2}} \\ \frac{CXCY\sen\alpha - CZ\cos\alpha}{\sqrt{CX^2 + CZ^2}} & -\sqrt{CX^2 + CZ^2}\sen\alpha & \frac{CYCZ\sen\alpha + CX\cos\alpha}{\sqrt{CX^2 + CZ^2}} \end{bmatrix}$$

2.2 - Elemento Contido num Plano Perpendicular a XZ e Paralelo a XY

Para passar do Sistema de Referência Local para o Sistema de Referência Global são necessárias apenas duas rotações feitas da forma explicada a seguir:



A primeira rotação se faz girando os planos XZ e YZ em torno do eixo Z de um ângulo γ , obtendo-se os novos eixos X_γ e Y_γ , sendo $X_\gamma = X_M$

Na fig. 2.2.1, vê-se que a relação em o SRG e o SR_γ é:

$$\begin{pmatrix} Ax_\gamma \\ Ay_\gamma \\ Az_\gamma \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \text{sen}\gamma & 0 \\ -\text{sen}\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Ax \\ Ay \\ Az \end{pmatrix}$$

$$\left\{ A_\gamma^C \right\} = \left[R_\gamma \right] \left\{ A^C \right\}$$

A segunda rotação se faz girando os planos $X_\gamma Y_\gamma$ e $X_\gamma Z_\gamma$ em torno do eixo X_γ de um ângulo α , obtendo-se os eixos Y_α e Z_α , sendo: $Y_\alpha = Y_M$ e $Z_\alpha = Z_M$

Observando a fig. 2.2.2, vê-se que a relação entre o SR_γ e SR_α é:

$$\begin{pmatrix} Ax_\alpha \\ Ay_\alpha \\ Az_\alpha \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \text{sen}\alpha \\ 0 & -\text{sen}\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Ax_\gamma \\ Ay_\gamma \\ Az_\gamma \end{pmatrix}$$

$$\left\{ A_M^C \right\} = \left[R_\alpha \right] \left\{ A_\gamma^C \right\} = \left[R_\alpha \right] \left[R_\gamma \right] \left\{ A^C \right\} = \left[R \right] \left\{ A^C \right\}$$

$$\left\{ A_M^C \right\} = \left[R \right] \left\{ A^C \right\} \text{ onde: } \left[R \right] = \left[R_\alpha \right] \left[R_\gamma \right]$$

$$\left[R \right] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \text{sen}\alpha \\ 0 & -\text{sen}\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & \text{sen}\gamma & 0 \\ -\text{sen}\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

O seno e cosseno de γ se obtêm através dos cossenos - diretores dos elementos, conforme se pode ver na fig. 2.2.3.

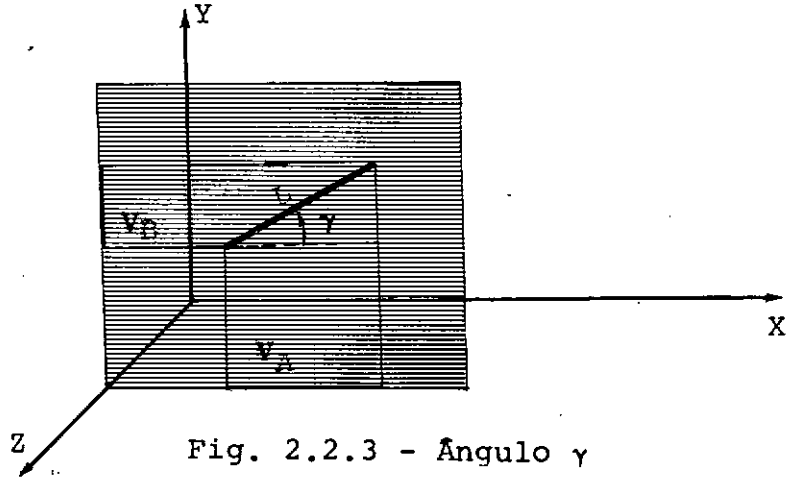


Fig. 2.2.3 - Ângulo γ

$$CX = \frac{V_A}{L} ; CY = \frac{V_B}{L}$$

$$VA = L \cos \gamma ; VB = L \sin \gamma$$

$$CX = \cos \gamma ; CY = \sin \gamma$$

$$[R] = \begin{bmatrix} CX & CY & 0 \\ -CY \cos \alpha & CX \cos \alpha & \sin \alpha \\ CY \sin \alpha & -CX \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

2.3 - Elemento Ortogonal ao Plano XZ

Neste caso, a passagem do Sistema de Referência Local para o Sistema de Referência Global se faz também através de duas rotações de modo semelhante ao anterior, conforme fig. 2.3.1

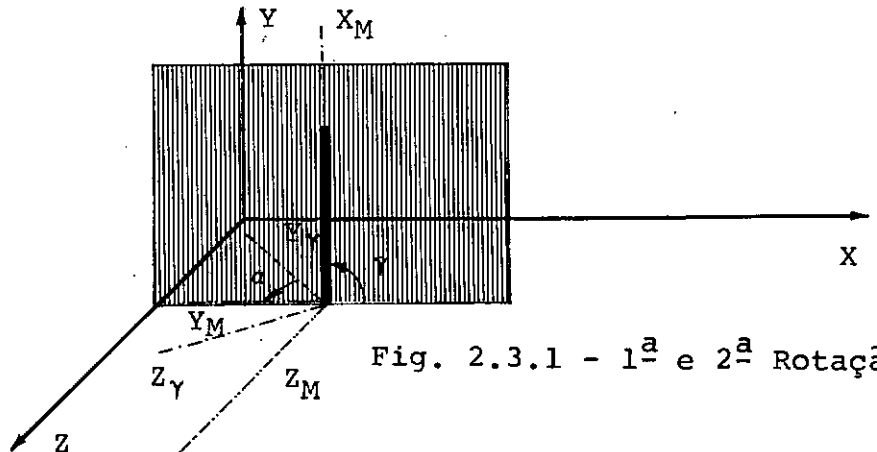


Fig. 2.3.1 - 1ª e 2ª Rotação

A Matriz de Rotação é o produto de duas matrizes, como já foi visto, apenas como o elemento é vertical, sabe-se que:

$$CX = \cos\gamma = 0$$

E, tendo em vista a matriz de rotação estabelecida em 2.2, têm-se:

$$\begin{bmatrix} R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & CY & 0 \\ -CY\cos\alpha & 0 & \text{sen}\alpha \\ CY\text{sen}\alpha & 0 & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

2.4 - Introdução do ângulo α no programa

Introduz-se o ângulo α no programa como se fosse uma das características da estrutura a ser analisada e isto pode ser feito de duas formas:

- 1) α é dado diretamente;
- 2) α é dado através das coordenadas de um ponto pertencente ao plano $X_M Y_M$, mas não sobre o eixo X_M .

A técnica usada no programa é a segunda, que é também a escolhida por Gere e Weaver.

A seguir estão relacionadas algumas normas para introdução do ângulo α na análise de uma estrutura.

2.4.1 - O ângulo α é nulo, e, no programa se faz $AA = 0$, quando:

- 1 - O elemento tiver secção transversal circular,
- 2 - O elemento tiver uma secção qualquer, mas o eixo Y_M estiver contido ou for paralelo ao plano $X_M Y$,

3 - O elemento for vertical e os eixos estiverem localizados, conforme a fig. 2.4.1.

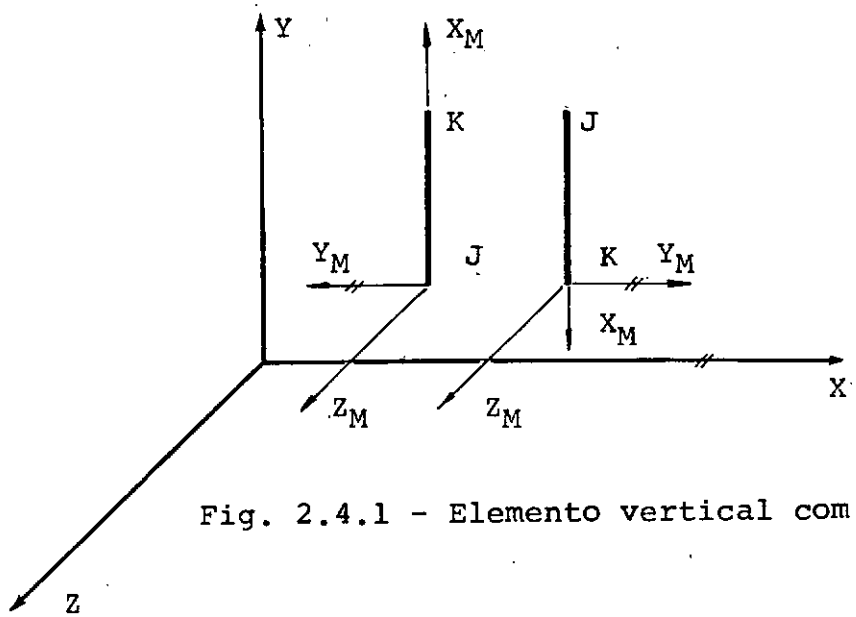


Fig. 2.4.1 - Elemento vertical com $\alpha=0$

2.4.2 - O ângulo α não é nulo e no programa se faz $AA \neq 0$, quando não se tiver nenhuma das situações anteriores. Neste caso o programa calcula o ângulo α a partir das coordenadas de um ponto P localizado no plano $X_M Y_M$, fora do eixo X_M , conforme fig. 2.4.2.

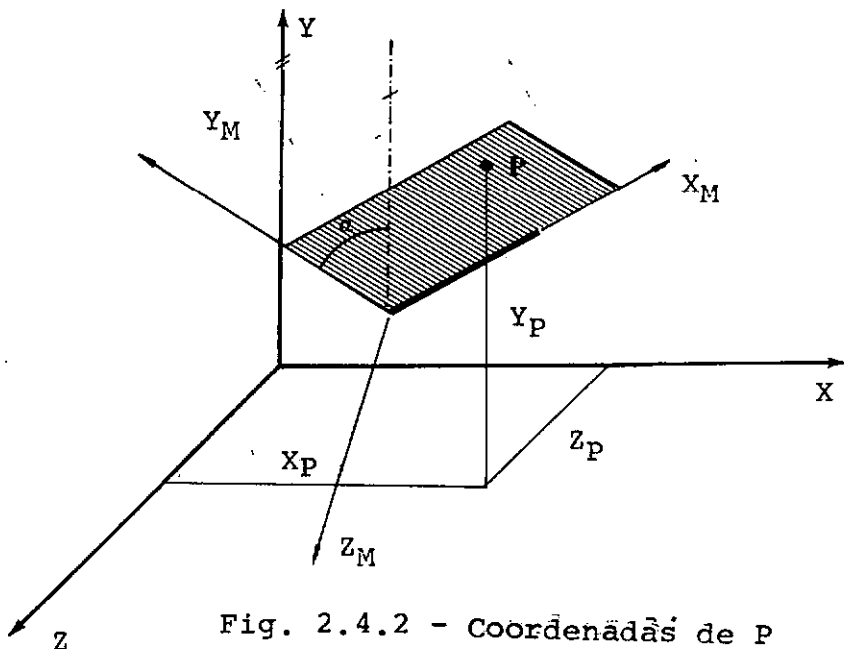


Fig. 2.4.2 - Coordenadas de P

3 - Matriz de Rigidez dos Membros

3.1 - Matriz de Rigidez de Elementos Retos

3.1.1 - Matriz de Rigidez para Elementos Retos com Seção Constante

Um elemento considerado no espaço pode ter seis deslocamentos em cada extremidade, de modo que a matriz de rigidez resultante têm dimensão 12×12 .

Na fig.3.1.1, estão representadas as direções dos 12 deslocamentos possíveis:

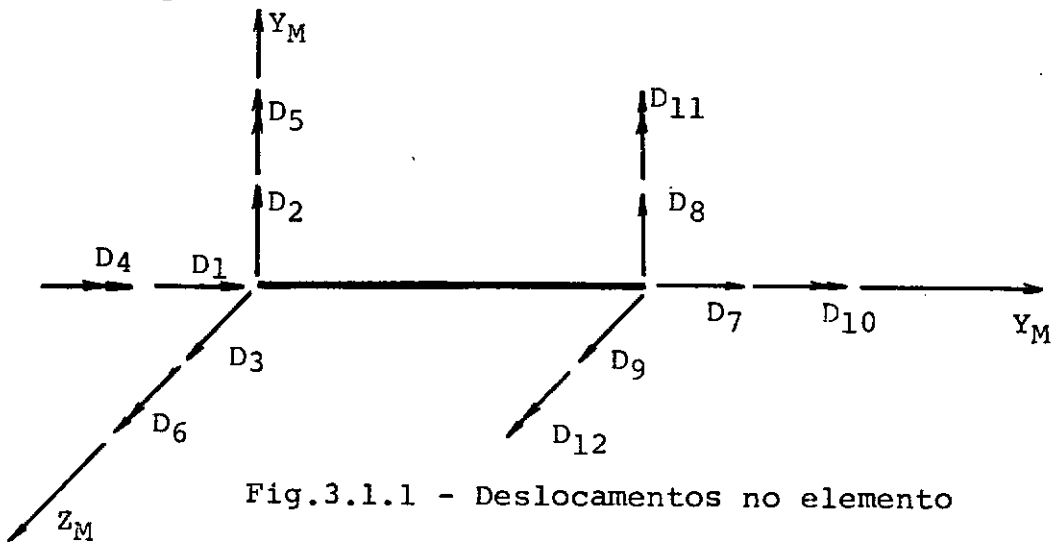


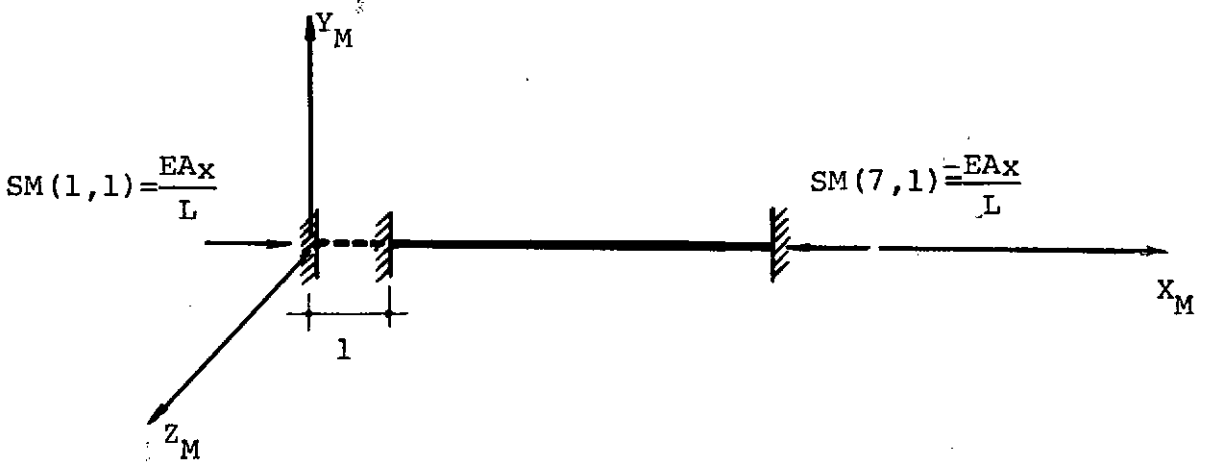
Fig.3.1.1 - Deslocamentos no elemento

Aplicando sucessivamente um deslocamento em cada direção, sendo o elemento impedido de deslocar-se nas demais direções, obtém-se para cada deslocamento a rigidez do membro nas direções bloqueadas, o que constitui uma linha da matriz de rigidez. Assim têm-se, aplicando os seis deslocamentos em cada extremidade, as 12 linhas da matriz de rigidez.

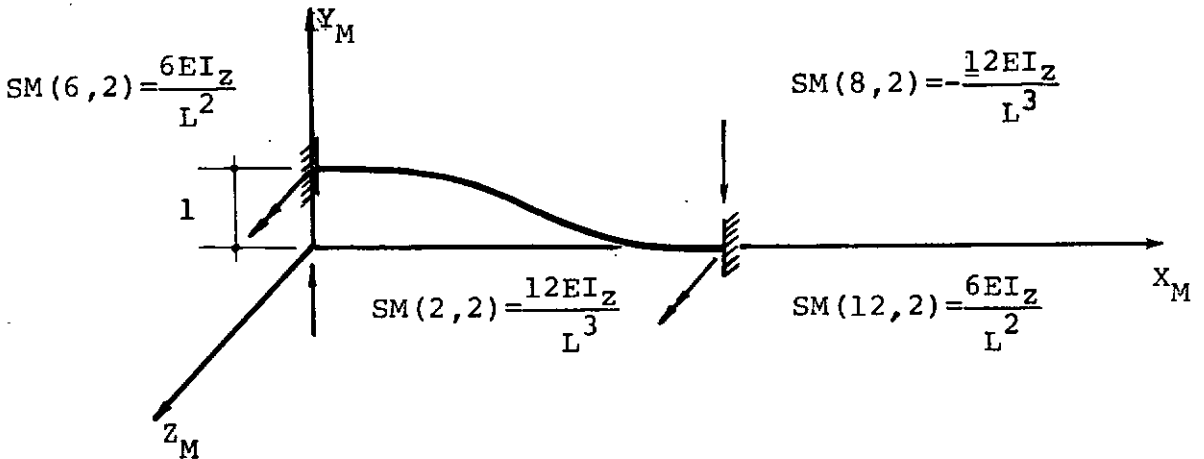
Sendo válido o princípio da reciprocidade de Maxwell e, como o elemento deve permanecer em equilíbrio sob ação dos esforços resultantes, podem-se obter todos os termos da matriz de

rigidez, aplicando-se apenas seis deslocamentos numa das extremidades: Assim têm-se:

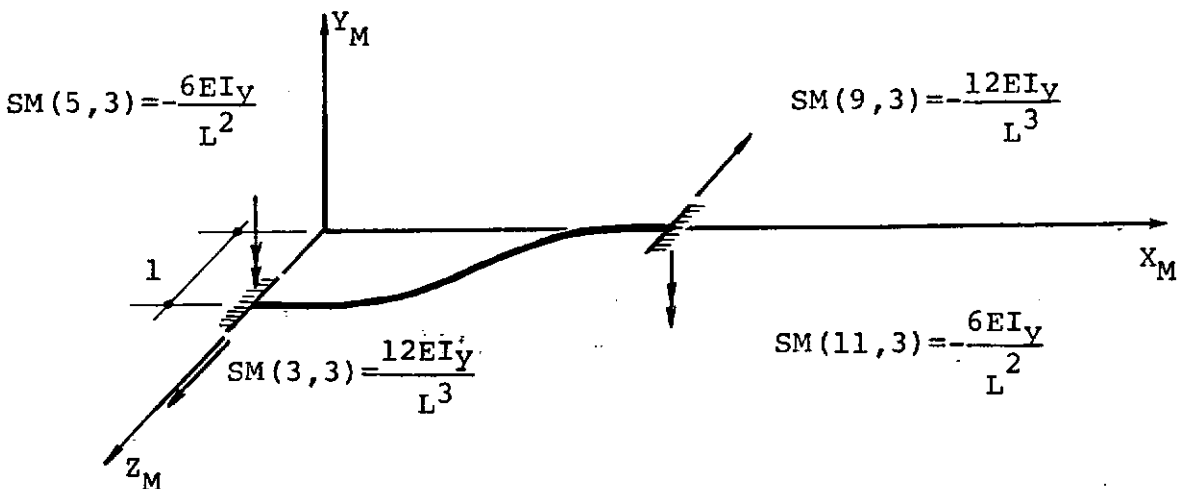
Deslocamento na direção 1:

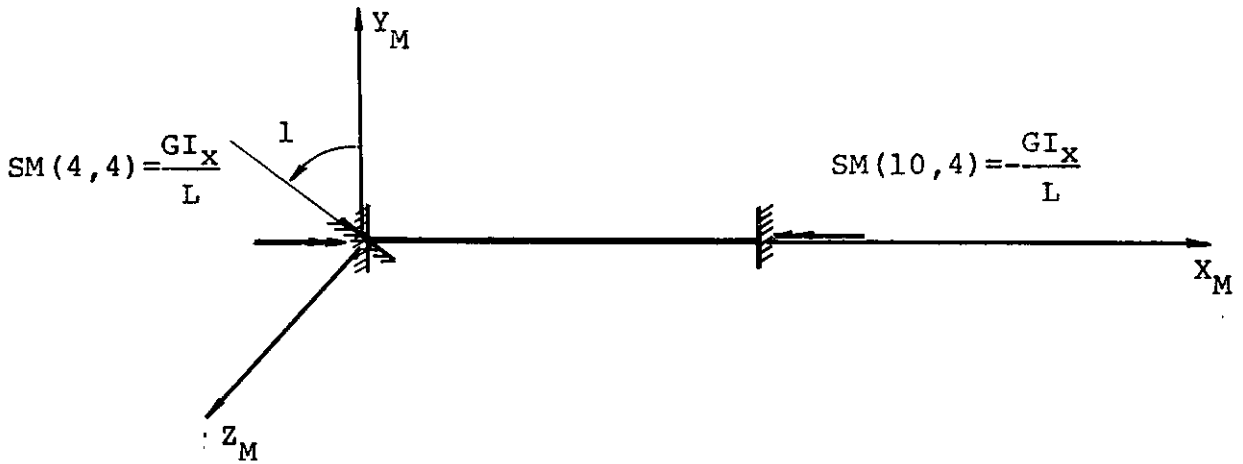
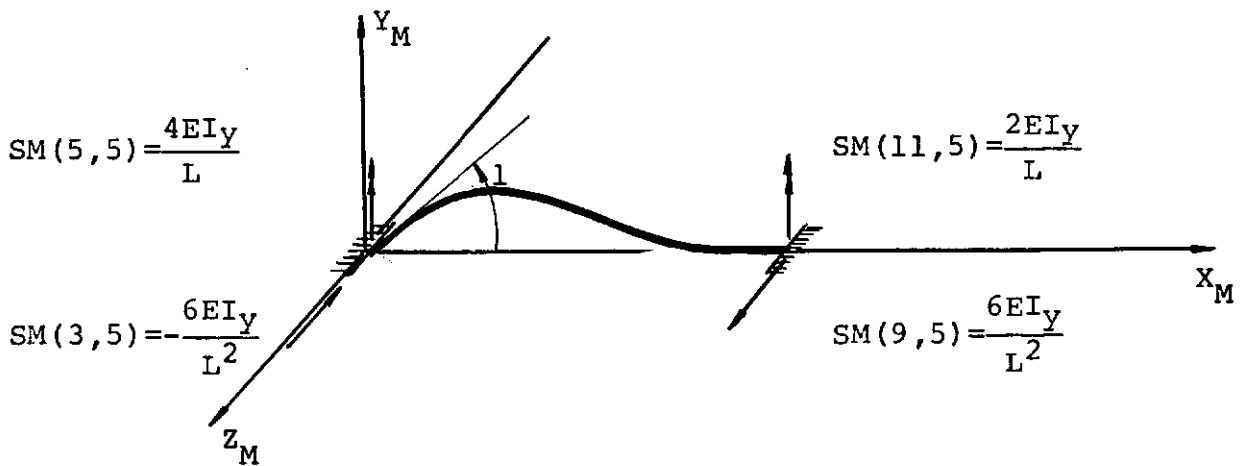
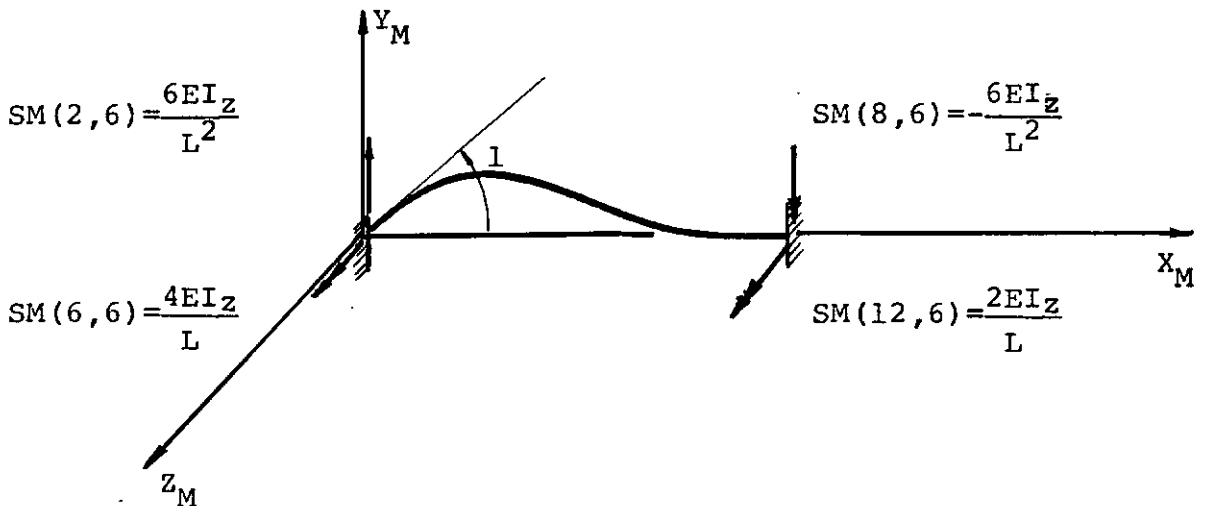


Deslocamento na direção 2:



Deslocamento na direção 3:



Deslocamento na direção 4:Deslocamento na direção 5:Deslocamento na direção 6:

Matriz de Rigidez para o Elemento Reto com Seção Constante

$$\left[SM \right] = \begin{bmatrix}
 \frac{EA_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{-12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\
 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{-6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{-12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{-6EI_y}{L^2} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \frac{GI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-GI_x}{L} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \frac{-6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\
 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & \frac{-6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\
 \hline
 -\frac{EA_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{-12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6EI_z}{L^2} \\
 0 & 0 & \frac{-12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \frac{-GI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI_x}{L} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \frac{-6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\
 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & \frac{-6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L}
 \end{bmatrix}$$

3.1.2 - Matriz de Rigidez de Elementos Retos com Secção variável

A matriz de rigidez de um elemento é composta de quatro submatrizes. Para obter a submatriz do canto inferior direito, podemos calcular a matriz de flexibilidade equivalente e invertê-la. As demais submatrizes são obtidas por condições de equilíbrio e simetria.

A matriz de flexibilidade é obtida considerando-se o elemento engastado numa das extremidades e aplicando-se, sucessivamente, esforços unitários nas seis direções da outra extremidade, ver fig. 3.1.2.

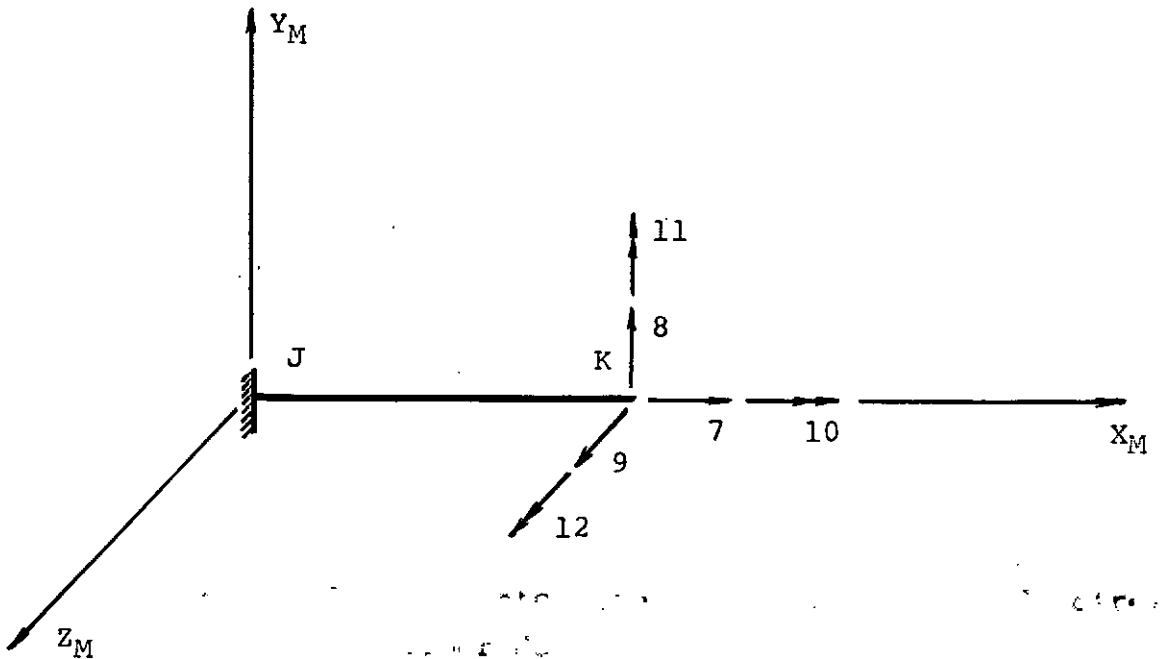

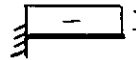
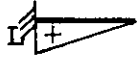


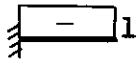
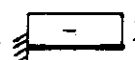
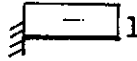


Fig. 3.1.2 - Elemento Reto com a extremidade direita liberada.

Quando se aplicam esforços unitários A_i nas direções de 7 a 12, os esforços que aparecem na direção dos deslocamentos são:

	$N_{x,i}$	$N_{y,i}$	$N_{z,i}$	$M_{x,i}$	$M_{y,i}$	$M_{z,i}$
$A_7=1$		0	0	0	0	0
$A_8=1$	0		0	0	0	
$A_9=1$	0	0		0		0
$A_{10}=1$	0	0	0		0	0
$A_{11}=1$	0	0	0	0		0
$A_{12}=1$	0	0	0	0	0	

Os termos da matriz de flexibilidade se obtêm pela consideração do princípio dos trabalhos virtuais.

O trabalho virtual do esforço externo $A_i=1$ sobre os deslocamentos procurados $F_{i,n}$ é igual ao produto dos esforços internos produzidos por $A_i=1$ pela deformação interna produzida por uma força $A_n=1$ naquelas direções.

$$1 \times F_{i,n} = \int_0^L \left\{ N_{x,i} \frac{N_{x,n}}{EA_x} + N_{y,i} \frac{N_{y,n}}{GA_y} + N_{z,i} \frac{N_{z,n}}{GA_z} + M_{x,i} \frac{M_{x,n}}{GI_x} + M_{y,i} \frac{M_{y,n}}{EI_y} + M_{z,i} \frac{M_{z,n}}{EI_z} \right\} dx$$

Se forem desprezadas as deformações devidas a es
forço cortante tem-se $\frac{N_{y,n}}{GA_y} = 0$ e $\frac{N_{z,n}}{GA_z} = 0$. Logo:

$$F_{i,n} = \int_0^L \left\{ N_{x,i} \frac{N_{x,n}}{EA_x} + M_{x,i} \frac{M_{x,n}}{GI_x} + M_{y,i} \frac{M_{y,n}}{EI_y} + M_{z,i} \frac{M_{z,n}}{EI_z} \right\} dx$$

Observando os diagramas de esforços obtidos, a
matriz de flexibilidade correspondente à extremidade K será:

$$[FM_{kk}] = \begin{bmatrix} \int_0^L \frac{1}{EA_x} dx & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \int_0^L \frac{x^2}{EI_z} dx & 0 & 0 & 0 & \int_0^L \frac{x}{EI_z} dx \\ 0 & 0 & \int_0^L \frac{x^2}{EI_y} dx & 0 & -\int_0^L \frac{x}{EI_y} dx & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \int_0^L \frac{1}{GI_x} dx & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\int_0^L \frac{x}{EI_y} dx & 0 & \int_0^L \frac{1}{EI_y} dx & 0 \\ 0 & \int_0^L \frac{x}{EI_z} dx & 0 & 0 & 0 & \int_0^L \frac{1}{EI_z} dx \end{bmatrix}$$

Invertendo-se esta matriz, obtêm-se a submatriz
de rigidez correspondente à extremidade K. Assim:

$$[SM_{kk}] = [FM_{kk}]^{-1}$$

As demais submatrizes que compoem a matriz de rigidez $[SM]$ se obtêm por considerações de equilíbrio e simetria; ou Assim:

$$[SM] = \begin{bmatrix} [SM_{JJ}] & [SM_{Jk}] \\ [SM_{kJ}] & [SM_{kk}] \end{bmatrix}$$

Usando as condições de equilíbrio, observando a fig. 3.1.3, pode-se escrever:

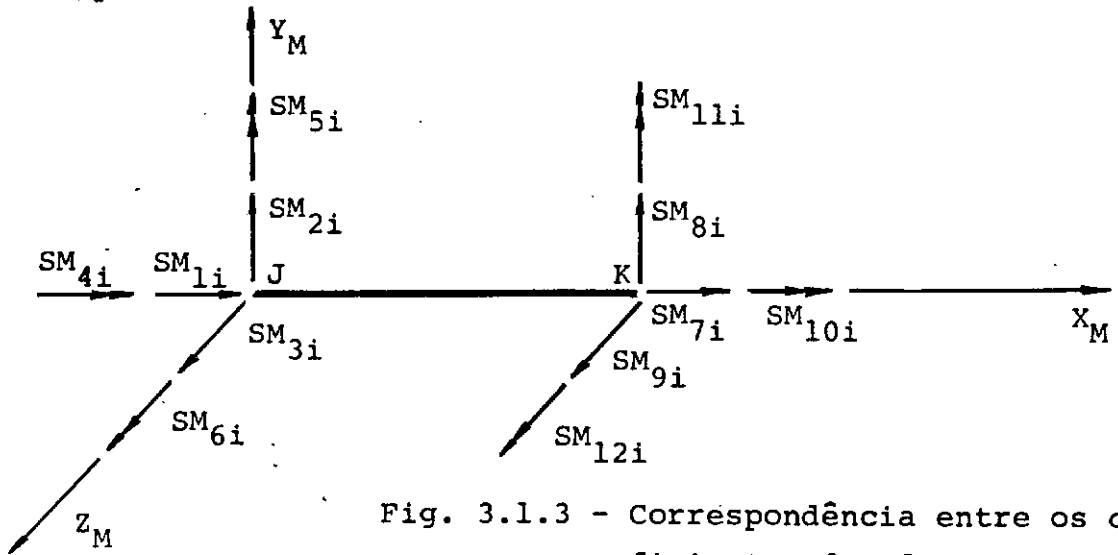


Fig. 3.1.3 - Correspondência entre os coeficientes das duas extremidades.

$$\begin{array}{ll} SM_{1i} + SM_{7i} = 0 & \dots\dots\dots SM_{1i} = -SM_{7i} \\ SM_{2i} + SM_{8i} = 0 & \dots\dots\dots SM_{2i} = -SM_{8i} \\ SM_{3i} + SM_{9i} = 0 & \dots\dots\dots SM_{3i} = -SM_{9i} \\ SM_{4i} + SM_{10i} = 0 & \dots\dots\dots SM_{4i} = -SM_{10i} \\ SM_{5i} + SM_{11i} - SM_{8i} \times L = 0 & \dots\dots\dots SM_{5i} = -(SM_{11i} - SM_{8i} \times L) \\ SM_{6i} + SM_{12i} + SM_{8i} \times L = 0 & \dots\dots\dots SM_{6i} = -(SM_{12i} + SM_{8i} \times L) \end{array}$$

Para cada coluna da submatriz SM_{kk} , em forma

matricial, tem-se:

$$\begin{pmatrix} SM_{1i} \\ SM_{2i} \\ SM_{3i} \\ SM_{4i} \\ SM_{5i} \\ SM_{6i} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -L & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} SM_{7i} \\ SM_{8i} \\ SM_{9i} \\ SM_{10i} \\ SM_{11i} \\ SM_{12i} \end{pmatrix}$$

Chamando de $[T]$ a matriz de transformação, de forma geral, tem-se $[SM_{Jk}] = [T] [SM_{kk}]$

Transpondo a submatriz $[SM_{Jk}]$, obtem-se $[SM_{kJ}]$ e, através de $[T]$ obtem-se $[SM_{JJ}]$

$$\begin{aligned} [SM_{kJ}] &= [SM_{Jk}]^T \\ [SM_{JJ}] &= [T] [SM_{Jk}] \end{aligned}$$

3.2 - Matriz de Rigidez de Elementos Curvos de Secção Constante ou Variável

Para constituir a matriz de rigidez, inicialmente calculou-se a matriz de flexibilidade da extremidade K.

Considerou-se o elemento engastado na extremidade J e aplicaram-se esforços unitários, primeiro nas direções 7,8 e 12 e depois, nas direções 9,10 e 11, para facilitar a análise.

3.2.1 - Termos da Matriz de Flexibilidade nas direções
7,8 e 12

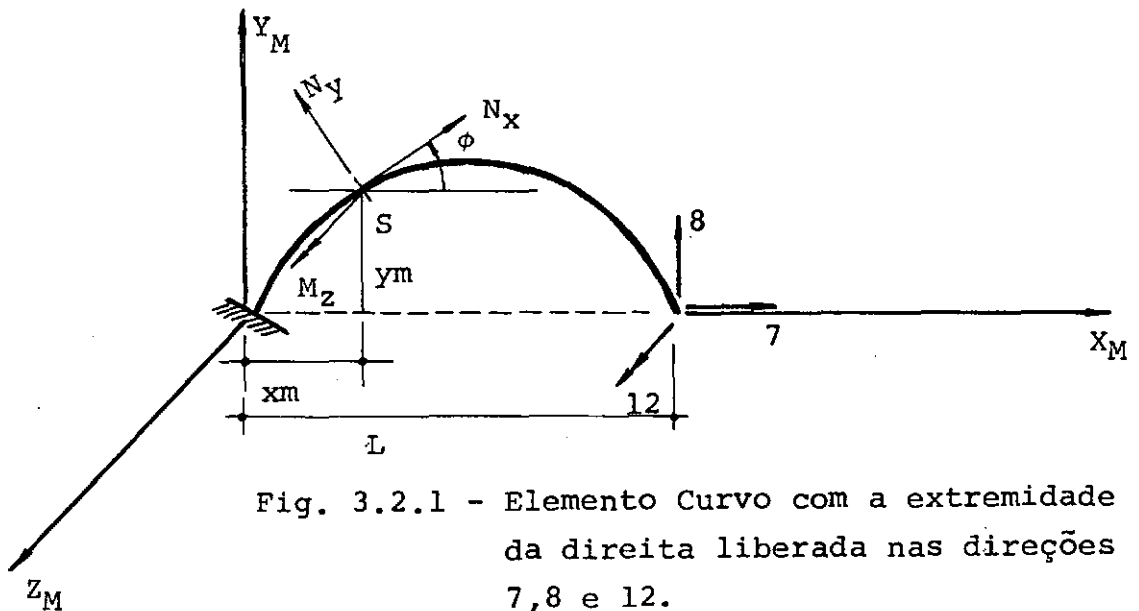


Fig. 3.2.1 - Elemento Curvo com a extremidade da direita liberada nas direções 7,8 e 12.

Observando a fig. 3.2.1, pode-se escrever que os esforços que aparecem na secção S, quando se aplicam esforços unitários nas direções 7,8 e 12, são:

$$N_x = A_7 \cos \phi + A_8 \sin \phi$$

$$M_z = A_8 (L - x_m) + A_{12} + A_7 y_m$$

N_y não será calculado, pois, está sendo desprezada a deformação por esforço cortante.

Os termos da matriz de flexibilidade serão da forma:

$$FM_{ij} = \int_0^L \left(\frac{N_{x,i} N_{x,j}}{EA_x \cos \phi} + \frac{M_{z,i} M_{z,j}}{EI_z \cos \phi} \right) dx_m$$

Para facilitar a integração, foi feito:

$$dx_m = ds \cos \phi \quad \therefore \quad ds = \frac{dx_m}{\cos \phi}$$

Quando se aplicam esforços unitários na direção dos deslocamentos procurados, obtém-se:

	N_x	M_z
$A_7=1$	$\cos\phi$	ym
$A_8=1$	$\text{sen}\phi$	$L-xm$
$A_{12}=1$	0	1

Aplicando o princípio dos trabalhos virtuais,

tem-se:

$$FM(7,7) = \int_0^L \left(\frac{\cos\phi \cos\phi}{EA_x} + \frac{ym \ ym}{EI_z \cos\phi} \right) dxm = \int_0^L \left(\frac{\cos\phi}{EA_x} + \frac{ym^2}{EI_z \cos\phi} \right) dxm$$

$$FM(7,8) = \int_0^L \left(\frac{\text{sen}\phi \cos\phi}{EA_x} + \frac{(L-xm) \ ym}{EI_z \cos\phi} \right) dxm = \int_0^L \left(\frac{\text{sen}\phi}{EA_x} + \frac{(L-xm) \ ym}{EI_z \cos\phi} \right) dxm$$

$$FM(7,12) = \int_0^L \frac{ym}{EI_x \cos\phi} dxm$$

$$FM(8,7) = FM(7,8)$$

$$FM(8,8) = \int_0^L \left(\frac{\text{sen}^2\phi}{EA_x} + \frac{(L-xm)^2}{EI_z \cos\phi} \right) dxm$$

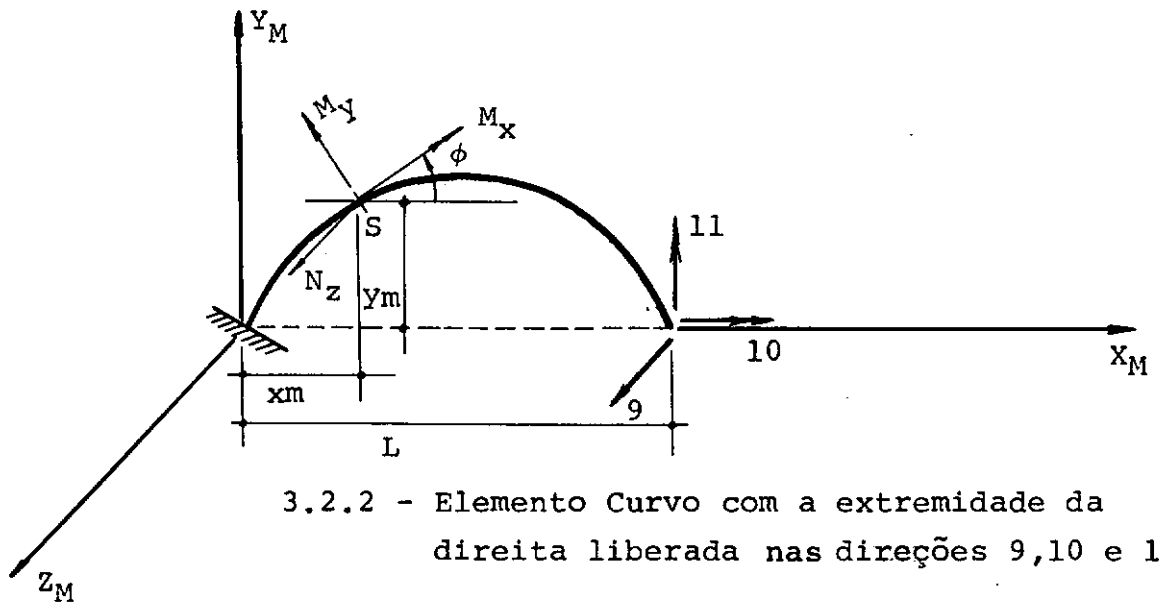
$$FM(8,12) = \int_0^L \frac{L-xm}{EI_z \cos\phi} dxm$$

$$FM(12,7) = FM(7,12)$$

$$FM(12,8) = FM(8,12)$$

$$FM(12,12) = \int_0^L \frac{1}{EI_z \cos\phi} dxm$$

3.2.2 - Termos da matriz de flexibilidade nas direções 9, 10 e 11



3.2.2 - Elemento Curvo com a extremidade da direita liberada nas direções 9,10 e 11.

Quando se observa a fig. 3.2.2, verifica-se que os esforços que aparecem na secção S, ao se aplicarem esforços A_i unitários nas direções 9,10 e 11, são:

$$M_x = A_{10} \cos \phi + A_{11} \sin \phi - A_9 y_m \cos \phi - A_9 (L - x_m) \sin \phi$$

$$M_y = A_{11} \cos \phi - A_{10} \sin \phi - A_9 (L - x_m) \cos \phi + A_9 y_m \sin \phi$$

N_z não será calculado, pois está sendo desprezada a deformação por esforço cortante.

Aplicando-se esforços unitários na direção dos deslocamentos procurados, obtem-se:

	M_x	M_z
$A_9=1$	$-(L-x_m) \sin \phi - y_m \cos \phi$	$-(L-x_m) \cos \phi + y_m \sin \phi$
$A_{10}=1$	$\cos \phi$	$-\sin \phi$
$A_{11}=1$	$\sin \phi$	$\cos \phi$

Aplicando-se o princípio dos trabalhos virtuais,

tem-se:

$$FM(9,9) = \int_0^L \left\{ \frac{[(L-xm) \operatorname{sen} \phi + ym \operatorname{cos} \phi]^2}{GI_X \operatorname{cos} \phi} + \frac{[(L-xm) \operatorname{cos} \phi - ym \operatorname{sen} \phi]^2}{EI_Y \operatorname{cos} \phi} \right\} dxm$$

$$FM(9,10) = \int_0^L \left\{ - \frac{[(L-xm) \operatorname{sen} \phi + ym \operatorname{cos} \phi] \operatorname{cos} \phi}{GI_X \operatorname{cos} \phi} + \frac{[(L-xm) \operatorname{cos} \phi - ym \operatorname{sen} \phi] \operatorname{sen} \phi}{EI_Y \operatorname{cos} \phi} \right\} dxm$$

$$FM(9,11) = \int_0^L \left\{ - \frac{[(L-xm) \operatorname{sen} \phi + ym \operatorname{cos} \phi] \operatorname{sen} \phi}{GI_X \operatorname{cos} \phi} - \frac{[(L-xm) \operatorname{cos} \phi - ym \operatorname{sen} \phi] \operatorname{cos} \phi}{EI_Y \operatorname{cos} \phi} \right\} dxm$$

$$FM(10,9) = FM(9,10)$$

$$FM(10,10) = \int_0^L \left(\frac{\operatorname{cos} \phi \operatorname{cos} \phi}{GI_X \operatorname{cos} \phi} + \frac{\operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \phi}{EI_Y \operatorname{cos} \phi} \right) dxm = \int_0^L \left(\frac{\operatorname{cos} \phi}{GI_X} + \frac{\operatorname{sen}^2 \phi}{EI_Y \operatorname{cos} \phi} \right) dxm$$

$$FM(10,11) = \int_0^L \left(\frac{\operatorname{cos} \phi \operatorname{sen} \phi}{GI_X \operatorname{cos} \phi} - \frac{\operatorname{sen} \phi \operatorname{cos} \phi}{EI_Y \operatorname{cos} \phi} \right) dxm = \int_0^L \left(\frac{\operatorname{sen} \phi}{GI_X} - \frac{\operatorname{sen} \phi}{EI_Y} \right) dxm$$

$$FM(11,9) = FM(9,11)$$

$$FM(11,10) = FM(10,11)$$

$$FM(11,11) = \int_0^L \left(\frac{\operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \phi}{GI_X \operatorname{cos} \phi} + \frac{\operatorname{cos} \phi \operatorname{cos} \phi}{EI_Y \operatorname{cos} \phi} \right) dxm = \int_0^L \left(\frac{\operatorname{sen}^2 \phi}{GI_X \operatorname{cos} \phi} + \frac{\operatorname{cos} \phi}{EI_Y} \right) dxm$$

3.2.3 - Matriz de Flexibilidade da extremidade K

$$[FM_{kk}] = \begin{bmatrix} FM(7,7) & FM(7,8) & 0 & 0 & 0 & FM(7,12) \\ FM(8,7) & FM(8,8) & 0 & 0 & 0 & FM(8,12) \\ 0 & 0 & FM(9,9) & FM(9,10) & FM(9,11) & 0 \\ 0 & 0 & FM(10,9) & FM(10,10) & FM(10,11) & 0 \\ 0 & 0 & FM(11,9) & FM(11,10) & FM(11,11) & 0 \\ FM(12,7) & FM(12,8) & 0 & 0 & 0 & FM(12,12) \end{bmatrix}$$

$$[SM_{kk}] = [FM_{kk}]^{-1}$$

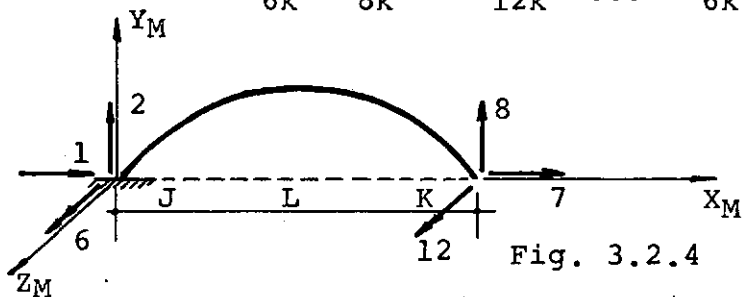
3.2.4 - Termos da matriz de rigidez nas direções 1,2 e 6

Observando-se a fig. 3.2.4, onde se tem a correspondência entre os esforços nas extremidades J e K, pode-se escrever:

$$SM_{1k} + SM_{7k} = 0 \dots\dots\dots SM_{1k} = -SM_{7k}$$

$$SM_{2k} + SM_{8k} = 0 \dots\dots\dots SM_{2k} = -SM_{8k}$$

$$SM_{6k} + SM_{8k} \times L + SM_{12k} = 0 \dots SM_{6k} = -(SM_{12k} + SM_{8k} \times L)$$



	A ₁	A ₂	A ₆	A ₇	A ₈	A ₁₂
A ₁	SM(1,1) = SM(7,7)	SM(1,2) = SM(8,7)	SM(1,6) = -SM(7,6) = SM(12,7) +SM(8,7) x L	SM(1,7) = -SM(7,7)	SM(1,8) = -SM(8,7)	SM(1,12) = -SM(12,7)
A ₂	SM(2,1) = SM(8,7)	SM(2,2) = SM(8,8)	SM(2,6) = -SM(8,6) = SM(12,8) +SM(8,8) x L	SM(2,7) = -SM(8,7)	SM(2,8) = -SM(8,8)	SM(2,12) = -SM(12,8)
A ₆	SM(6,1) = -SM(12,1) -SM(8,1) x L = SM(12,7) +SM(8,7) x L	SM(6,2) = -SM(12,2) -SM(8,2) x L = SM(12,8) +SM(8,8) x L	SM(6,6) = -SM(12,6) -SM(8,6) x L = SM(12,12) + +2SM(12,8) x L + +SM(8,8) x L ²	SM(6,7) = -SM(12,7) -SM(8,7) x L	SM(6,8) = -SM(12,8) -SM(8,8) x L	SM(6,12) = -SM(12,12) -SM(12,8) x L
A ₇	SM(7,1) = -SM(7,7)	SM(7,2) = -SM(8,7)	SM(7,6) = -SM(12,7) -SM(8,7) x L	SM(7,7)	SM(7,8) = SM(8,7)	SM(7,12) = SM(12,7)
A ₈	SM(8,1) = -SM(8,7)	SM(8,2) = -SM(8,8)	SM(8,6) = -SM(12,8) -SM(8,8) x L	SM(8,7)	SM(8,8)	SM(8,12) = SM(12,8)
A ₁₂	SM(12,1) = -SM(12,7)	SM(12,2) = -SM(12,8)	SM(12,6) = -SM(12,12) -SM(12,8) x L	SM(12,7)	SM(12,8)	SM(12,12)

3.2.5 - Termos da matriz de rigidez nas direções 3,4 e 5

Da fig. 3.2.5, pode-se tirar a correspondência de esforços nas duas extremidades e pode-se dizer que:

$$\begin{aligned}
 SM_{3k} + SM_{9k} &= 0 \dots\dots\dots SM_{3k} = -SM_{9k} \\
 SM_{4k} + SM_{10k} &= 0 \dots\dots\dots SM_{4k} = -SM_{10k} \\
 SM_{5k} + SM_{11k} - SM_{9k} \times L &= 0 \dots\dots SM_{5k} = -(SM_{11k} - SM_{9k} \times L)
 \end{aligned}$$

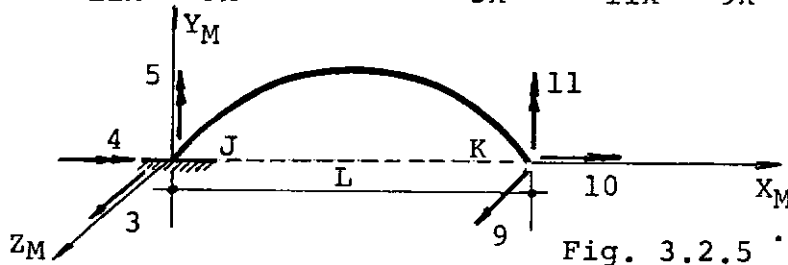


Fig. 3.2.5

	A ₃	A ₄	A ₅	A ₉	A ₁₀	A ₁₁
A ₃	SM(3,3) = SM(9,9)	SM(3,4) = SM(10,9)	SM(3,5) = SM(11,9) -SM(9,9) x L	SM(3,9) = -SM(9,9)	SM(3,10) = -SM(10,9)	SM(3,11) = -SM(11,9)
A ₄	SM(4,3) = SM(10,9)	SM(4,4) = SM(10,10)	SM(4,5) = SM(11,10) -SM(10,9) x L	SM(4,9) = -SM(10,9)	SM(4,10) = -SM(10,10)	SM(4,11) = -SM(11,10)
A ₅	SM(5,3) = SM(11,9) -SM(9,9) x L	SM(5,4) = SM(11,10) -SM(10,9) x L	SM(5,5) = SM(11,11) -2SM(11,9) x L +SM(9,9) x L ²	SM(5,9) = -SM(11,9) +SM(9,9) x L	SM(5,10) = -SM(11,10) + SM(10,9) x L	SM(5,11) = -SM(11,11) + SM(11,9) x L
A ₉	SM(9,3) = -SM(9,9)	SM(9,4) = -SM(10,9)	SM(9,5) = -SM(11,9) +SM(9,9) x L	SM(9,9)	SM(9,10) = SM(10,9)	SM(9,11) = SM(11,9)
A ₁₀	SM(10,3) = -SM(10,9)	SM(10,4) = -SM(10,10)	SM(10,5) = -SM(11,10) +SM(10,9) x L	SM(10,9)	SM(10,10)	SM(10,11) = SM(11,10)
A ₁₁	SM(11,3) = -SM(11,9)	SM(11,4) = -SM(11,10)	SM(11,5) = -SM(11,11) +SM(11,9) x L	SM(11,9)	SM(11,10)	SM(11,11)

Matriz de Rigidez do Elemento Curvo

[SM] =

SM(1,1)	SM(1,2)	0	0	0	SM(1,6)	SM(1,7)	SM(1,8)	0	0	0	SM(1,12)
SM(2,1)	SM(2,2)	0	0	0	SM(2,6)	SM(2,7)	SM(2,8)	0	0	0	SM(2,12)
0	0	SM(3,3)	SM(3,4)	SM(3,5)	0	0	0	SM(3,9)	SM(3,10)	SM(3,11)	
0	0	SM(4,3)	SM(4,4)	SM(4,5)	0	0	0	SM(4,9)	SM(4,10)	SM(4,11)	0
0	0	SM(5,3)	SM(5,4)	SM(5,5)	0	0	0	SM(5,9)	SM(5,10)	SM(5,11)	0
SM(6,1)	SM(6,2)	0	0	0	SM(6,6)	SM(6,7)	SM(6,8)	0	0	0	SM(6,12)
SM(7,1)	SM(7,2)	0	0	0	SM(7,6)	SM(7,7)	SM(7,8)	0	0	0	SM(7,12)
SM(8,1)	SM(8,2)	0	0	0	SM(8,6)	SM(8,7)	SM(8,8)	0	0	0	SM(8,12)
0	0	SM(9,3)	SM(9,4)	SM(9,5)	0	0	0	SM(9,9)	SM(9,10)	SM(9,11)	0
0	0	SM(10,3)	SM(10,4)	SM(10,5)	0	0	0	SM(10,9)	SM(10,10)	SM(10,11)	0
0	0	SM(11,3)	SM(11,4)	SM(11,5)	0	0	0	SM(11,9)	SM(11,10)	SM(11,11)	0
SM(12,1)	SM(12,2)	0	0	0	SM(12,6)	SM(12,7)	SM(12,8)	0	0	0	SM(12,12)

4 - Esforços de Engastamento

4.1 - Esforços de Engastamento em Elementos Retos

4.1.1 - Esforços de Engastamento em Elementos Retos com Secção Constante ou Variável

Os esforços de engastamento perfeito podem ser calculados, se inicialmente se determinarem os deslocamentos na direção dos esforços procurados, devido às cargas que atuam no elemento.

Pelo princípio dos trabalhos virtuais, estes deslocamentos são dados pelo produto dos deslocamentos produzidos pela carga, $\frac{N_{x,i} L}{EA_x}$, etc..., pelos esforços internos $N_{x,i}$, etc..., que aparecem na secção, quando se aplicam esforços unitários na direção dos deslocamentos que se procuram.

Considerando um elemento com uma extremidade livre, fig. 4.1.2, podem-se calcular os deslocamentos nesta extremidade e, por condições de equilíbrio, determinar os da outra extremidade.

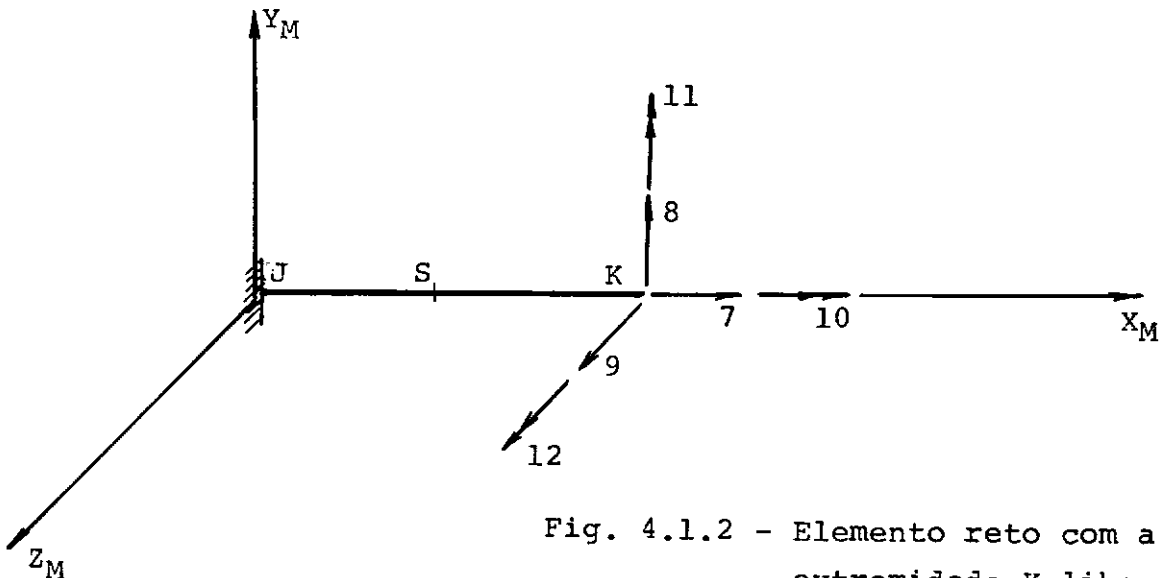


Fig. 4.1.2 - Elemento reto com a extremidade K liberada nas direções de 7 a 12.

Aplicando esforços unitários na direção dos deslocamentos de 7 a 12, os esforços que aparecem na secção na direção dos deslocamentos que se procuram são:

	$N_{x,i}$	$N_{y,i}$	$N_{z,i}$	$M_{x,i}$	$M_{y,i}$	$M_{z,i}$
$A_7 = 1$	1	0	0	0	0	0
$A_8 = 1$	0	1	0	0	0	L
$A_9 = 1$	0	0	1	0	L	0
$A_{10} = 1$	0	0	0	1	0	0
$A_{11} = 1$	0	0	0	0	1	0
$A_{12} = 1$	0	0	0	0	0	1

Os esforços internos solicitantes na secção S, devidos as cargas são calculados para cada tipo de carga.

Aplicando o princípio dos trabalhos virtuais, que diz que o produto da força $A_i = 1$ pelo deslocamento $DL_{i,L}$ devido as cargas que atuam sobre o elemento é igual ao produto de $N_{x,i}$ por

$\frac{N_{x,L}}{EA_x}$, tem-se:

$$1 \times DL_{i,L} = \int_0^L \left\{ N_{x,i} \frac{N_{x,L}}{EA_x} + N_{y,i} \frac{N_{y,L}}{GA_y} + N_{z,i} \frac{N_{z,L}}{GA_z} + M_{x,i} \frac{M_{x,L}}{GI_x} + M_{y,i} \frac{M_{y,L}}{EI_y} + M_{z,i} \frac{M_{z,L}}{EI_z} \right\} dx$$

E, desprezando-se as deformações por esforço cortante:

$$DL_{i,L} = \int_0^L \left\{ N_{x,i} \frac{N_{x,L}}{EA_x} + M_{x,i} \frac{M_{x,L}}{GI_x} + M_{y,i} \frac{M_{y,L}}{EI_y} + M_{z,i} \frac{M_{z,L}}{EI_z} \right\} dx$$

Os esforços de engastamento perfeito na extremidade K são calculados pelo sistema de equações de compatibilidade do método das forças.

$$\begin{bmatrix} FM_{KK} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} DL_K \end{Bmatrix} = 0$$

$$\begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} FM_{KK} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} DL_K \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} SM \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DL_K \end{Bmatrix}$$

Determinados os seis AML_K da extremidade da direita, os seis AML_J da extremidade esquerda se calculam através das condições de equilíbrio, em função dos AML_K e das cargas que atuam no elemento.

Desta forma é possível estabelecer todas as expressões para os esforços de engastamento perfeito, considerando inercia variável ou não.

Os esforços de engastamento perfeito para elementos de eixo curvo, tratados mais adiante, também são determinados usando esta sistemática.

Para calcular os esforços de engastamento perfeito em elementos retos com seção constante ou variável foi feita a subrotina `ESRET`.

Como as cargas que atuam no plano XY, também podem atuar no plano XZ, é possível usar as mesmas fórmulas para identificar as cargas do plano XY ou XZ.

Conforme se pode ver na subrotina `ESRET`, para não pre

cisar escrever duas vezes as mesmas variáveis, criam-se índices que permitem usar as mesmas fórmulas duas vezes.

Assim com $IC=1$, o cálculo se refere aos esforços para as cargas no plano XY e com $IC=2$ se calculam os esforços para as cargas no plano XZ.

Com isto, sempre que não existirem cargas no plano XY é necessário colocar dois cartões em branco, antes de colocar as cargas do plano XZ.

A leitura dos dados está ordenada da seguinte forma:

Inicialmente são lidos os dados correspondentes a carga distribuída parcial trapezoidal perpendicular ao elemento ou no sentido axial.

Em outro cartão são dados a carga uniformemente distribuída total, dois pares de cargas concentradas uma na direção perpendicular ao eixo e outra no sentido do mesmo, se houver mais cargas destes tipos IR deve ser um dado diferente de zero, funciona como um índice para permitir repetição de cargas, o índice $I1$ quando diferente de zero serve para permitir que sejam lidos mais dois cartões onde são dados no primeiro mais duas cargas concentradas, um momento torsor uniformemente distribuído e um índice $I2$ e no segundo cartão, lido se $I2 \neq 0$, um momento torsor concentrado, um momento torsor trapezoidal parcialmente distribuído e um fletor concentrado.

Como estes últimos tipos de carga não são tão frequentes, basta que se faça $I1=0$ para que os dois últimos cartões não sejam lidos.

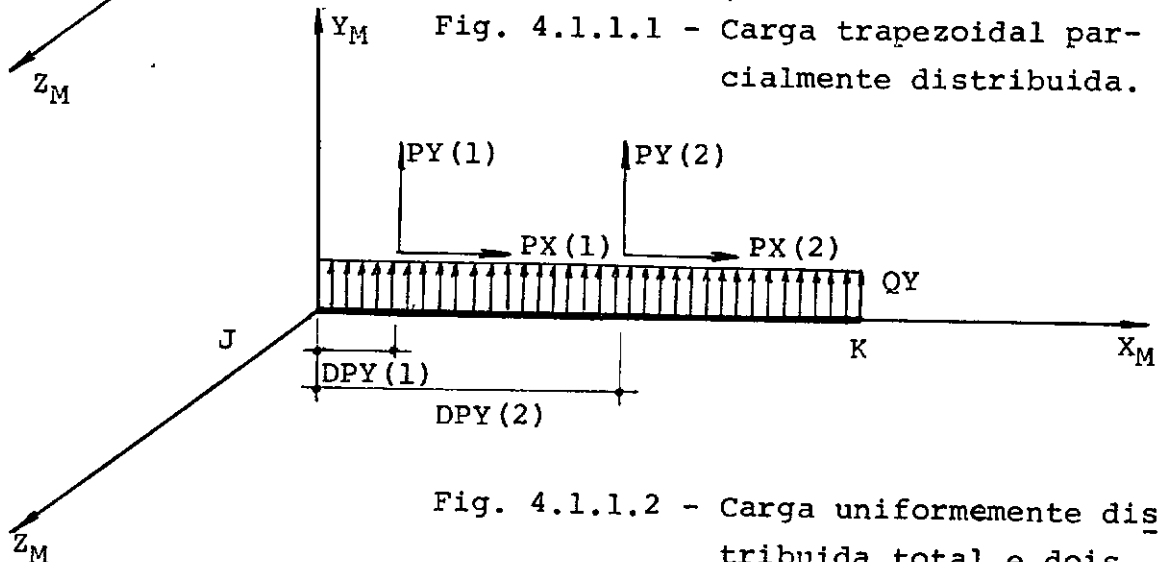
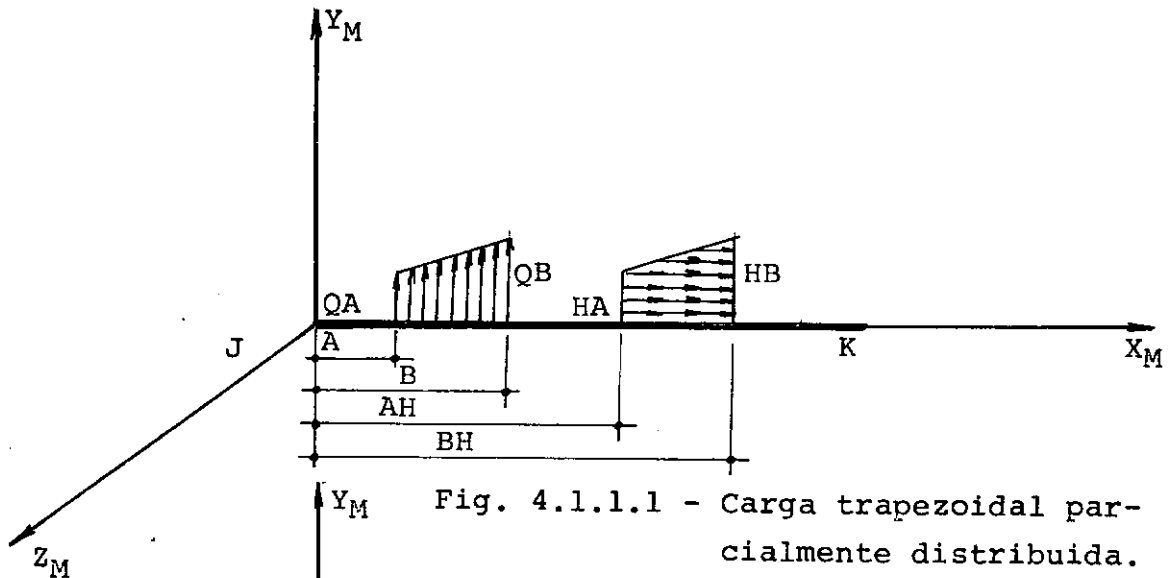
Se for feito $I2=0$, o último cartão mencionado não é lido.

Em seguida são dadas as cargas no plano XZ.

Se em qualquer uma das duas vezes, seja com $IC=1$ ou com $IC=2$, foi feito $IR \neq 0$, deverão ser dados os cartões correspondentes as novas cargas.

A posição das cargas é dada em relação à extremidade J do elemento e o sistema de coordenadas para as cargas é local.

Para as cargas no plano XY, tem-se:



Se as cargas estiverem no plano XZ, da mesma forma tem-se:

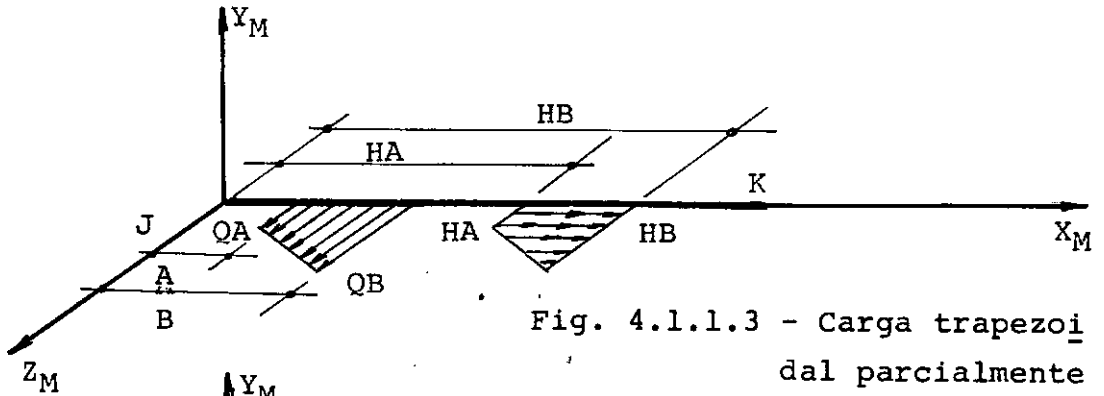


Fig. 4.1.1.3 - Carga trapezoidal parcialmente distribuída.

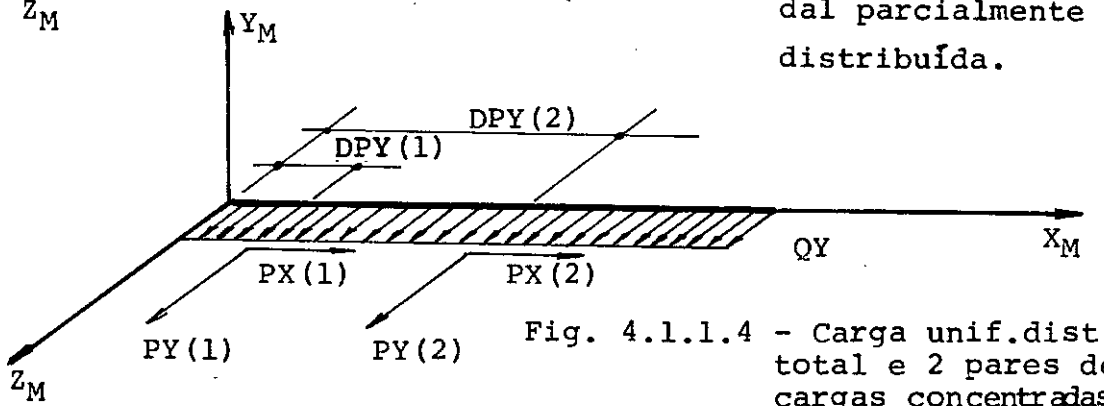


Fig. 4.1.1.4 - Carga unif. dist. total e 2 pares de cargas concentradas.

Quando $I_1 \neq 0$, para cada plano são lidos dois cartões com

as seguintes cargas, representadas nas figuras 4.1.1.5 e 4.1.1.6 apenas para o plano XY.

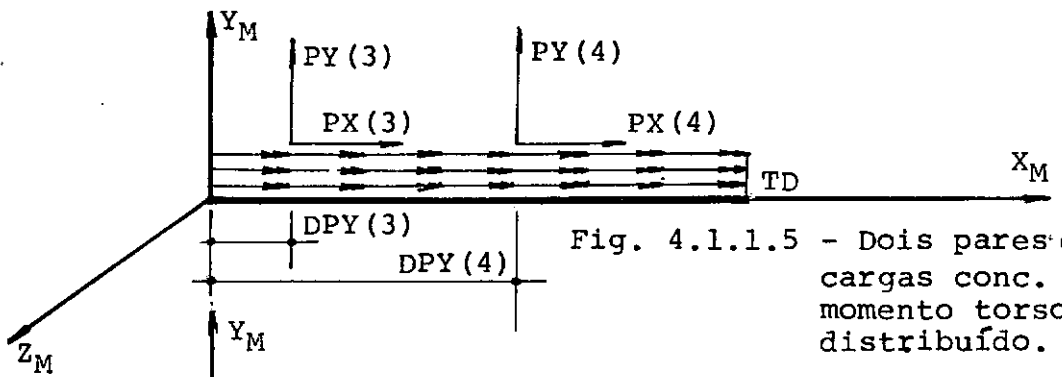


Fig. 4.1.1.5 - Dois pares de cargas conc. e momento torsor distribuído.

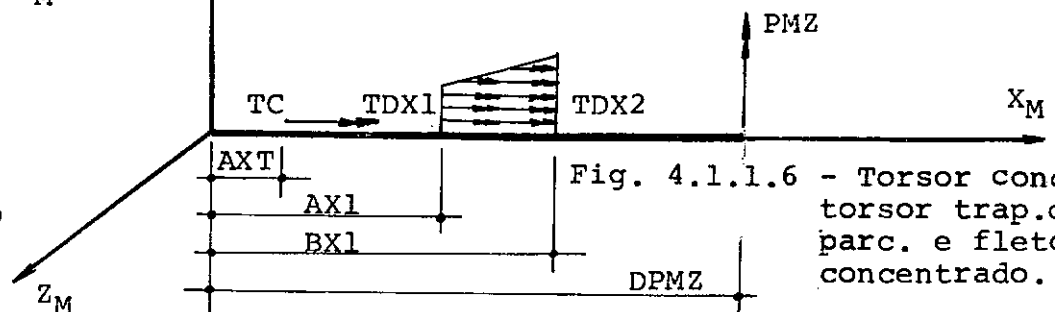


Fig. 4.1.1.6 - Torsor conc., torsor trap. dist. parc. e fletor concentrado.

4.2 - Esforços de Engastamento em Elementos Curvos de Secção Constante ou Variável

4.2.1 - Elementos de Eixo Curvo Sujeitos a Cargas

Concentradas Inclínadas em Relação aos três Eixos

Para calcular os esforços de engastamento perfeito na extremidade K de um elemento é necessário determinar os deslocamentos $\{DL_K\}$ na direção dos esforços procurados, devido às cargas que atuam no elemento.

Com a finalidade de facilitar a análise foram calculados os deslocamentos nas direções 7, 8 e 12 separados dos deslocamentos nas direções 9, 10 e 11.

4.2.1.1 - Deslocamentos nas Direções 7, 8 e 12

Considera-se o elemento sujeito a uma carga concentrada P, no espaço com uma inclinação qualquer em relação aos três planos. Decompondo a carga em três componentes PX, PY e PZ, podem-se calcular os deslocamentos nas direções 7, 8 e 12, considerando-se apenas PX e PY conforme fig. 4.2.1.1. Inicialmente é necessário calcular os deslocamentos na secção transversal produzidos pela carga, $\frac{N_{x,L}}{EA_x}$, etc... e os esforços internos $N_{x,i}$ etc... produzidos na secção quando se aplicam sucessivamente esforços unitários na direção dos deslocamentos que se procuram. O princípio dos trabalhos virtuais permite dizer que o produto da força $A_i=1$ pelo deslocamento $DL_{i,L}$ devido às cargas que atuam sobre o elemento é

igual ao produto de $N_{x,i}$ por $\frac{N_{x,L}}{EA_x}$.

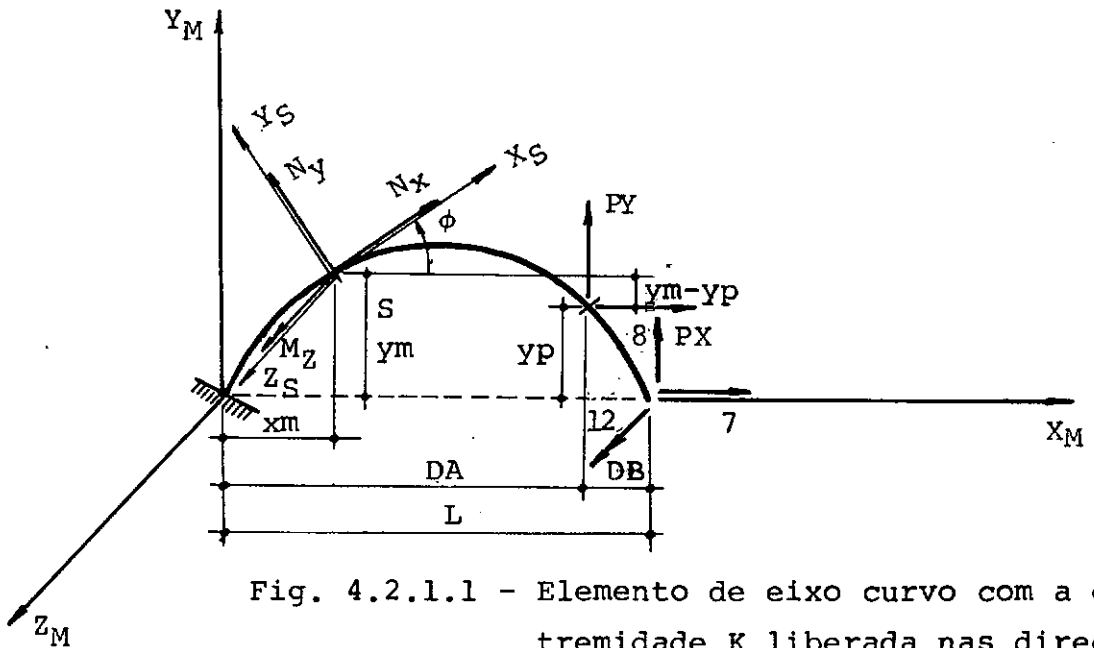


Fig. 4.2.1.1 - Elemento de eixo curvo com a extremidade K liberada nas direções 7,8 e 12 sujeito as componentes \$P_X\$ e \$P_Y\$ da carga concentrada. Aplicando-se esforços unitários na direção dos deslocamentos procurados, tem-se:

deslocamentos procurados, tem-se:

	N_x	M_z
$A_7 = 1$	$\cos \phi$	y_m
$A_8 = 1$	$\text{sen} \phi$	$L - x_m$
$A_{12} = 1$	0	1

Os esforços internos solicitantes na secção S devido às cargas são:

$$\begin{aligned}
 N_{x,L} &= P_X \cos \phi + P_Y \text{sen} \phi && \text{(para } x_m \text{ de 0 a DA)} \\
 N_{x,L} &= 0 && \text{(para } x_m \text{ de DA a L)} \\
 N_{z,L} &= P_Y (DA - x_m) + P_X (y_m - y_p) && \text{(para } x_m \text{ de 0 a DA)} \\
 N_{z,L} &= 0 && \text{(para } x_m \text{ de DA a L)} \\
 N_{y,L} &= 0 && \text{(desprezando a deformação por esforço cortante)}
 \end{aligned}$$

Aplicando o princípio dos trabalhos virtuais po
de-se dizer que o deslocamento numa direção i produzido por uma
carga L é dado por:

$$DL_{i,L} = \int_0^{DA} \left\{ \frac{N_{x,i}}{\cos\phi} \frac{N_{x,L}}{EA_z} + \frac{M_{z,i}}{\cos\phi} \frac{M_{z,L}}{EI_z} \right\} dxm$$

$$DL_7 = \int_0^{DA} \left\{ \frac{(PX\cos\phi + PY\text{sen}\phi)\cos\phi}{EA_x\cos\phi} \right\} dxm +$$

$$+ \int_0^{DA} \left\{ \frac{[PY(DA-xm) + PX(y_m - y_p)] y_m}{EI_z\cos\phi} \right\} dxm$$

$$DL_8 = \int_0^{DA} \left[\frac{(PX\cos\phi + PY\text{sen}\phi)\text{sen}\phi}{EA_x\cos\phi} \right] dxm +$$

$$+ \int_0^{DA} \left\{ \frac{[PY(DA-xm) + PX(y_m - y_p)] (L-xm)}{EI_z\cos\phi} \right\} dxm$$

$$DL_{12} = \int_0^{DA} \left[\frac{PY(DA-xm) + PX(y_m - y_p)}{EI_z\cos\phi} \right] dxm$$

Para poder fazer a integração de 0 a DA, foi
feito:

$$ds = \frac{dxm}{\cos\phi}$$

4.2.1.2 - Deslocamentos nas direções 9,10,11

Considera-se para cálculo destes deslocamentos o elemento sujeito apenas a componente PZ da carga concentrada, conforme fig. 4.2.1.2.

Calculam-se os deslocamentos na secção transversal produzidos pela carga $\frac{N_{x,L}}{EA_x}$, etc... e os esforços internos $N_{x,i}$, etc... produzidos na secção quando se aplicam esforços unitários nas direções 9,10 e 11 dos deslocamentos que se procuram.

Através do princípio dos trabalhos virtuais tem-se que o produto de $N_{x,i}$, etc... por $\frac{N_{x,L}}{EA_x}$, etc... é igual ao produto da força $A_i=1$ pelo deslocamento $DL_{i,L}$.

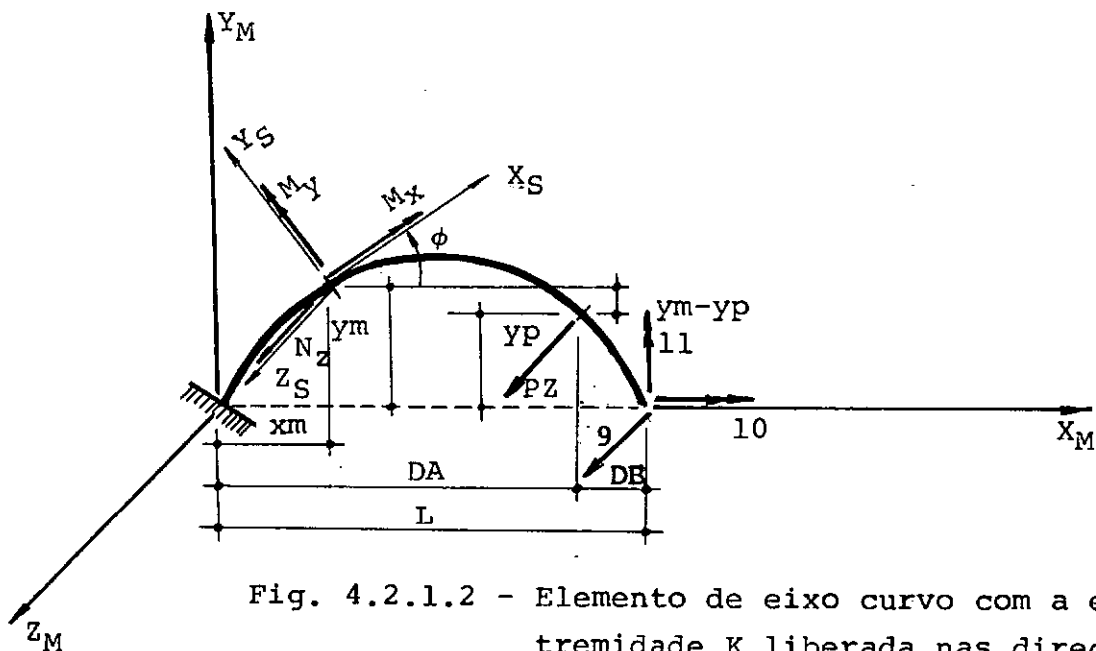


Fig. 4.2.1.2 - Elemento de eixo curvo com a extremidade K liberada nas direções 9, 10 e 11 sujeito a componente PZ da carga concentrada.

Aplicando-se esforços unitários na direção dos deslocamentos procurados, tem-se:

	M_x	M_y
$A_9 = 1$	$-(L-xm) \operatorname{sen} \phi - ym \operatorname{cos} \phi$	$-(L-xm) \operatorname{cos} \phi + ym \operatorname{sen} \phi$
$A_{10} = 1$	$\operatorname{cos} \phi$	$-\operatorname{sen} \phi$
$A_{11} = 1$	$\operatorname{sen} \phi$	$\operatorname{cos} \phi$

Os esforços internos solicitantes na secção \underline{S} devido as cargas são:

$$M_{x,L} = PZ (ym - yp) \operatorname{cos} \phi + PZ (DA - xm) \operatorname{sen} \phi \dots\dots (\text{para } xm \text{ de } 0 \text{ a } DA)$$

$$M_{x,L} = 0 \dots\dots\dots (\text{para } xm \text{ de } DA \text{ a } L)$$

$$M_{y,L} = PZ (DA - xm) \operatorname{cos} \phi - PZ (ym - yp) \operatorname{sen} \phi \dots\dots (\text{para } xm \text{ de } 0 \text{ a } DA)$$

$$M_{y,L} = 0 \dots\dots\dots (\text{para } xm \text{ de } DA \text{ a } L)$$

$$N_z = 0 \dots\dots\dots (\text{desprezando a deformação por esforço cortante})$$

Aplicando o principio dos trabalhos virtuais, tem-se que o deslocamento numa direção i , provocado por uma carga L é dado por:

$$DL_{i,L} = \int_0^{DA} \left(\frac{M_{x,i} M_{x,L}}{GI_x \operatorname{cos} \phi} + \frac{M_{y,i} M_{y,L}}{EI_y \operatorname{cos} \phi} \right) dxm$$

$$DL_9 = \int_0^{DA} \left\{ \frac{[PZ (ym-yp) \cos \phi + PZ (DA-xm) \operatorname{sen} \phi] x [- (L-xm) \operatorname{sen} \phi - ym \cos \phi]}{GI_x \cos \phi} \right\} dxm$$

$$+ \int_0^{DA} \left\{ \frac{[PZ (DA-xm) \cos \phi - PZ (ym-yp) \operatorname{sen} \phi] x [- (L-xm) \cos \phi + ym \operatorname{sen} \phi]}{EI_y \cos \phi} \right\} dxm$$

$$DL_{10} = \int_0^{DA} \left\{ \frac{[PZ (ym-yp) \cos \phi + PZ (DA-xm) \operatorname{sen} \phi] \cos \phi}{GI_x \cos \phi} \right\} dxm +$$

$$+ \int_0^{DA} \left\{ \frac{[PZ (DA-xm) \cos \phi - PZ (ym-yp) \operatorname{sen} \phi] (-\operatorname{sen} \phi)}{EI_y \cos \phi} \right\} dxm$$

$$DL_{11} = \int_0^{DA} \frac{[PZ (ym-yp) \cos \phi + PZ (DA-xm) \operatorname{sen} \phi] \operatorname{sen} \phi}{GI_x \cos \phi} dxm +$$

$$+ \int_0^{DA} \frac{[PZ (DA-xm) \cos \phi - PZ (ym-yp) \operatorname{sen} \phi] \cos \phi}{EI_y \cos \phi} dxm$$

4.2.1.3 - Esforços de Engastamento Perfeito

Através do sistema de equações de compatibilidade do método das forças é possível calcular os esforços de engastamento perfeito na extremidade K.

$$\begin{aligned} [FM_{KK}] \{AML_K\} + \{DL_K\} &= 0 \\ \{AML_K\} &= - [FM_{KK}]^{-1} \{DL_K\} \\ \{AML_K\} &= - [SM] \{DL_K\} \end{aligned}$$

Tendo os seis AML (da extremidade direita), o cálculo dos seis AML (da extremidade esquerda) é feito através das condições de equilíbrio em função dos AML_K e das cargas que atuam no elemento.

4.2.2 - Elementos de Eixo Curvo Sujeitos a Carga distribuída Paralela ao Eixo Y_M

Este tipo de carga sã dá deslocamentos nas direções 7,8 e 12.

Considere-se um elemento de eixo curvo submetido a carga representada na fig. 4.2.2 :

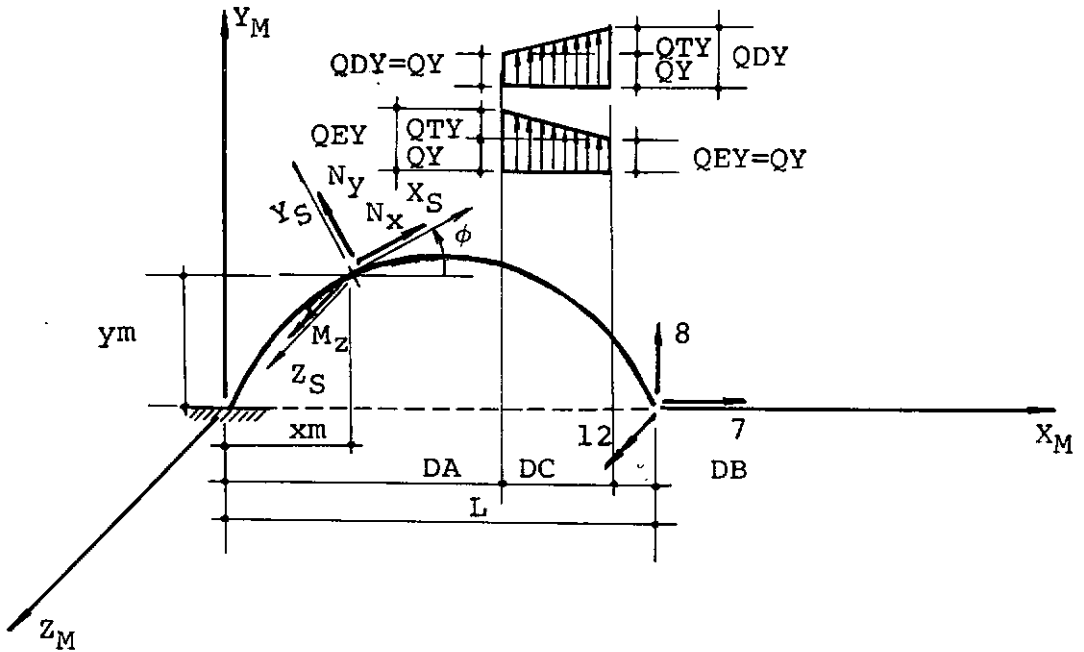


Fig. 4.2.2. - Elemento de eixo curvo com a extremidade K liberada nas direções 7,8 e 12 sujeito a carga distribuída paralela a Y_M

Aplicando-se esforços unitarios na direção dos deslocamentos procurados, tem-se:

	N_x	M_z
$A_7 = 1$	$\cos\phi$	ym
$A_8 = 1$	$\text{sen}\phi$	$L-xm$
$A_{12}=1$	0	1

Os esforços solicitantes na secção S, devidos às cargas, são:

$$N_{x,L} = \left(QY + \frac{QTY}{2} \right) DC \text{ sen}\phi \dots \dots \dots \text{(para } xm \text{ de 0 a DA)}$$

$$N_{x,L} = \left[QY + \frac{QTY}{2DC} FA1 \right] (DA+DC-xm) \text{ sen}\phi \dots \dots \dots \text{(para } xm \text{ de DA a DC)}$$

$$M_{z,L} = \left[QY \left(DA + \frac{DC}{2} - xm \right) + \frac{QTY}{2} (DA+FDC-xm) \right] DC \text{ (para } xm \text{ de 0 a DA)}$$

$$M_{z,L} = \left[QY + \frac{QTY}{3DC} FA2 \right] \left(\frac{DA+DC-xm}{2} \right)^2 \dots \dots \dots \text{(para } xm \text{ de DA e DC)}$$

$$N_{y,L} = 0 \dots \dots \dots \text{(desprezando a deformação por esforço cortante)}$$

Quando QEY é menor que QDY , tem-se:

$$FA1 = xm - DA + DC$$

$$FA2 = xm - DA + 2DC$$

$$FDC = \frac{2DC}{3}$$

E quando QEY é maior que QDY , tem-se:

$$FA1 = FA2 = DA + DC - xm$$

$$FDC = \frac{DC}{3}$$

Aplicando o princípio dos trabalhos virtuais, tem-se que o deslocamento numa direção i , provocado por uma carga L é dado por:

$$DL_{i,L} = \int_0^L \left\{ \frac{N_{x,i} N_{x,L}}{EA_x \cos \phi} + \frac{M_{z,i} M_{z,L}}{EI_z \cos \phi} \right\} dxm$$

$$DL_7 = \int_0^{DA} \frac{DC \operatorname{sen} \phi}{EA_x \cos \phi} \left[QY + \frac{QTY}{2} \right] \cos \phi dxm +$$

$$+ \int_0^{DA} \frac{DC ym}{EI_z \cos \phi} \left[QY \left(DA + \frac{DC}{2} - xm \right) + \frac{QTY}{2} (DA + FDC - xm) \right] dxm +$$

$$+ \int_{DA}^{DA+DC} \frac{(DA+DC-xm) \operatorname{sen} \phi}{EA_x} \left[QY + \frac{QTY}{2DC} FA1 \right] dxm +$$

$$+ \int_{DA}^{DA+DC} \frac{(DA+DC-xm)^2 ym}{2EI_z \cos \phi} \left[QY + \frac{QTY}{3DC} FA2 \right] dxm$$

$$DL_{12} = \int_0^{DA} \frac{DC}{EI_z \cos \phi} \left[QY \left(DA + \frac{DC}{2} - xm \right) + \frac{QTY}{2} (DA + FDC - xm) \right] dxm +$$

$$+ \int_{DA}^{DA+DC} \frac{(DA+DC-xm)^2}{2EI_z \cos \phi} \left[QY + \frac{QTY}{3DC} FA2 \right] dxm$$

$$\begin{aligned}
DL_8 = & \int_0^{DA} \frac{DC \text{sen}^2 \phi}{EA_X \cos \phi} \left(QY + \frac{QTY}{2} \right) dxm + \\
& + \int_0^{DA} \frac{DC (L-xm)}{EI_Z \cos \phi} \left[QY \left(DA + \frac{DC}{2} - xm \right) + \frac{QTY}{2} (DA + FDC - xm) \right] dxm + \\
& + \int_{DA}^{DA+DC} \frac{(DA+DC-xm) \text{sen}^2 \phi}{EA_X \cos \phi} \left[QY + \frac{QTY}{2DC} FA1 \right] dxm + \\
& + \int_{DA}^{DA+DC} \frac{(DA+DC-xm)^2 (L-xm)}{2EI_Z \cos \phi} \left[QY + \frac{QTY}{3DC} FA2 \right] dxm
\end{aligned}$$

Os esforços de engastamento perfeito são obtidos através do sistema de equações de compatibilidade do método das forças. Assim na extremidade direita tem-se:

$$\begin{aligned}
\left[FM_{KK} \right] \left\{ AML_K \right\} + \left\{ DL_K \right\} &= 0 \\
\left\{ AML_K \right\} &= - \left[FM_{KK} \right]^{-1} \left\{ DL_K \right\} \\
\left\{ AML_K \right\} &= - \left[SM \right] \left\{ DL_K \right\}
\end{aligned}$$

Os AML_J da extremidade esquerda são calculados pelas condições de equilíbrio em função dos AML_K e das cargas que atuam no elemento.

4.2.3 - Elementos de Eixo Curvo Sujeitos a Carga Distribuída paralela ao Eixo X_M

Serão analisados apenas os deslocamentos nas direções 7, 8 e 12 que são os únicos que ocorrem para este tipo de carregamento.

Seja um elemento de eixo curvo sujeito a esta carga o representado na fig. 4.2.3:

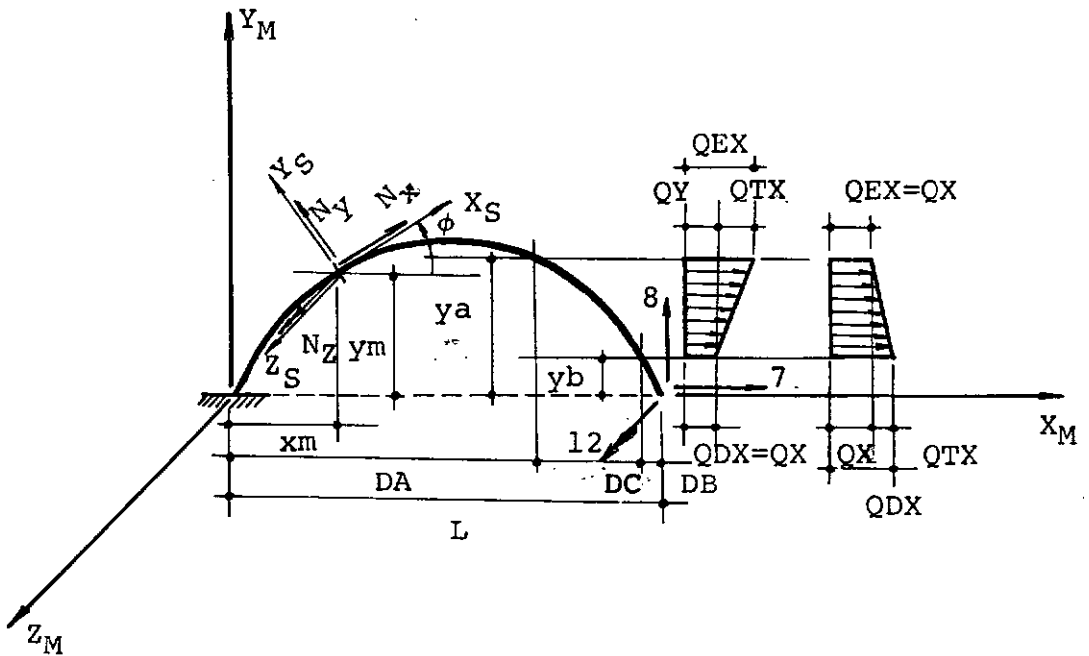


Fig. 4.2.3 - Elemento de eixo curvo com a extremidade K liberada nas direções 7, 8 e 12 sujeito a carga distribuída paralela a X_M .

Aplicando-se esforços unitários na direção dos deslocamentos procurados, tem-se:

	N_x	M_z
$A_7 = 1$	$\cos \phi$	y_m
$A_8 = 1$	$\text{sen} \phi$	$L - x_m$
$A_{12} = 1$	0	1

Os esforços solicitantes na secção S , devidos as cargas são:

$$N_{x,L} = AC \left[QX + \frac{QTX}{2} \right] \dots\dots\dots (\text{para } x_m \text{ de } 0 \text{ a } DA)$$

$$N_{x,L} = (y_m - y_b) \left[QX + \frac{QTX}{2} \frac{FY2}{AC} \right] \dots\dots\dots (\text{para } x_m \text{ de } DA \text{ a } DA+DC)$$

$$M_{z,L} = AC \left\{ QX \left[y_m - \frac{y_a + y_b}{2} \right] + \frac{QTX}{2} (y_m - FY1) \right\} (\text{para } x_m \text{ de } 0 \text{ a } DA)$$

$$M_{z,L} = |y_m - y_b| (y_m - y_b) \left[\frac{QX}{2} + \frac{QTX}{6AC} \frac{FY3}{2} \right] \dots\dots\dots (\text{para } x_m \text{ de } DA \text{ a } DA+DC)$$

$$N_{y,L} = 0 \dots\dots\dots (\text{desprezando a deformação por esforço cortante})$$

Quando QEX é maior que QDX , tem-se:

$$FY1 = \frac{2y_a + y_b}{3}$$

$$FY2 = |y_m - y_b|$$

$$FY3 = FY2$$

Quando QEX é menor que QDX, tem-se:

$$FY1 = \frac{ya+2yb}{3}$$

$$FY2 = |ya-ym| + AC$$

$$FY3 = |ya-ym| + 2AC$$

$$AC = |ya-yb|$$

Aplicando o princípio dos trabalhos virtuais, calcula-se o deslocamento numa direção \underline{i} provocado por uma carga L

$$DL_{i,L} = \int_0^L \left\{ \frac{N_{X,i} N_{X,L}}{EA_X \cos \phi} + \frac{M_{Z,i} M_{Z,L}}{EI_Z \cos \phi} \right\} dxm$$

$$\begin{aligned} DL_7 = & \int_0^{DA} \frac{AC \cos \phi}{EA_X} \left[\frac{QX + QTX}{2} \right] dxm + \\ & + \int_0^{DA} \frac{ACym}{EI_Z \cos \phi} \left\{ QX \left[ym - \left(\frac{ya+yb}{2} \right) \right] + \frac{QTX}{2} (ym - FY1) \right\} dxm + \\ & + \int_{DA}^{DA+DC} \frac{|ym-yb| \cos \phi}{EA_X} \left[\frac{QX + QTX}{2AC} FY2 \right] dxm + \\ & + \int_{DA}^{DA+DC} \frac{|ym-yb| (ym-yb) ym}{EI_Z \cos \phi} \left[\frac{QX + QTX}{2} \frac{FY3}{6AC} \right] dxm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
DL_8 &= \int_0^{DA} \frac{AC \operatorname{sen} \phi}{EA_x} \left[\frac{QX + QTX}{2} \right] dxm + \\
&+ \int_0^{DA} \frac{AC(L-xm)}{EI_z \cos \phi} \left\{ QX \left[ym - \left(\frac{ya+yb}{2} \right) \right] + \frac{QTX}{2} (ym - FY1) \right\} dxm \\
&+ \int_{DA}^{DA+DC} \frac{|ym-yb| \operatorname{sen} \phi}{EA_x} \left[\frac{QX + QTX}{2AC} FY2 \right] dxm + \\
&+ \int_{DA}^{DA+DC} \frac{|ym-yb| (ym-yb) (L-xm)}{EI_z \cos \phi} \left[\frac{QX + QTX}{2} + \frac{QTX}{6AC} FY3 \right] dxm \\
DL_{12} &= \int_0^{DA} \frac{AC}{EI_z \cos \phi} \left\{ QX \left[ym - \left(\frac{ya+yb}{2} \right) \right] + \frac{QTX}{2} (ym - FY1) \right\} dxm + \\
&+ \int_{DA}^{DA+DC} \frac{|ym-yb|}{EI_z \cos \phi} \left[\frac{QX}{2} + \frac{QTX}{6AC} FY3 \right] dxm
\end{aligned}$$

O cálculo dos esforços de engastamento perfeito é feito através do sistema de equações de compatibilidade do método das forças, desta forma na extremidade da direita tem-se:

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} FM_{KK} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} DL_K \end{Bmatrix} &= 0 \\
\begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} &= - \begin{bmatrix} FM_{KK} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} DL_K \end{Bmatrix} \\
\begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} &= - \begin{bmatrix} SM \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DL_K \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$

Os esforços na extremidade esquerda são obtidos através das condições de equilíbrio em função dos esforços na extremidade direita e das cargas que atuam no elemento.

4.2.4 - Elementos de Eixo Curvo Sujeitos a carga distribuída total paralela a direção Z_M

Serão analisados os deslocamentos nas direções 9,10 e 11 por serem os unicos que ocorrem para este tipo de carga.

Considere-se o elemento de eixo curvo sujeito a esta carga, representado na fig. 4.2.4.

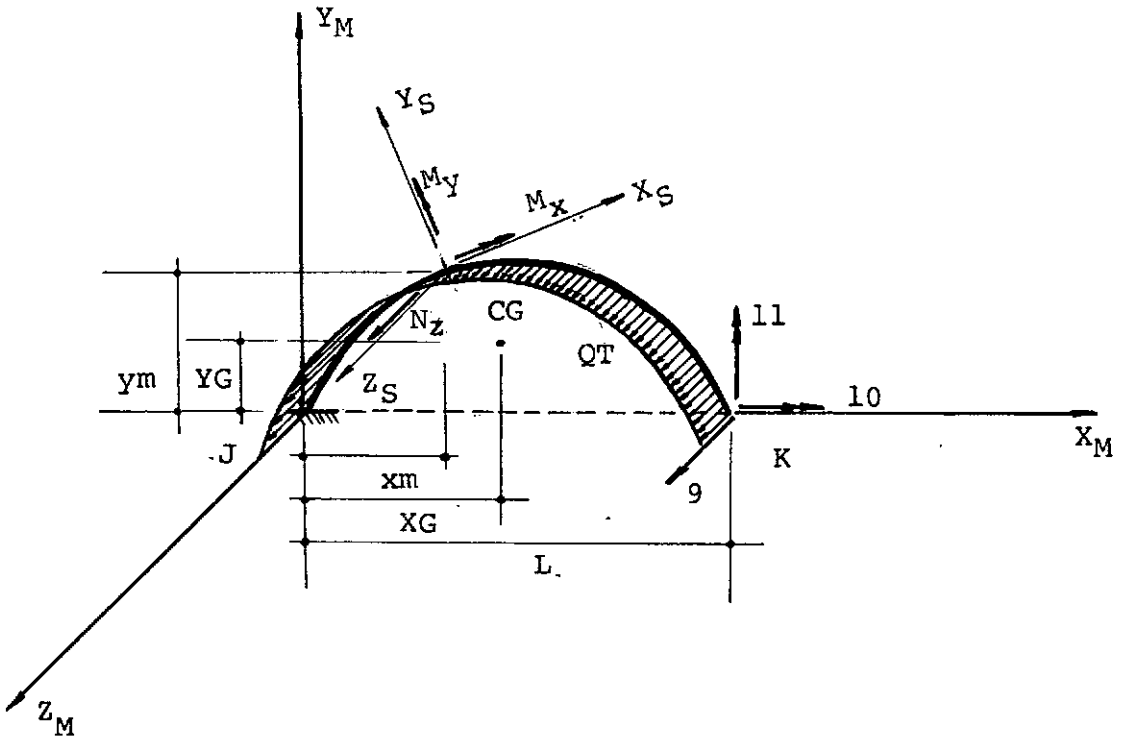


Fig. 4.2.4 - Elemento de eixo curvo com a extremidade K liberada nas direções 9,10 e 11 sujeito a uma carga distribuída total paralela a Z_M

Aplicando-se esforços unitários na direção dos deslocamentos procurados, tem-se:

	M_x	M_y
$A_9 = 1$	$BT = -(L-xm) \operatorname{sen} \phi - ym \operatorname{cos} \phi$	$BF = -(L-xm) \operatorname{cos} \phi + ym \operatorname{sen} \phi$
$A_{10} = 1$	$\operatorname{cos} \phi$	$-\operatorname{sen} \phi$
$A_{11} = 1$	$\operatorname{sen} \phi$	$\operatorname{cos} \phi$

Os esforços solicitantes na secção S , devidos as cargas são:

$$M_{x,L} = QT [(ym-YG) \operatorname{cos} \phi + XG-xm) \operatorname{sen} \phi] = QT BTQ$$

$$M_{y,L} = QT [(XG-xm) \operatorname{cos} \phi - (ym-YG) \operatorname{sen} \phi] = QT BFQ$$

onde:

XG e YG são as coordenadas do CG, conforme fig. 4.2.4

$$XG = \frac{\int_{xm}^L \frac{ym}{\operatorname{cos} \phi} dxm}{S} \quad YG = \frac{\int_{xm}^L \frac{ym}{\operatorname{cos} \phi} dxm}{S}$$

QT é a carga distribuída total ao longo do arco

S é o comprimento do arco entre a secção e a extremidade K

$$S = \int_{xm}^L \frac{dxm}{\operatorname{cos} \phi}$$

$$QT = Q.S$$

Aplicando o princípio dos trabalhos virtuais, calcula-se o deslocamento numa direção \underline{i} , provocado por uma carga L , que tem por expressão:

$$DL_{i,L} = \int_0^L \left\{ \frac{M_{x,i} M_{x,L}}{GI_x \cos \phi} + \frac{M_{y,i} M_{y,L}}{EI_x \cos \phi} \right\} dxm$$

$$DL_9 = \int_0^L \left\{ \frac{QT \ BTQ \ BT}{GI_x \cos \phi} + \frac{QT \ BFQ \ BF}{EI_y \cos \phi} \right\} dxm$$

$$DL_{10} = \int_0^L \left\{ \frac{QT \ BTQ}{GI_x} - \frac{QT \ BFQ}{EI_y} \right\} dxm$$

$$DL_{11} = \int_0^L \left\{ \frac{QT \ BTQ \ \text{sen} \phi}{GI_x \cos \phi} + \frac{QT \ BFQ}{EI_y} \right\} dxm$$

Através do sistema de equações de compatibilidade do método das forças são calculados os esforços de engastamento perfeito nas extremidades do elemento.

Na extremidade direita é possível dizer-se que:

$$\begin{aligned} [FM_{KK}] \{ AML_K \} + \{ DL_K \} &= 0 \\ \{ AML_K \} &= - [FM_{KK}]^{-1} \{ DL_K \} \\ \{ AML_K \} &= - [SM] \{ DL_K \} \end{aligned}$$

Para obter os esforços da extremidade esquerda aplicam-se as condições de equilíbrio aos esforços da extremidade direita e as cargas que atuam no elemento.

4.2.5 - Elementos de Eixo Curvo Sujeitos a Carga Distribuída Uniforme Parcial Paralela ao Eixo Z_M

Para este carregamento tem-se deslocamentos apenas nas direções 9, 10 e 11.

Seja o elemento curvo sujeito a carga distribuída parcial, representado na fig. 4.2.5.

Será necessária a análise de duas secções: uma no trecho situado na parte descarregada entre a extremidade esquerda e o início ao carregamento outra na parte carregada.

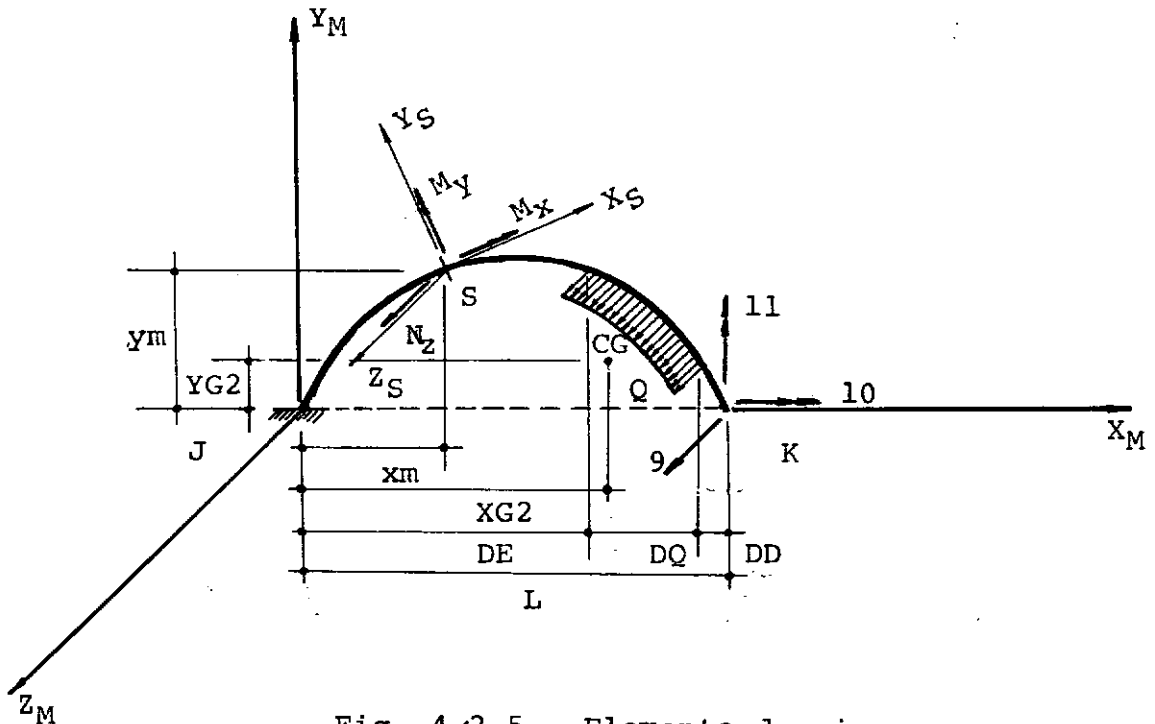


Fig. 4.2.5 - Elemento de eixo curvo com a extremidade K liberada nas direções 9, 10 e 11 sujeito a uma carga distribuída parcial paralela a direção Z_M

Aplicando-se esforços unitários na direção dos deslocamentos procurados, tem-se:

	M_x	M_y
$A_9 = 1$	$BT = -(L-xm) \operatorname{sen} \phi - ym \operatorname{cos} \phi$	$BF = -(L-xm) \operatorname{cos} \phi + ym \operatorname{sen} \phi$
$A_{10} = 1$	$\operatorname{cos} \phi$	$-\operatorname{sen} \phi$
$A_{11} = 1$	$\operatorname{sen} \phi$	$\operatorname{cos} \phi$

Como são duas secções a analisar, as mesmas grandezas definidas em 4.2.4 serão agora usadas para o trecho descarregado e carregado.

Entre a extremidade esquerda e o início da carga tem-se:

$$S1 = \int_{DE}^{DE+DQ} \frac{dxm}{\operatorname{cos} \phi}$$

$$QT1 = Q \cdot S1$$

As coordenadas do CG neste caso são:

$$XG1 = \frac{\int_{DE}^{DE+DQ} \frac{xm}{\operatorname{cos} \phi} dxm}{S1}$$

$$YG1 = \frac{\int_{DE}^{DE+DQ} \frac{ym}{\operatorname{cos} \phi} dxm}{S1}$$

No trecho carregado estas mesmas grandezas valem:

$$S2 = \int_{xm}^{DE+DQ} \frac{dxm}{\operatorname{cos} \phi}$$

$$QT2 = Q \cdot S2$$

Da mesma forma as coordenadas do CG escrevem-se:

$$\bar{X}G2 = \frac{\int_{xm}^{DE+DA} \frac{xm}{\cos\phi} dxm}{S2}$$

$$\bar{Y}G2 = \frac{\int_{xm}^{DE+DQ} \frac{ym}{\cos\phi} dxm}{S2}$$

Aplicando o princípio dos trabalhos virtuais, tem-se:

$$DL_{i,L} = \int_0^L \left\{ \frac{M_x, iM_x, L, M_y, iM_y, L}{GI_x \cos\phi \quad EI_y \cos\phi} \right\} dxm$$

$$DL_9 = \int_0^{DE} \left(\frac{-QT1BTQ1BT}{GI_x \cos\phi} \quad \frac{-QT1BFQ1BF}{EI_y \cos\phi} \right) dxm + \int_{DE}^{DE+DQ} \left(\frac{-QT2BTQ2BT}{GI_x \cos\phi} \quad \frac{-QT2BFQ2BF}{EI_y \cos\phi} \right) dxm$$

$$DL_{10} = \int_0^{DE} \left(\frac{QT1BTQ1}{GI_x} - \frac{QT1BTQ1 \text{sen}\phi}{EI_y \cos\phi} \right) dxm + \int_{DE}^{DE+DQ} \left(\frac{QT2BTQ2}{GI_x} - \frac{QT2BFQ2 \text{sen}\phi}{EI_y \cos\phi} \right) dxm$$

$$DL_{11} = \int_0^{DE} \left(\frac{QT1BTQ1 \text{sen}\phi}{GI_x \cos\phi} + \frac{QT1BFQ1}{EI_y} \right) dxm + \int_{DE}^{DE+DQ} \left(\frac{QT2BTQ2 \text{sen}\phi}{GI_x \cos\phi} + \frac{QT2BFQ2}{EI_y} \right) dxm$$

Os esforços de engastamento perfeito são obtidos através do sistema de equações de compatibilidade do método das forças.

Na extremidade da direita tem-se:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} FM_{KK} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} PL_K \end{Bmatrix} &= 0 \\ \begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} &= - \begin{bmatrix} FM_{KK} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} DL_K \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} AML_K \end{Bmatrix} &= - \begin{bmatrix} SM \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DL_K \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

Os esforços de engastamento perfeito da extremidade esquerda se obtém em função dos AML_K e das cargas que atuam no elemento através das condições de equilíbrio.

4.2.6 - Elementos de Eixo Curvo Sujeitos a Momento Uniforme Total

Para este tipo de carregamento serão analisados os deslocamentos nas direções 9, 10 e 11.

Considere-se o elemento de eixo curvo sujeito a momento uniforme total, representado na figura 4.2.6

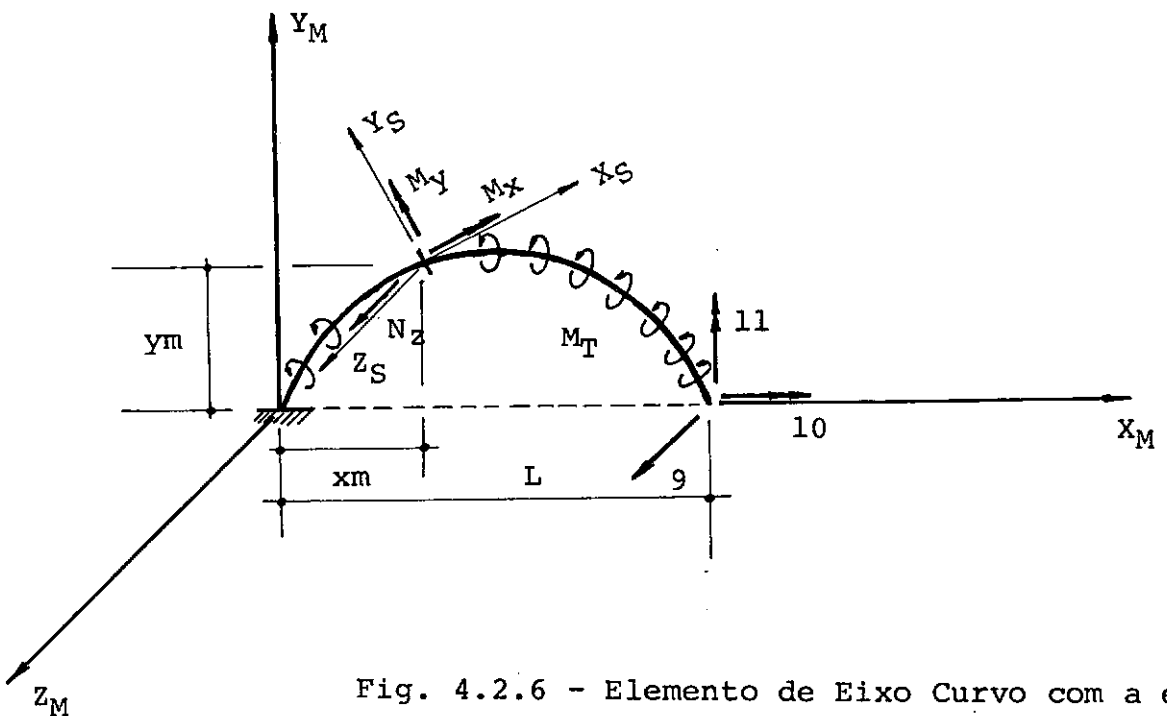


Fig. 4.2.6 - Elemento de Eixo Curvo com a extremidade K liberada nas direções 9, 10 e 11 sujeito a momento uniforme total.

Seja M_T o momento por unidade de comprimento num elemento de arco, temos que as componentes horizontal e vertical desse momento são:

$$dM_H = M_T ds \cos \phi = M_T dx$$

$$dM_V = M_T ds \sin \phi = M_T dy$$

Numa secção genérica \underline{S} , as componentes do carregamento total são:

$$M_H = M_T (L - xm)$$

$$M_V = M_T ym$$

Logo, para os esforços seccionais têm-se:

$$M_x = M_H \cos \phi + M_V \sin \phi$$

$$M_y = - M_H \sin \phi + M_V \cos \phi$$

Pela aplicação do princípio dos trabalhos virtuais, como nos casos anteriores, têm-se:

$$DL_{10} = \int_0^L \left(\frac{M_H \cos \phi + M_V \sin \phi}{GI_x} - \frac{(-M_H \sin \phi + M_V \cos \phi)}{EI_y \cos \phi} \sin \phi \right)$$

$$DL_{11} = \int_0^L \left(\frac{M_H \cos \phi + M_V \sin \phi}{GI_x \cos \phi} \sin \phi + \frac{(-M_H \sin \phi + M_V \cos \phi)}{EI_y} \right) dxm$$

$$DL_9 = \int_0^L \left(\frac{-BT(M_H \cos \phi + M_V \sin \phi)}{GI_x \cos \phi} + \frac{-BT(-M_H \sin \phi + M_V \cos \phi)}{EI_y \cos \phi} \right) dxm$$

Os esforços de engastamento perfeito se obtêm a partir da equação de compatibilidade, do método das forças e das condições de equilíbrio.

5 - Introdução das Liberações nos Membros

É possível obter de modo automático a matriz de rigidez de elementos com articulações, a partir da matriz de rigidez do elemento sem articulações.

As articulações de modo generalizado podem ser de vários tipos, caracterizados pelos esforços solicitantes que estas não conseguem transmitir.

Nos membros no espaço, têm-se as seguintes articulações generalizadas simples:

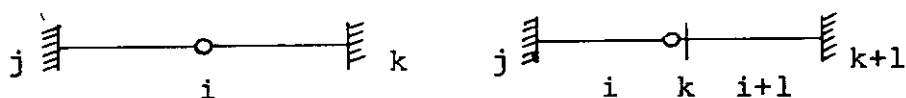
<p>12 Direções Liberadas</p>	<p><u>Liberação 3</u></p>	<p><u>Liberação 5</u></p>	
<p><u>Liberação 1</u></p>	<p><u>Liberação 2</u></p>	<p><u>Liberação 6</u></p>	<p><u>Liberação 4</u></p>
<p>Não transmite força normal</p>	<p>Não transmite cortante na direção y ou z</p>	<p>Não transmite fletor na direção y ou z</p>	<p>Não transmite torsor</p>

As articulações generalizadas compostas resultam das combinações destas, não sendo admitidas combinações que tornem o elemento hipostático, como por exemplo:

<p>Liberação 1 e 7</p>	<p>Liberação 2 e 8 ou 3 e 9</p>	<p>Liberação 4 e 10</p>
------------------------	-------------------------------------	-------------------------

É necessário que as liberações sejam localizadas entre a extremidade do elemento e o nó contíguo da estrutura.

Assim sendo, quando se quiser colocar uma articulação no meio de um membro, este deve ser dividido em dois, de modo que a articulação fique na extremidade de um deles.



As operações matriciais que se fazem na matriz de rigidez e no vetor de esforços de engastamento perfeito de um elemento sem liberações baseam-se na condição de nulidade de esforços na extremidade do elemento onde foi aplicada a liberação bem como a descontinuidade de deslocamentos, uma vez que, ao se introduzir uma articulação, o deslocamento na extremidade do elemento não é o mesmo que teria o elemento sem liberação.

Os esforços na extremidade do elemento são dados por:

$$\{ A \} = [SM] \{ DM \} + \{ AML \}$$

onde:

$[SM]$ é a matriz de rigidez do elemento

$\{ DM \}$ é o vetor dos deslocamentos na extremidade do elemento

$\{ AML \}$ é o vetor das ações de engastamento perfeito devidas às cargas aplicadas ao elemento.

$$\begin{pmatrix} AM(1) \\ AM(2) \\ \vdots \\ AM(i) \\ \vdots \\ AM(12) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} SM(1,1) & SM(1,2) & \dots & SM(1,i) & \dots & SM(1,12) \\ SM(2,1) & SM(2,2) & \dots & SM(2,i) & \dots & SM(2,12) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ SM(i,1) & SM(i,2) & \dots & SM(i,i) & \dots & SM(i,12) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ SM(12,i) & SM(12,2) & \dots & SM(12,i) & \dots & SM(12,12) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DM(1) \\ DM(2) \\ \vdots \\ DM(i) \\ \vdots \\ DM(12) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} AML(1) \\ AML(2) \\ \vdots \\ AML(i) \\ \vdots \\ AML(12) \end{pmatrix}$$

Sendo i , a direção a ser liberada, fazendo $AML(i) = 0$,

têm-se:

$$SM(i,1) \times DM(1) + SM(i,2) \times DM(2) + \dots + SM(i,i) \times DM(i) + \dots + SM(i,12) \times DM(12) + AML(i) = 0$$

$$DM(i) = - \frac{1}{SM(i,i)} \left[SM(i,1) \times DM(1) + SM(i,2) \times DM(2) + \dots + SM(i,12) \times DM(12) + AML(i) \right]$$

Desenvolvendo a equação matricial, têm-se:

$$\begin{aligned} AM(1) = & SM(1,1) \times DM(1) + SM(1,2) \times DM(2) + \dots + SM(1,i) \times DM(i) + \dots + \\ & + SM(1,12) \times DM(12) + AML(1) \end{aligned}$$

Substituindo $DM(i)$, vem:

$$\begin{aligned} AM(1) = & \left(SM(1,1) - \frac{SM(1,i) \times SM(i,1)}{SM(i,i)} \right) DM(1) + \\ & + \left(SM(1,2) - \frac{SM(1,i) \times SM(i,2)}{SM(i,i)} \right) DM(2) + \dots + \\ & + \left(SM(1,12) - \frac{SM(1,i) \times SM(i,12)}{SM(i,i)} \right) DM(12) + \left(AML(1) - \frac{SM(1,i)}{SM(i,i)} \times AML(i) \right) \end{aligned}$$

O termo correspondente a $DM(i)$ é nulo.

Em notação matricial, pode-se escrever:

$$\{AM\} = [SM^*] \{DM\} + \{AML^*\}$$

$[SM^*]$ e $\{AML^*\}$ são as matrizes modificadas pela introdução das liberações.

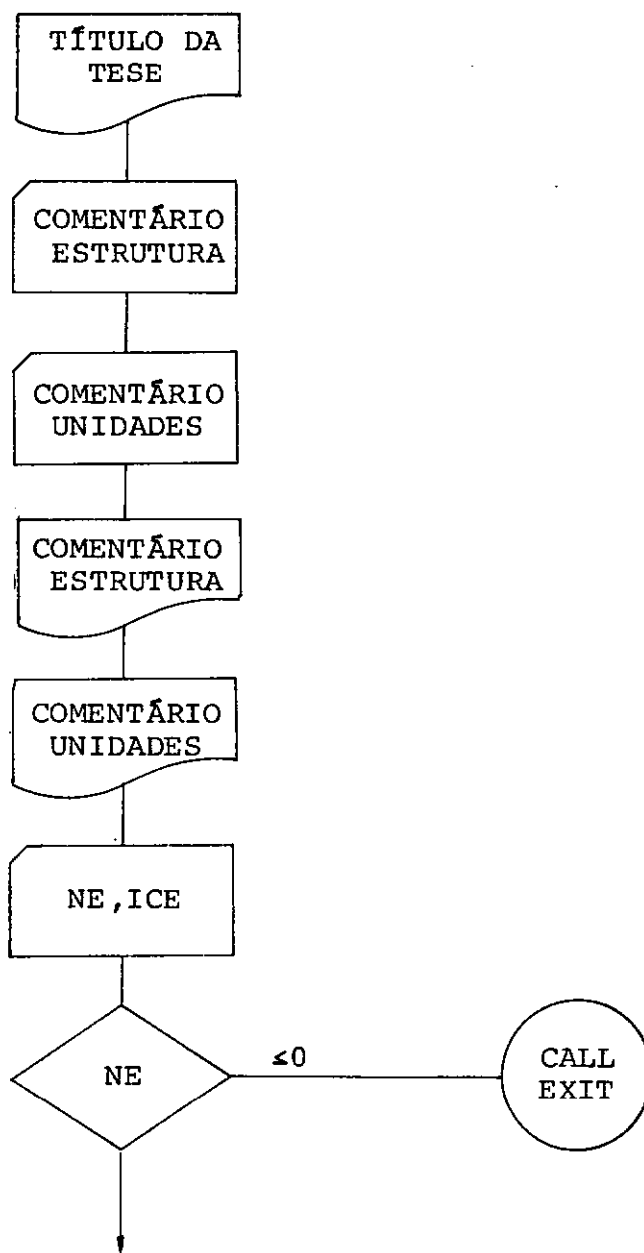
A modificação das matrizes de rigidez e dos esforços de engastamento perfeito do elemento é feita por:

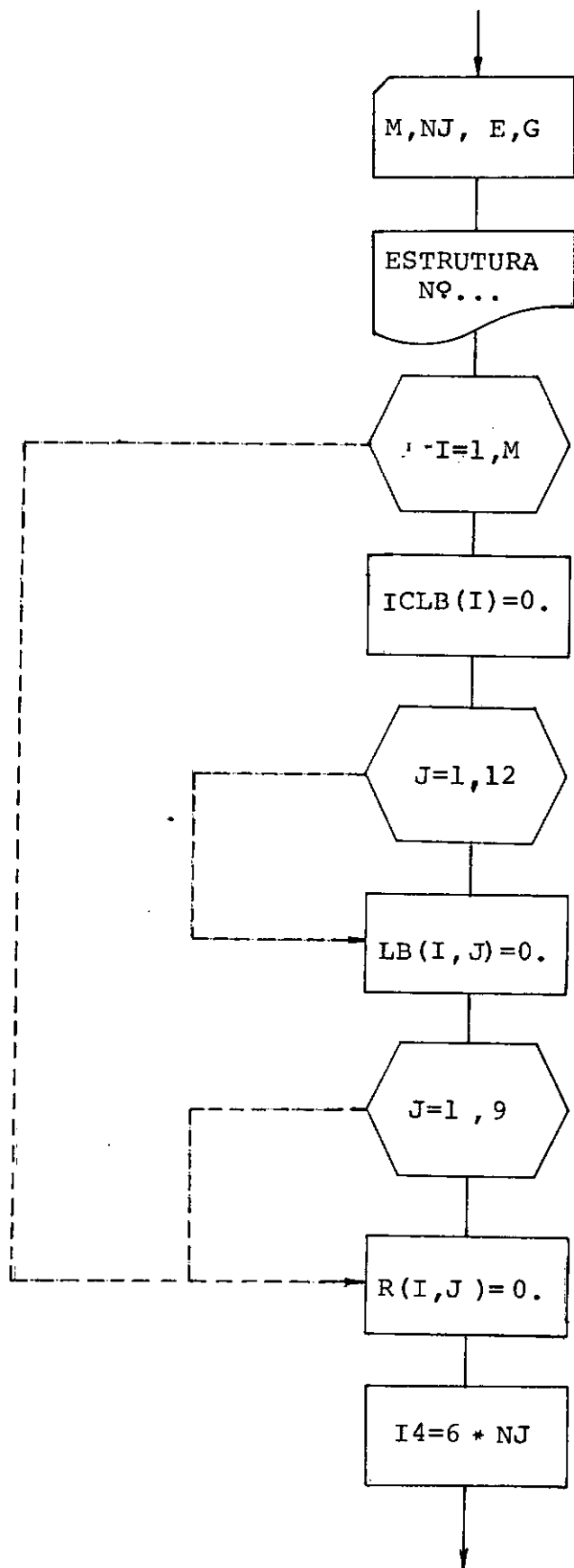
$$SM^*(k, j) = SM(k, j) - \frac{SM(k, i) \times SM(i, k)}{SM(i, i)}$$

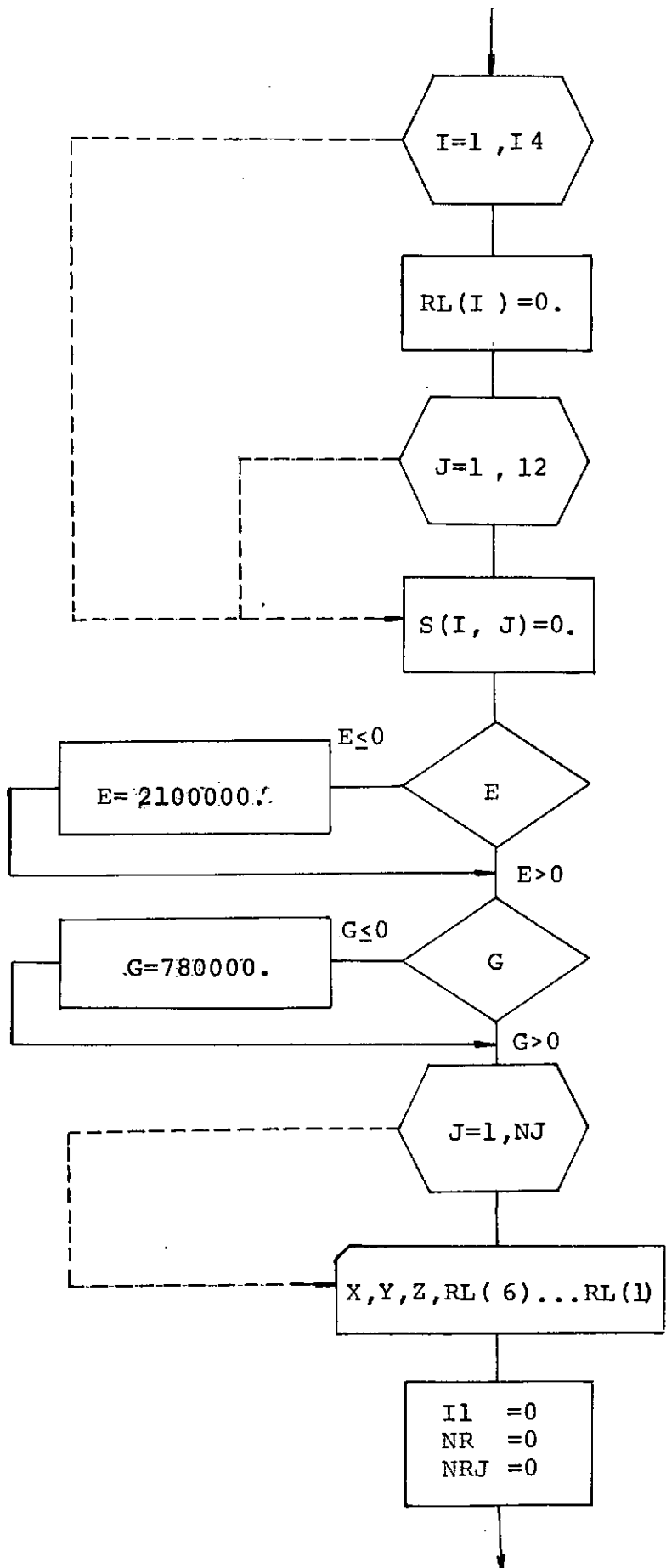
$$AML^*(k) = AML(k) - \frac{SM(k, i)}{SM(i, i)} AML(i)$$

Quando existirem liberações combinadas, as diversas liberações são introduzidas sucessivamente.

É possível introduzir simultaneamente todas as liberações de um elemento. Para isso, é necessário rearrumar a matriz de rigidez do elemento, numerando, em primeiro lugar, as direções não liberadas e, por último, as direções liberadas. Estas operações estão bem apresentadas na referência bibliográfica (2).

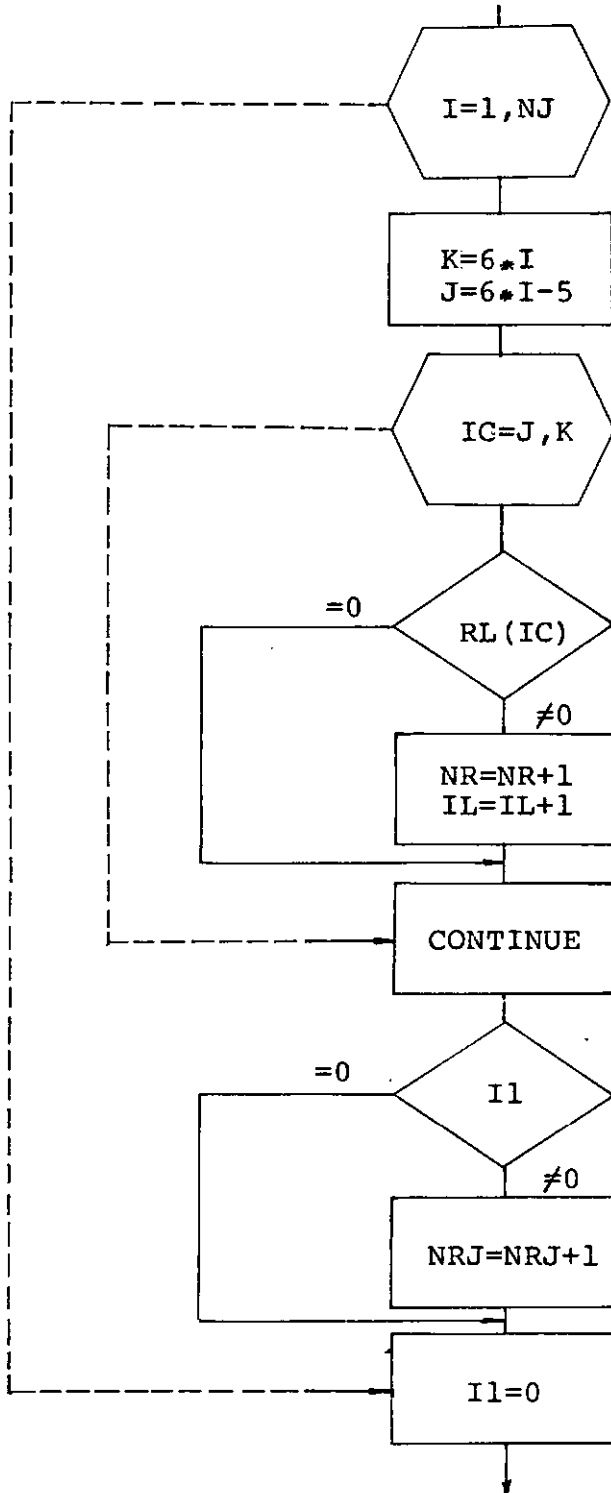
CAPÍTULO IIIPROGRAMA AUTOMÁTICO1. - Diagrama de Blocos do Programa Principal1.1 - Dados sobre a Estrutura

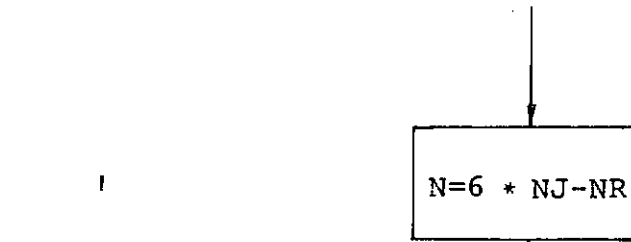




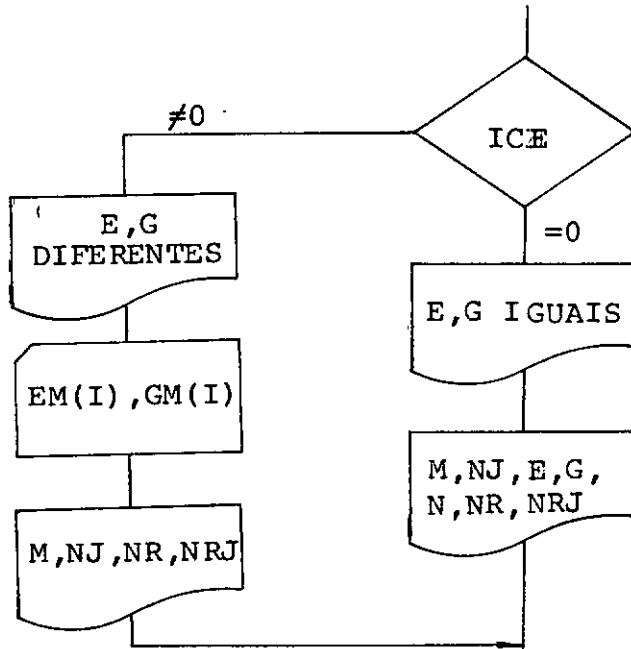
MRC,MRV,MCC,MCV,MLB,NLE

1.2 - Graus de Liberdade, Número de Restrições,
Número de Juntas Restringidas

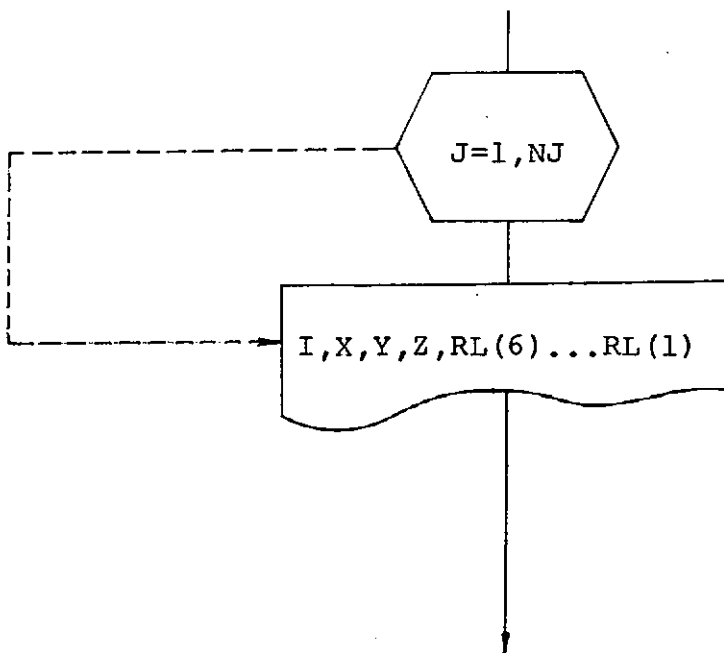


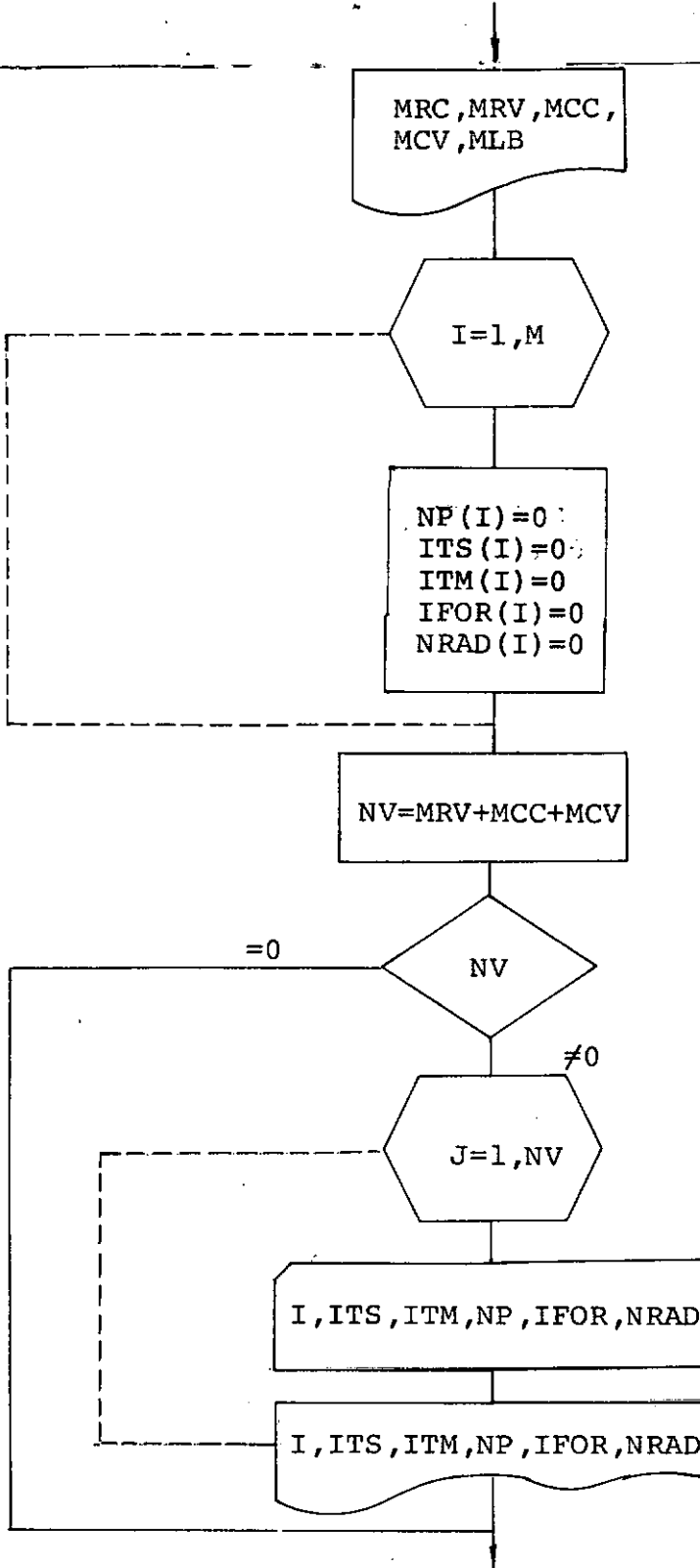


1.1.3 - Módulos de Elasticidade Longitudinal e Transversal

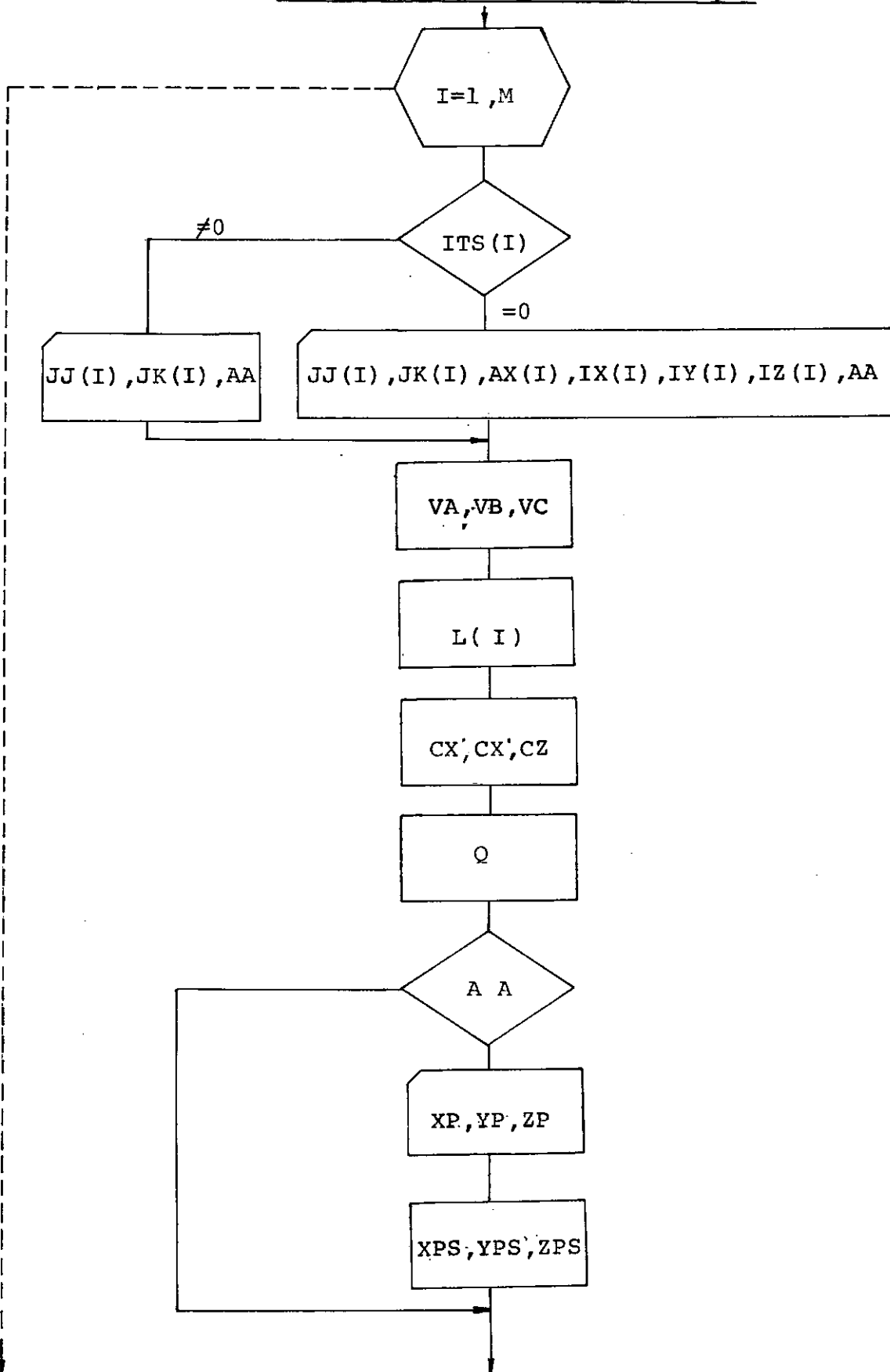


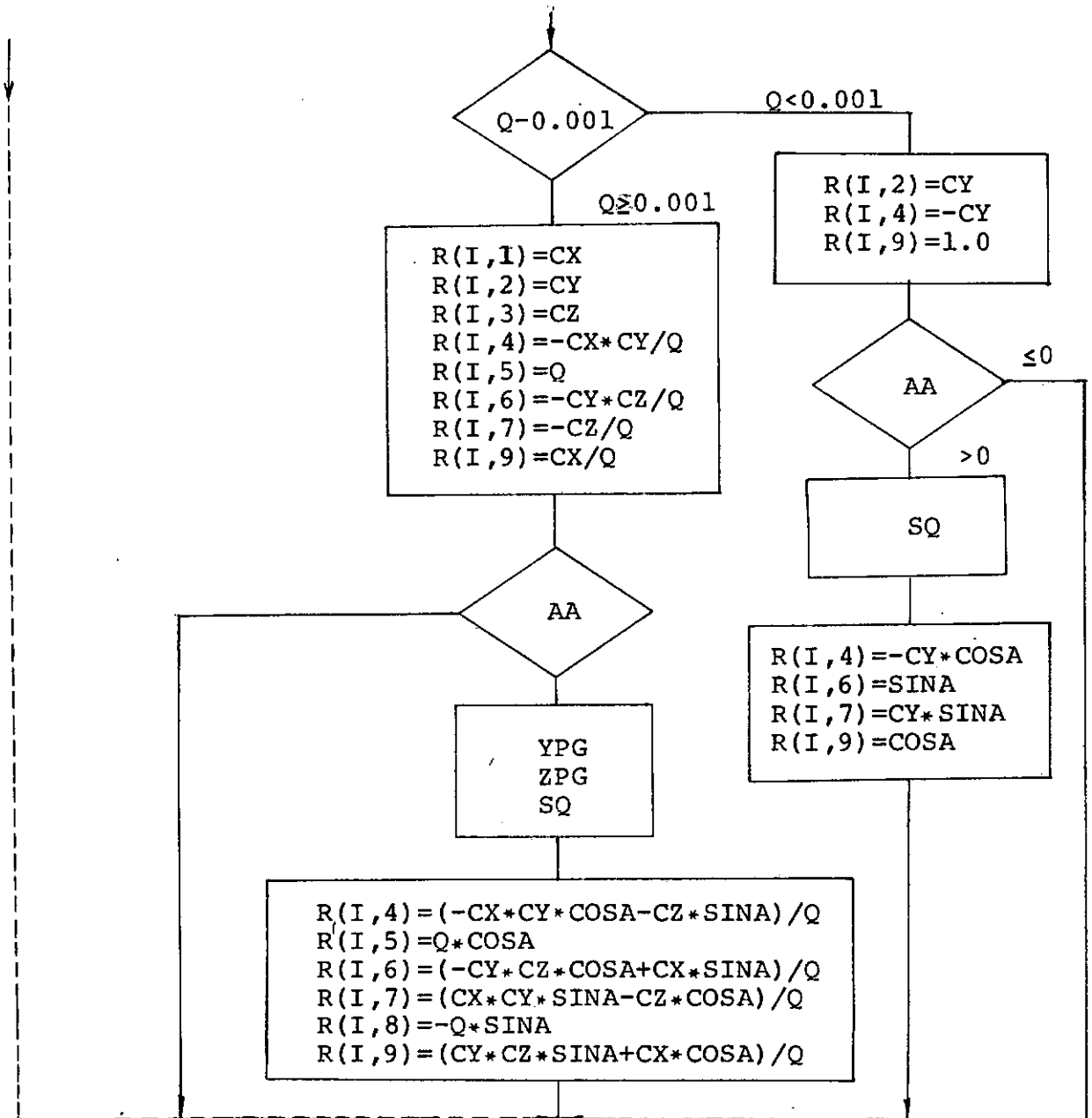
1.1.4 - Coordenadas das Juntas



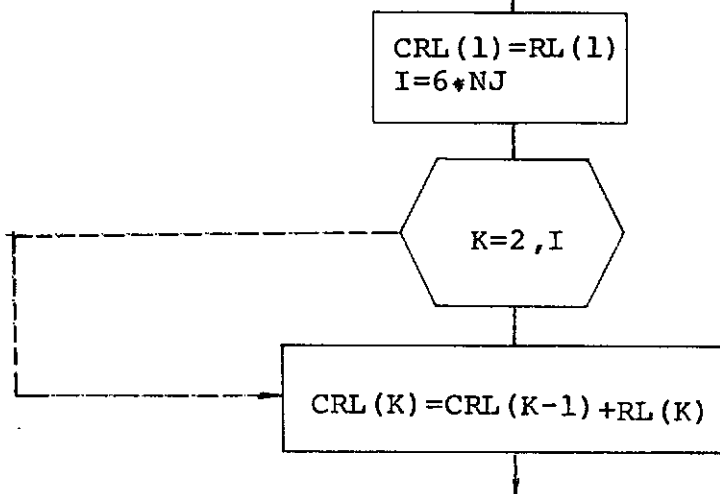
1.5 - Propriedades dos Elementos

1.1.6 - Formação das Matrizes de Rotação

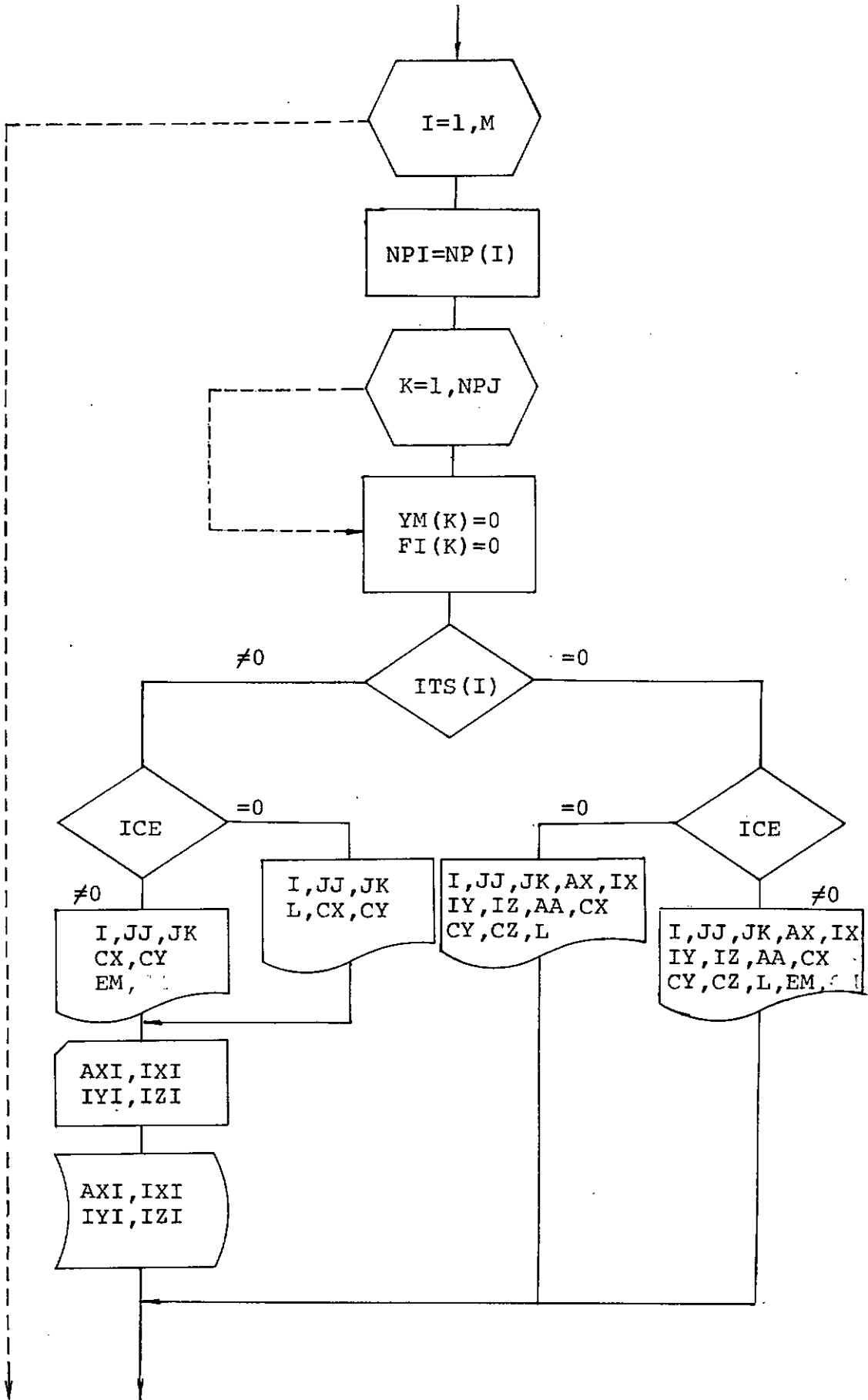


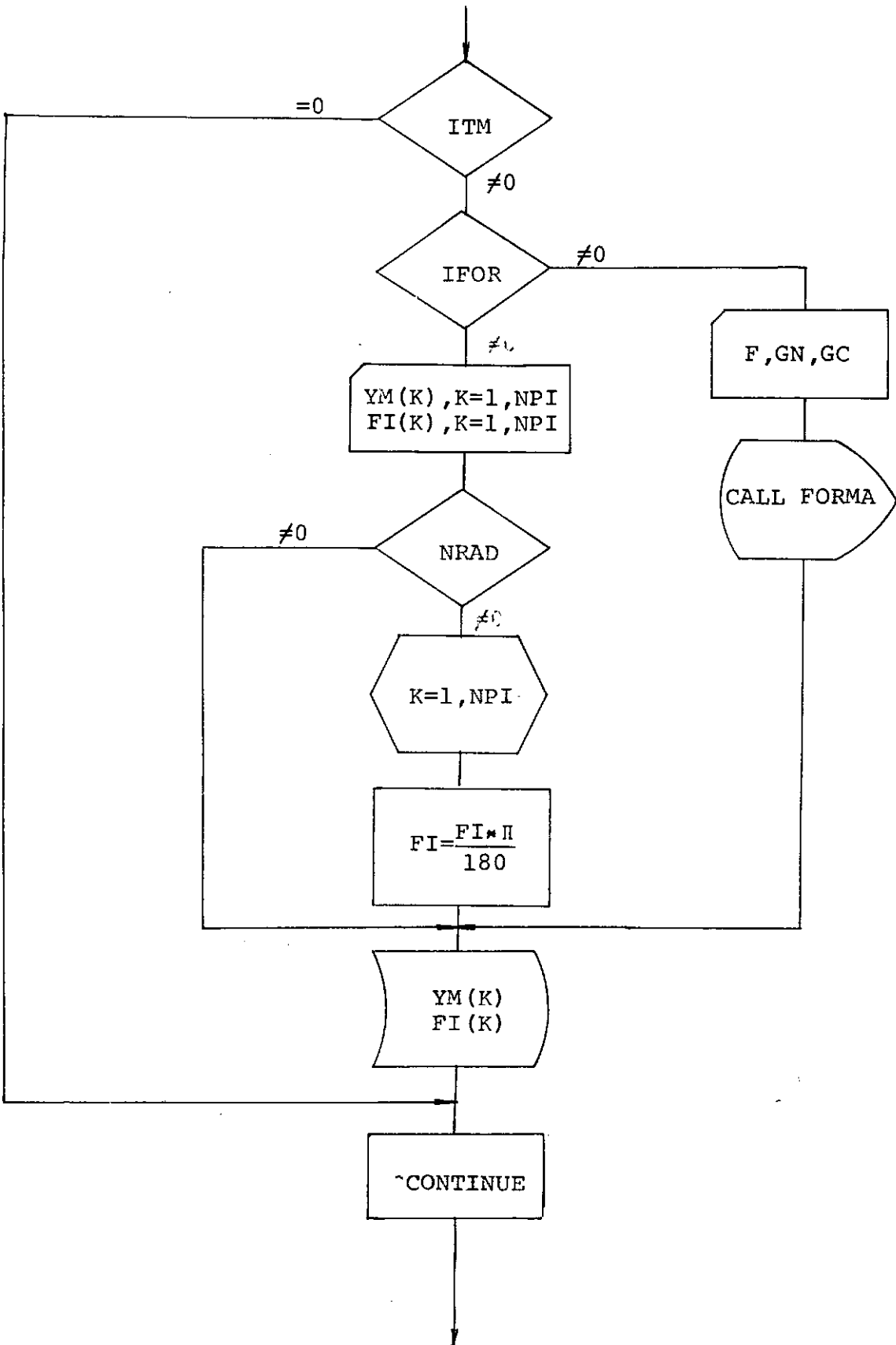


1.1.7 - Lista Cumulativa de Restrições

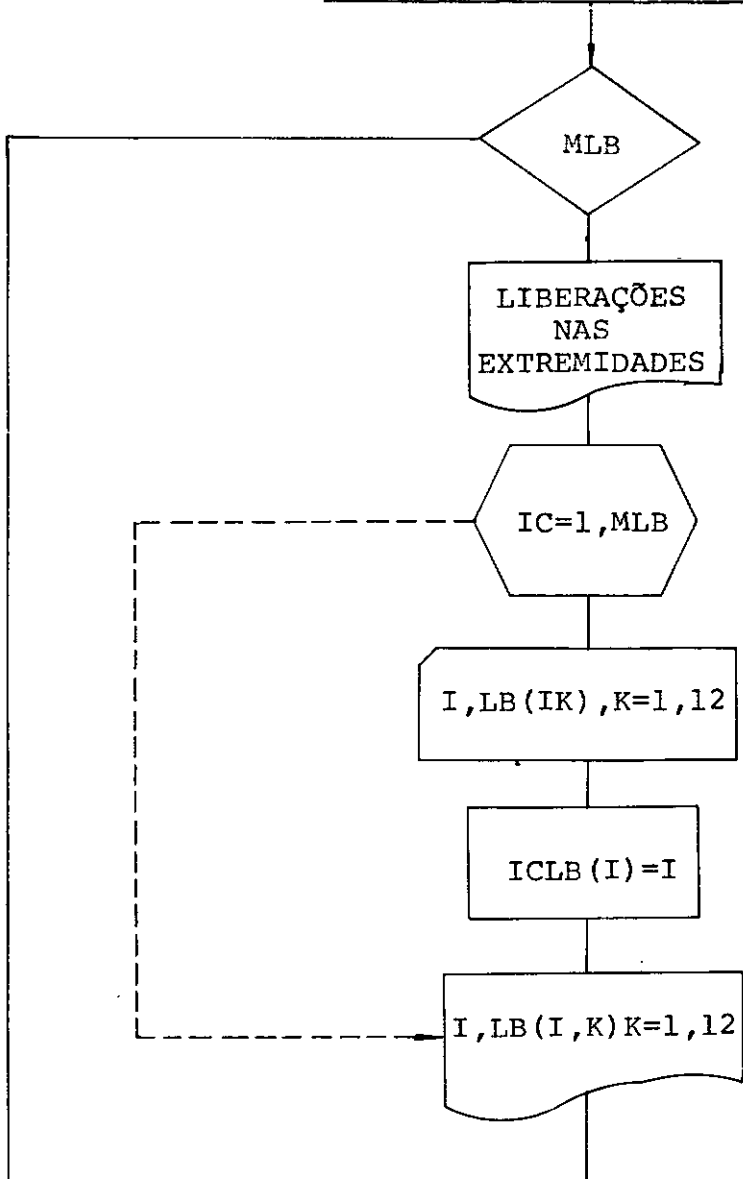


1.8 - Características dos Membros com Secção Variável

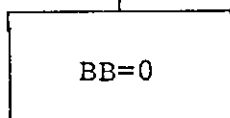


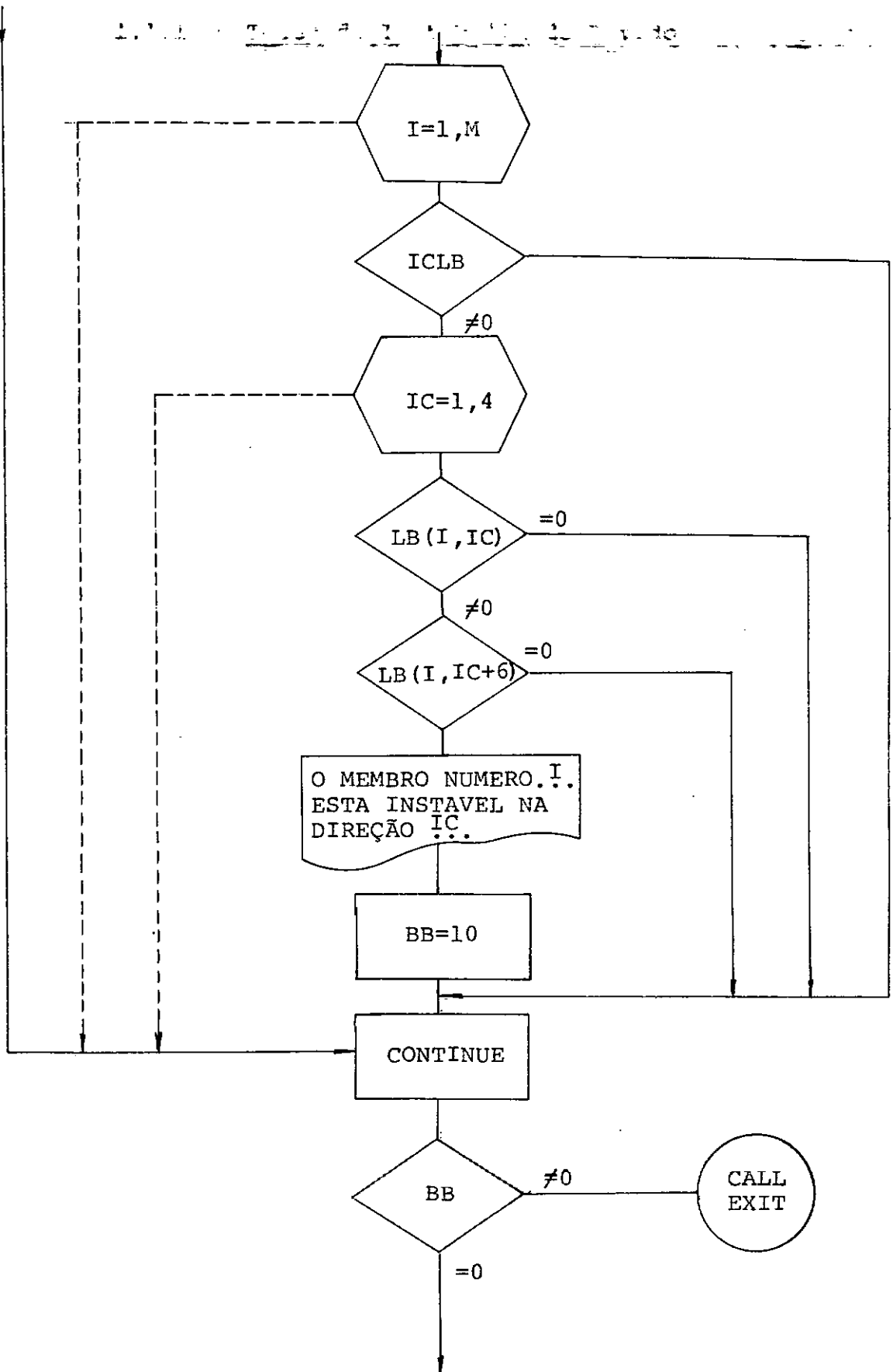


1.9 - Informações sobre os Membros Liberados

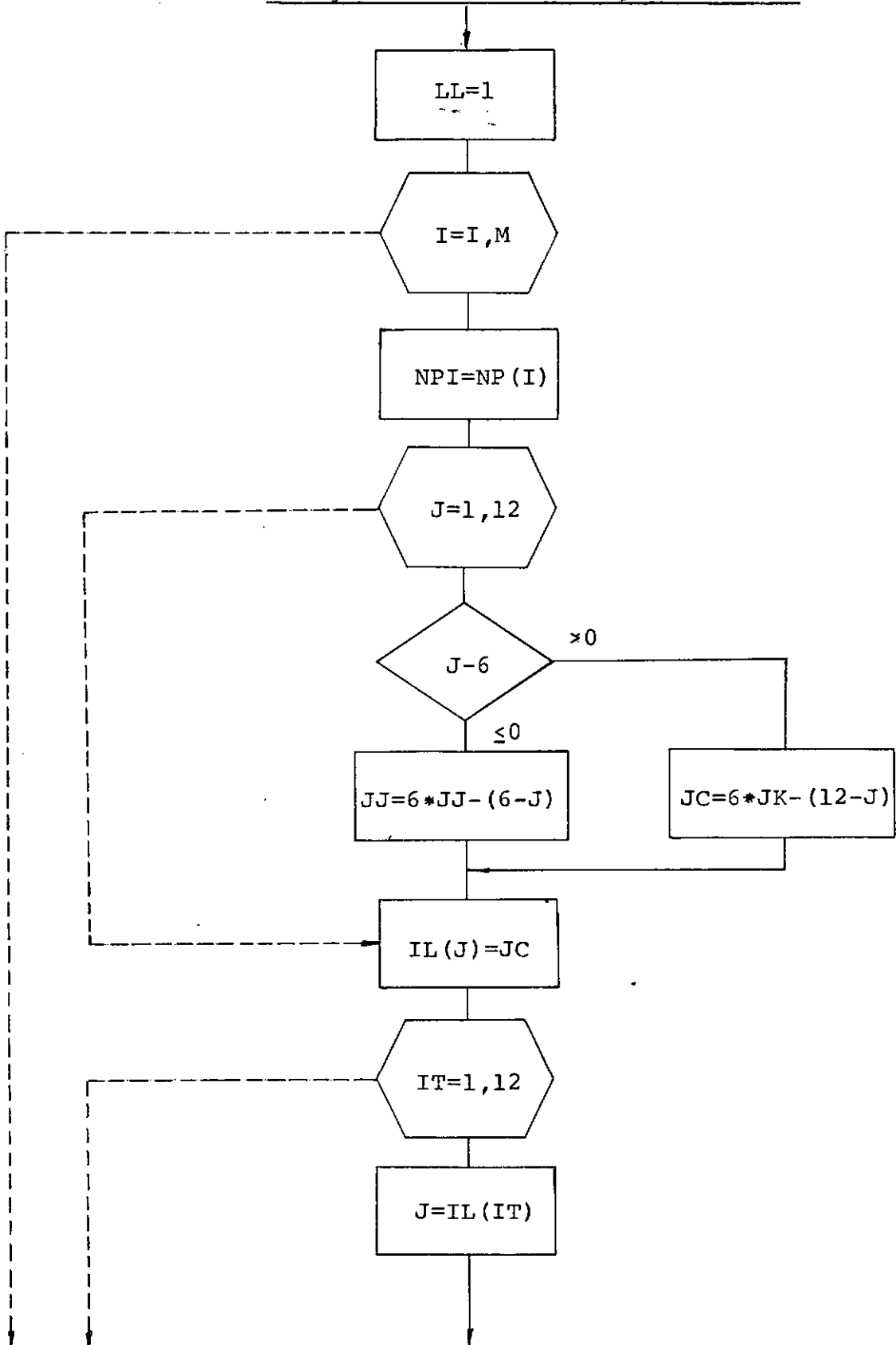


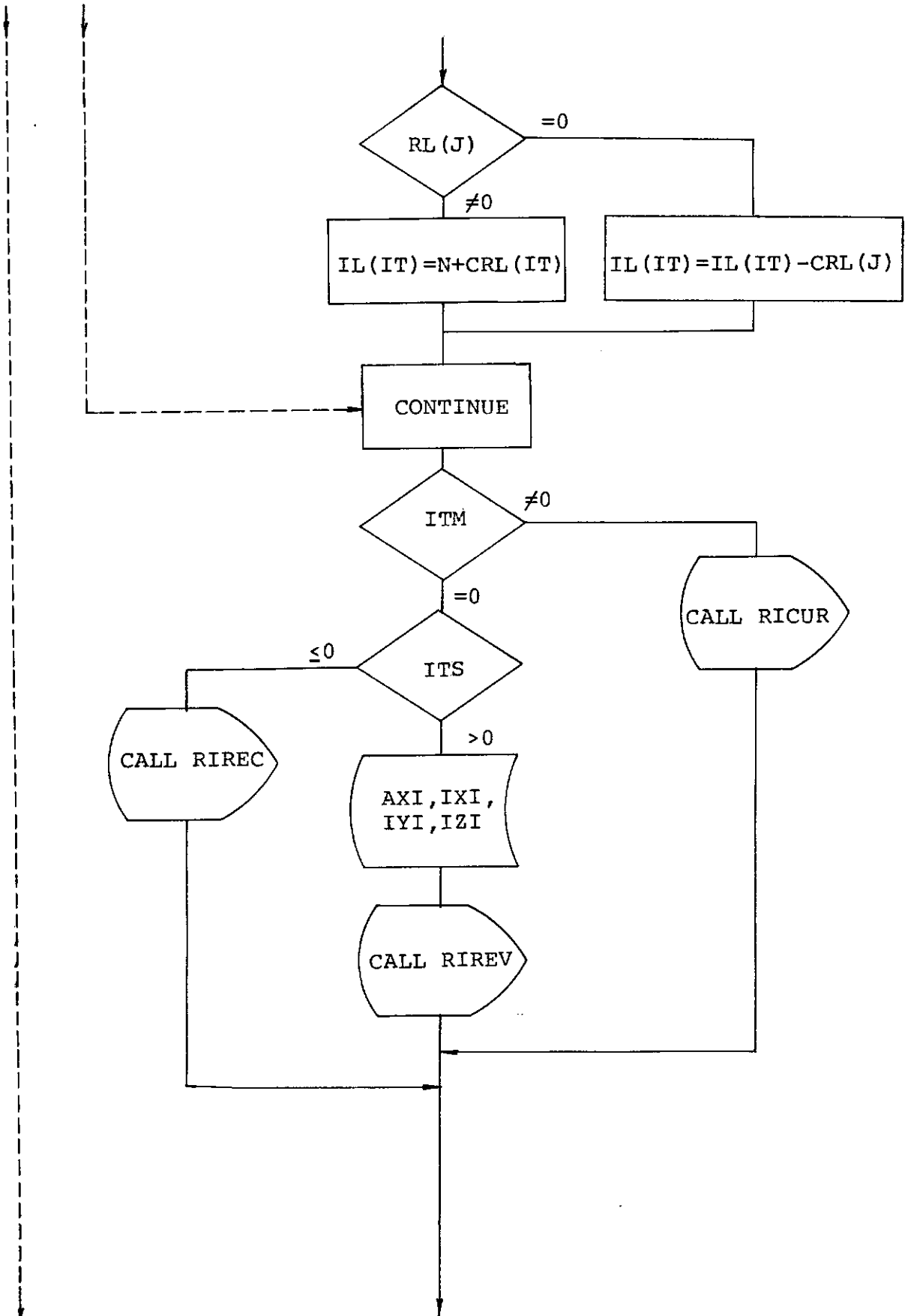
1.1.10 - Testes de Instabilidade Devido a Liberações

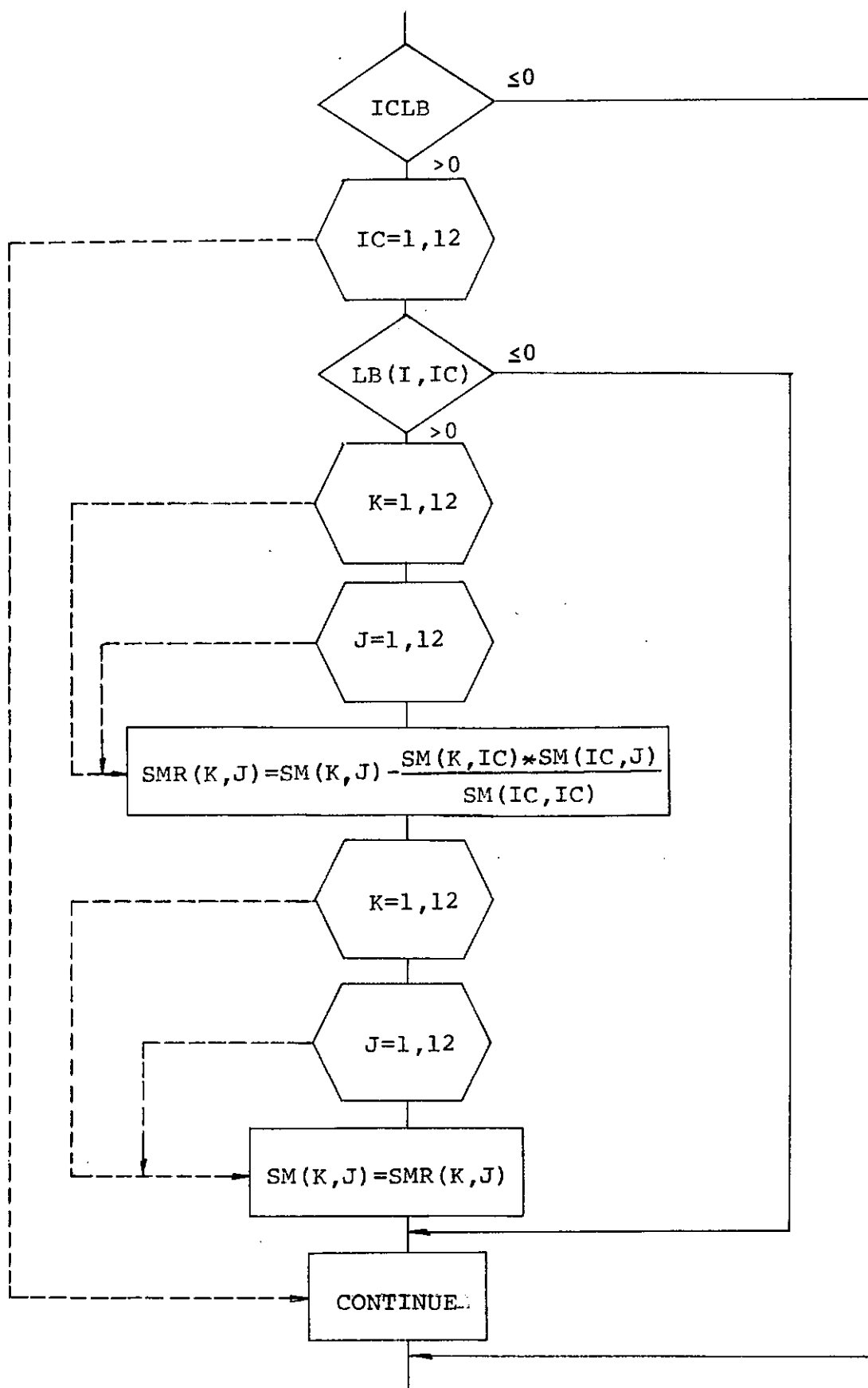


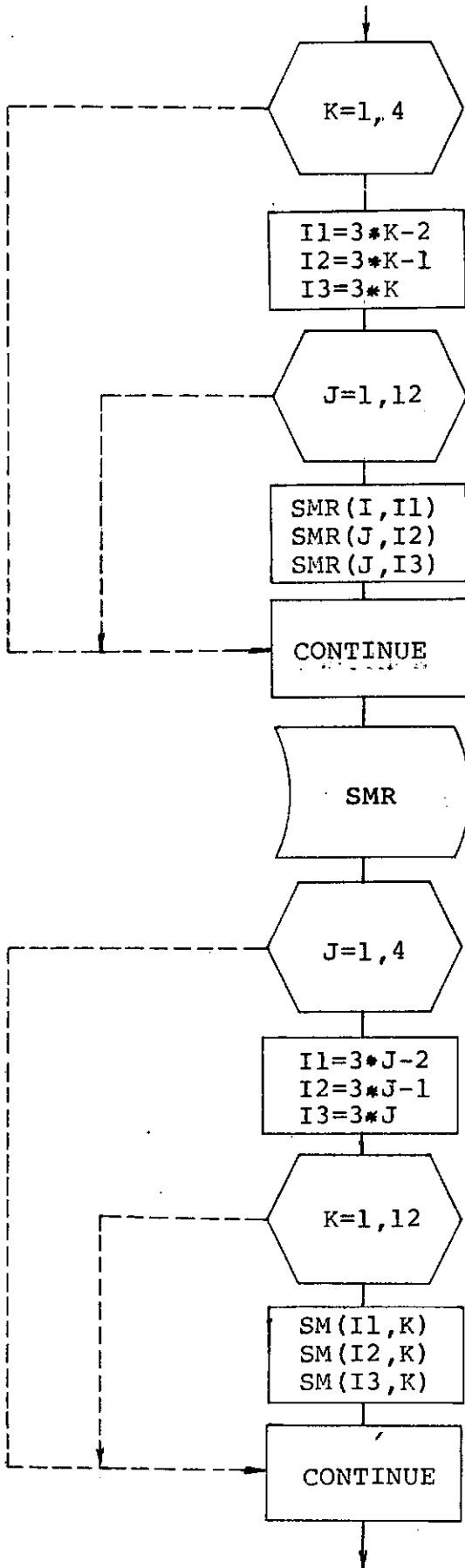


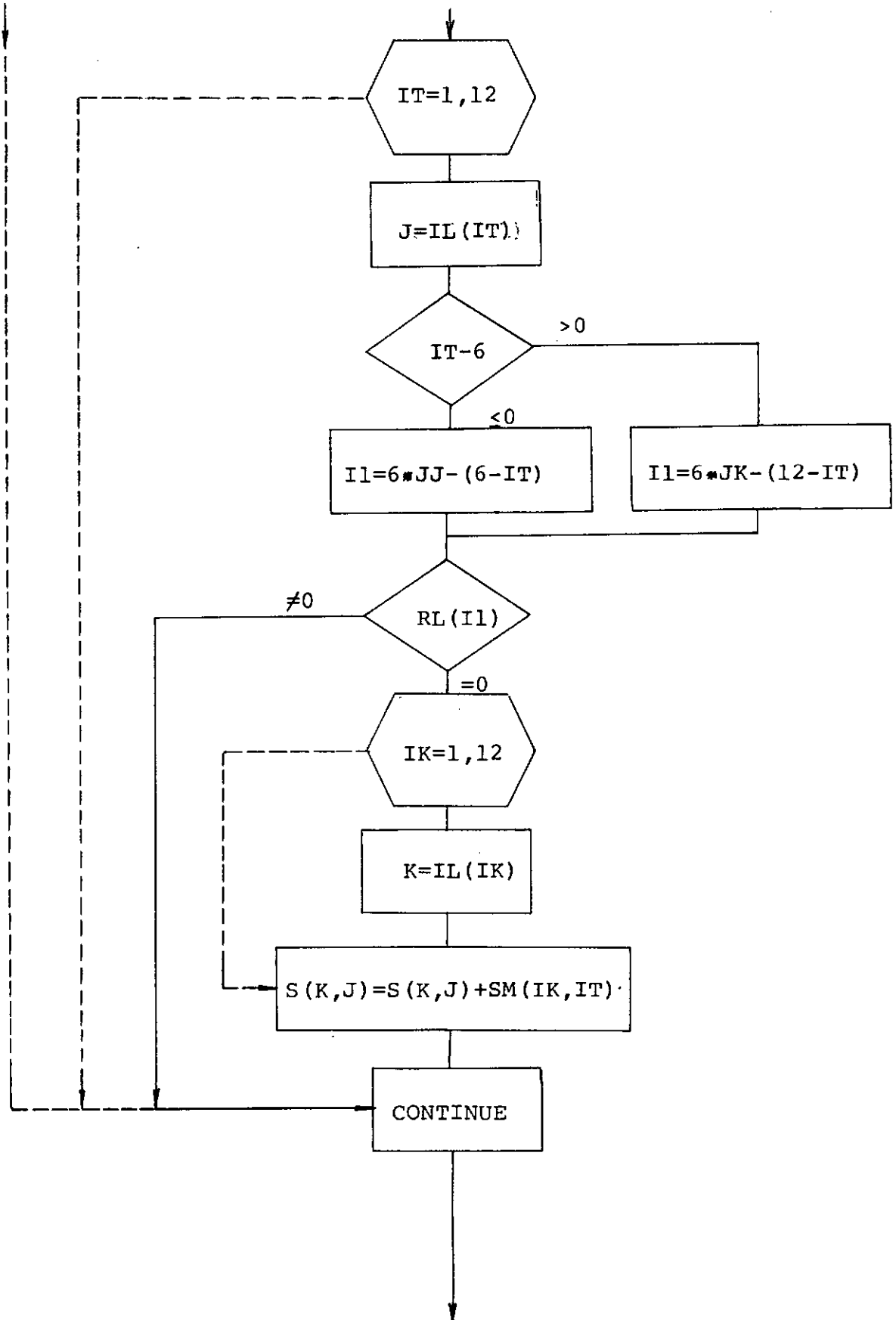
1.1.11 - Geração da Matriz de Rigidez Global



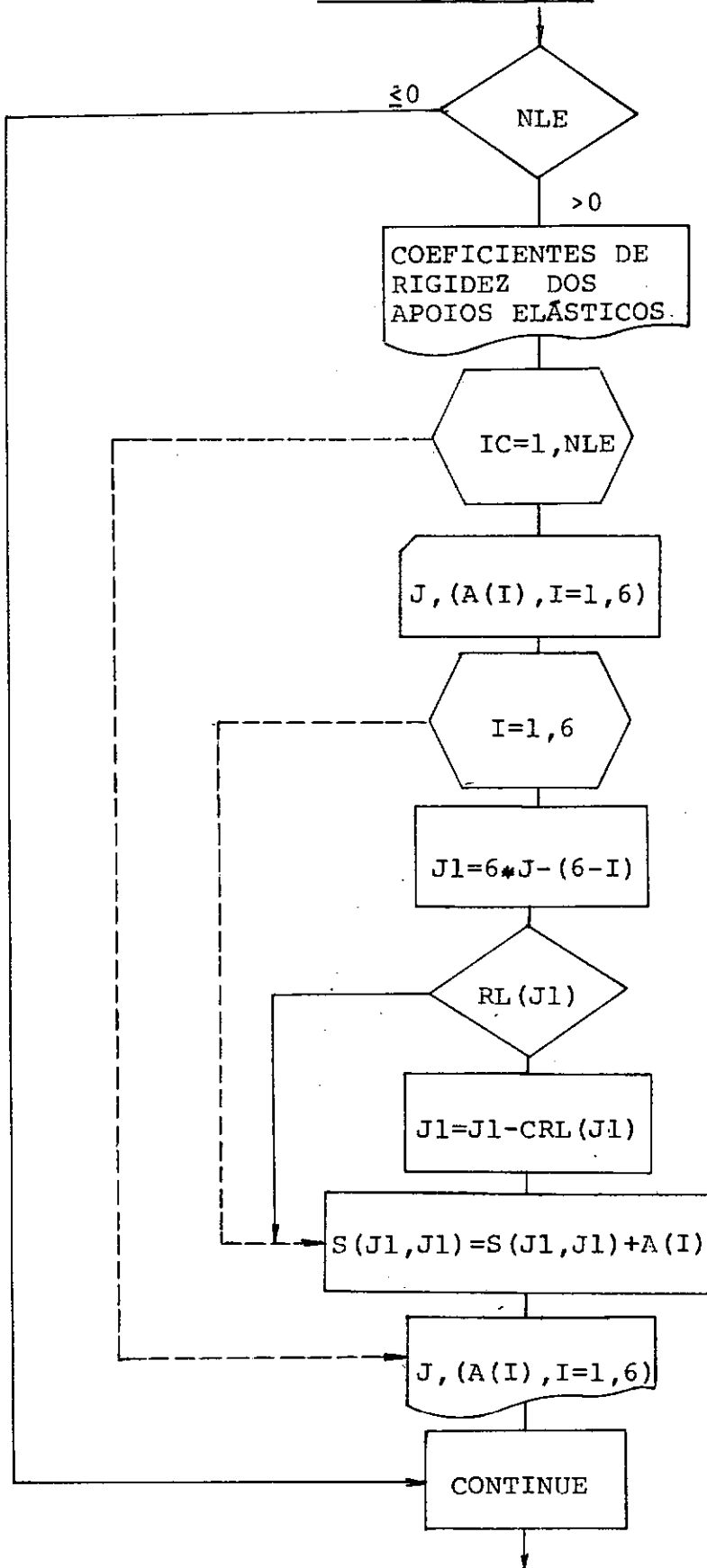


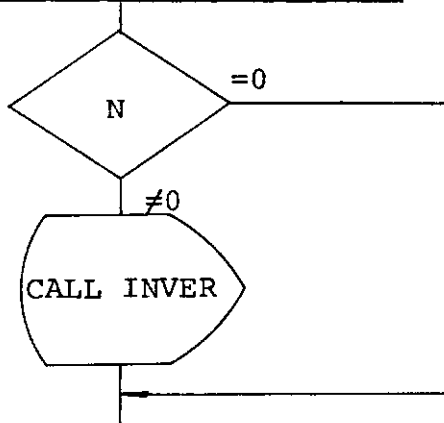
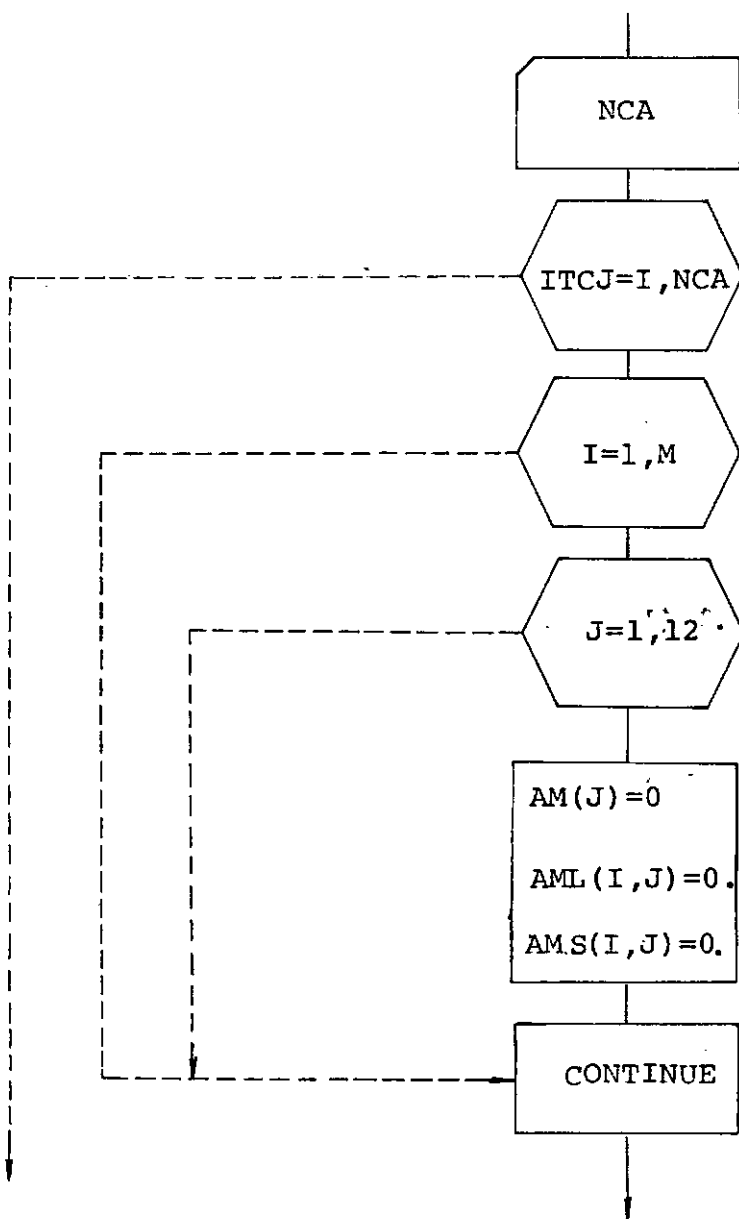


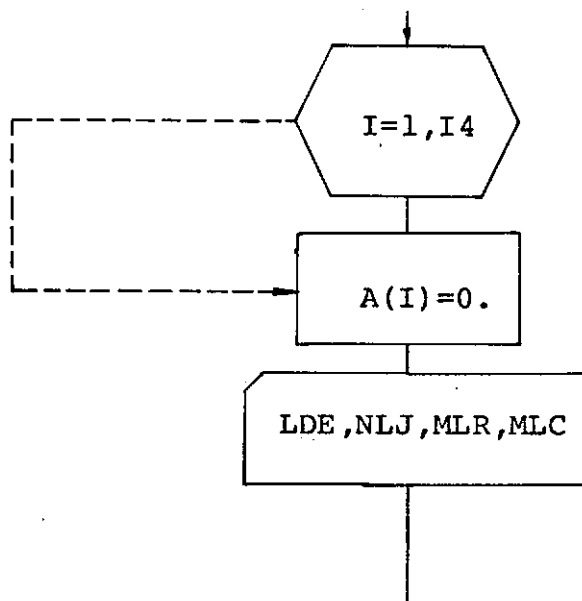




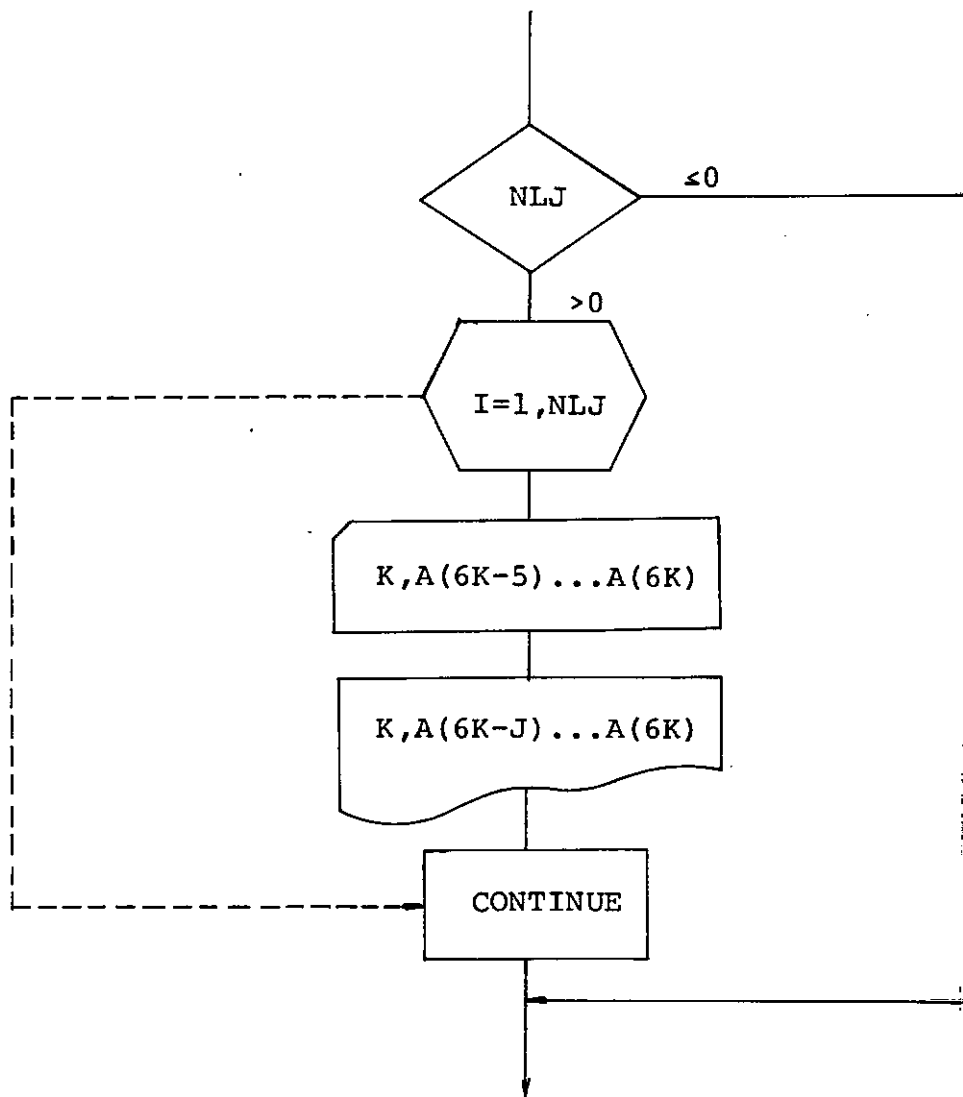
1.1.12 - Apoios Elásticos



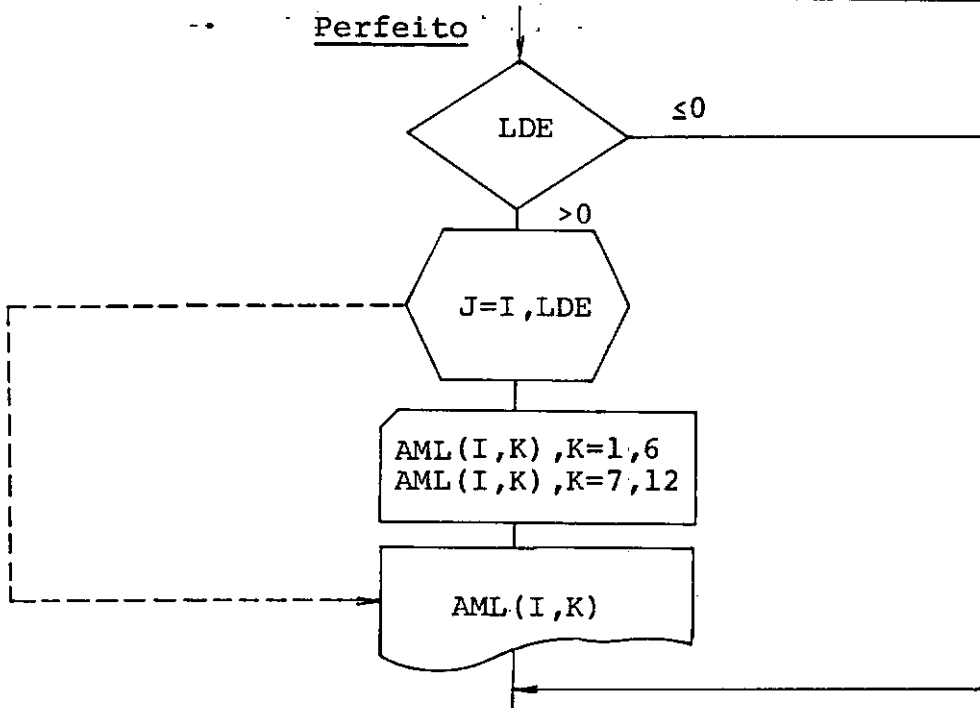
1.1.13 - Inversão da Submatriz S(N,N)1.1.14 - Processamento dos Carregamentos



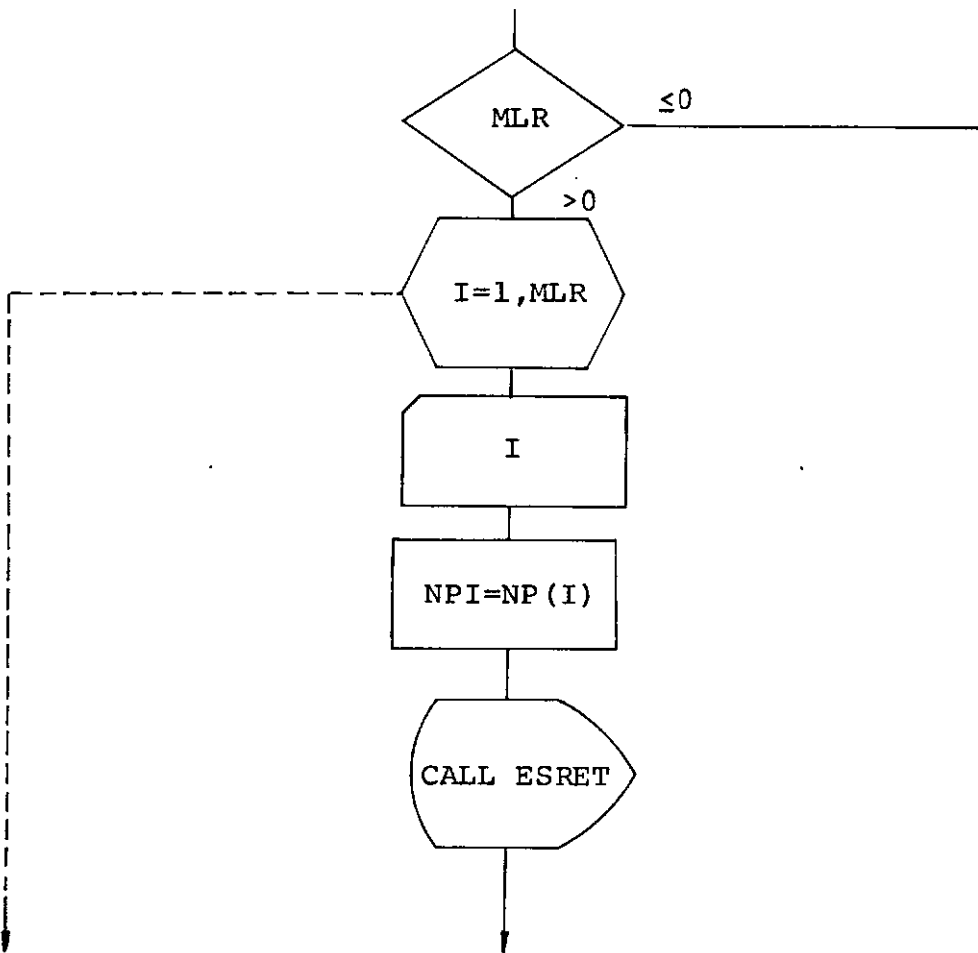
1.1.15 - Esforços Aplicados as Juntas

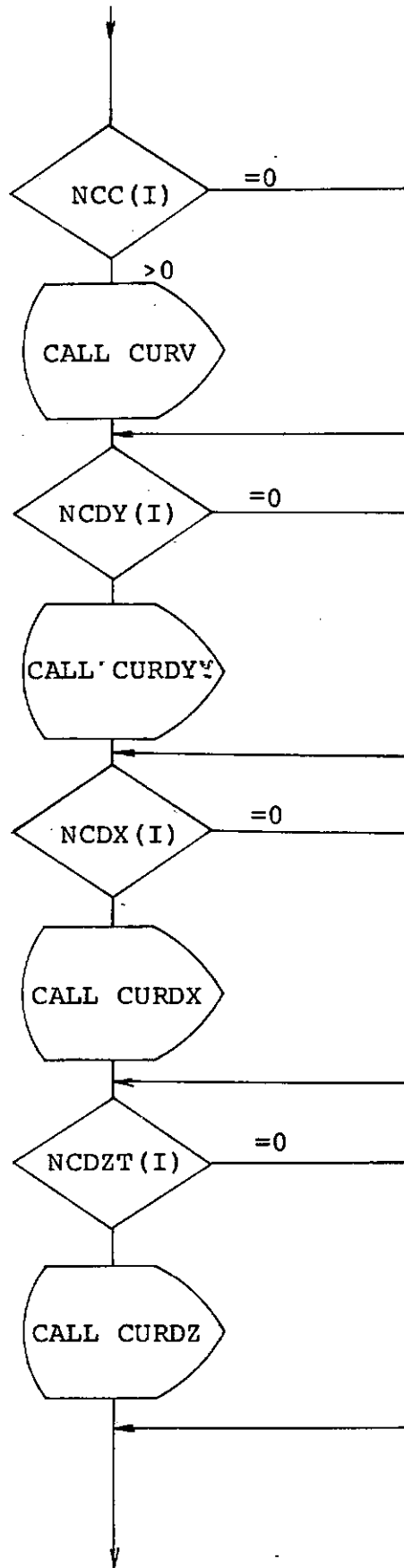


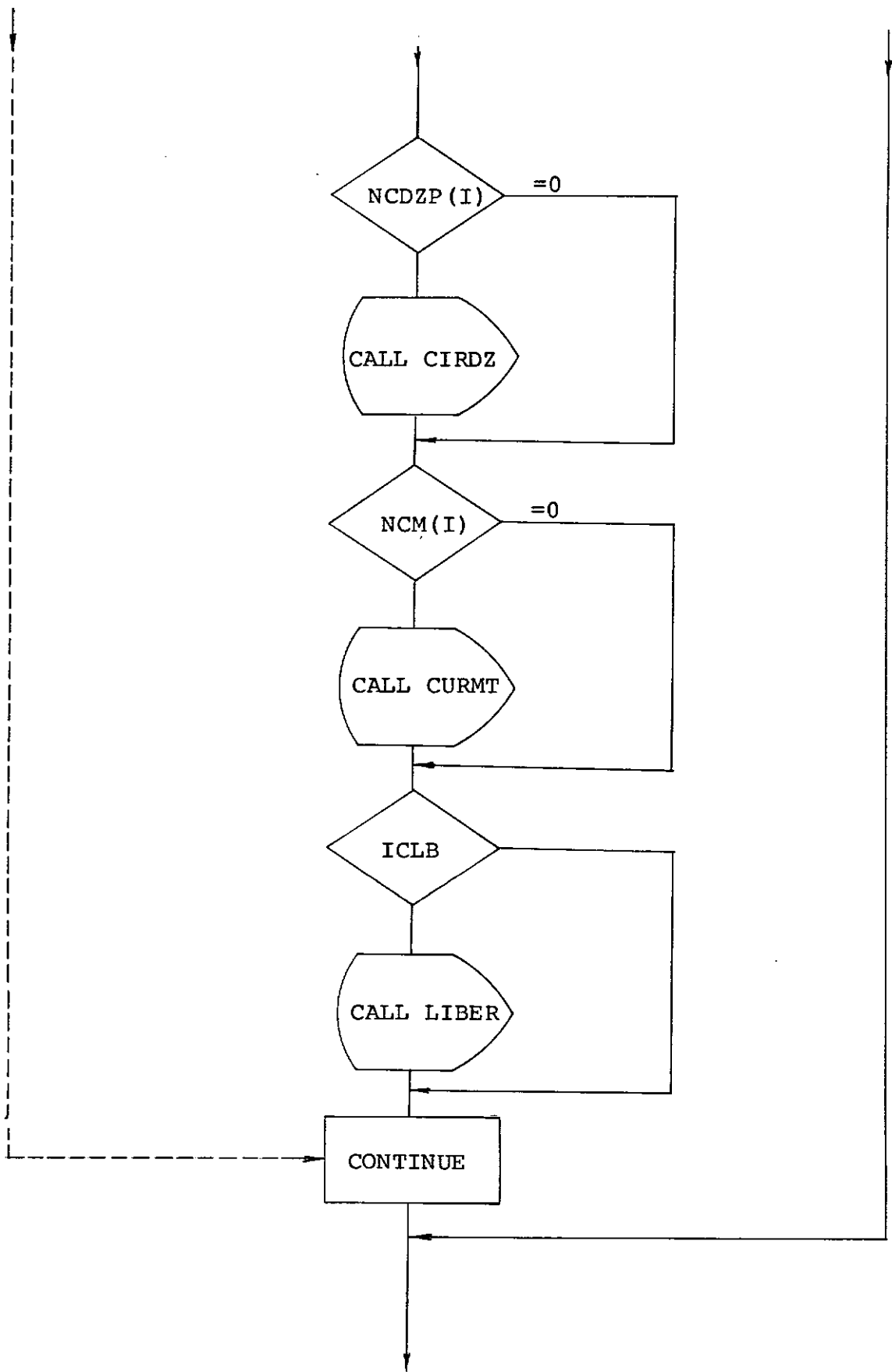
1.16 - Leitura Direta de Esforços de engastamento
 -- Perfeito

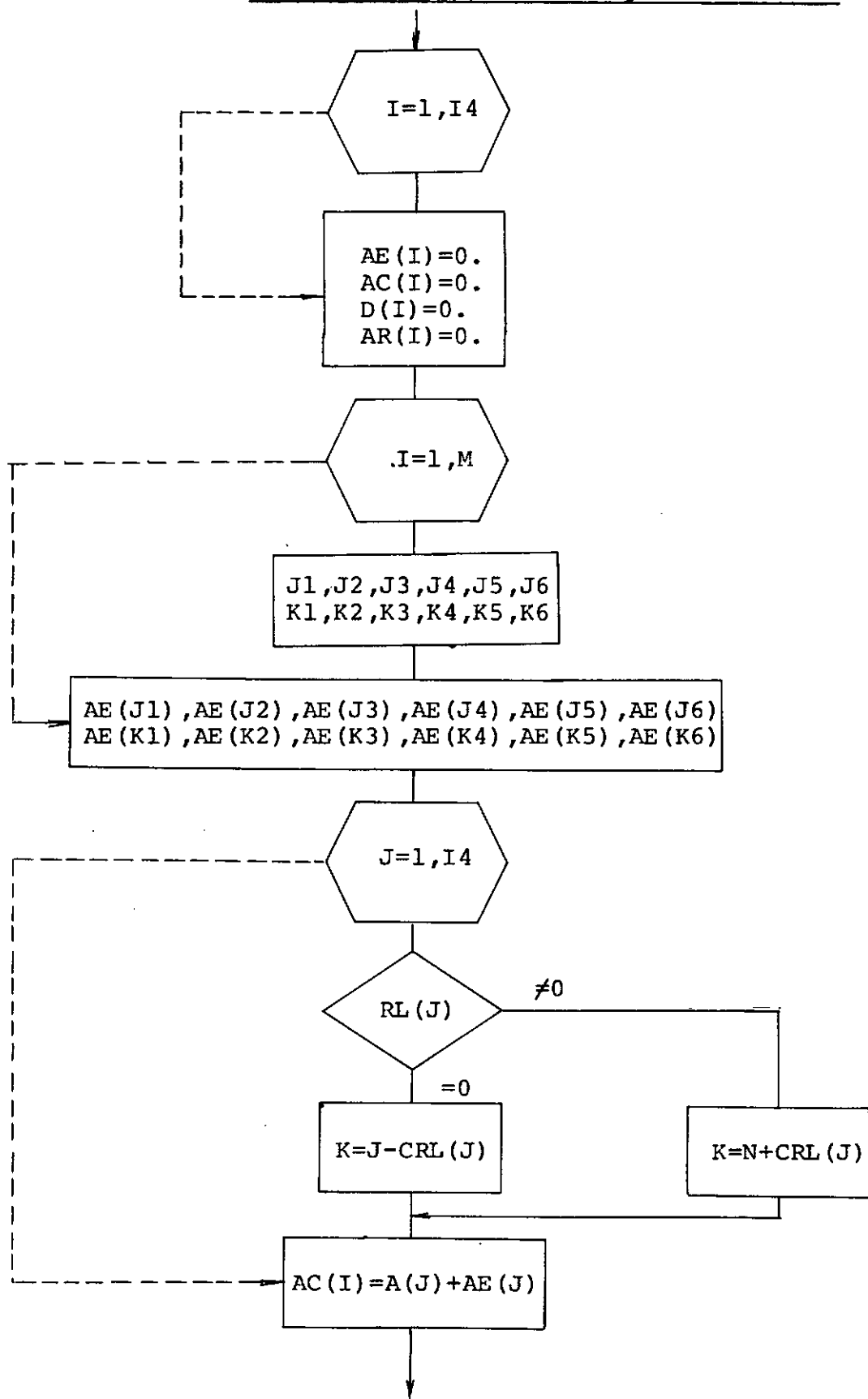


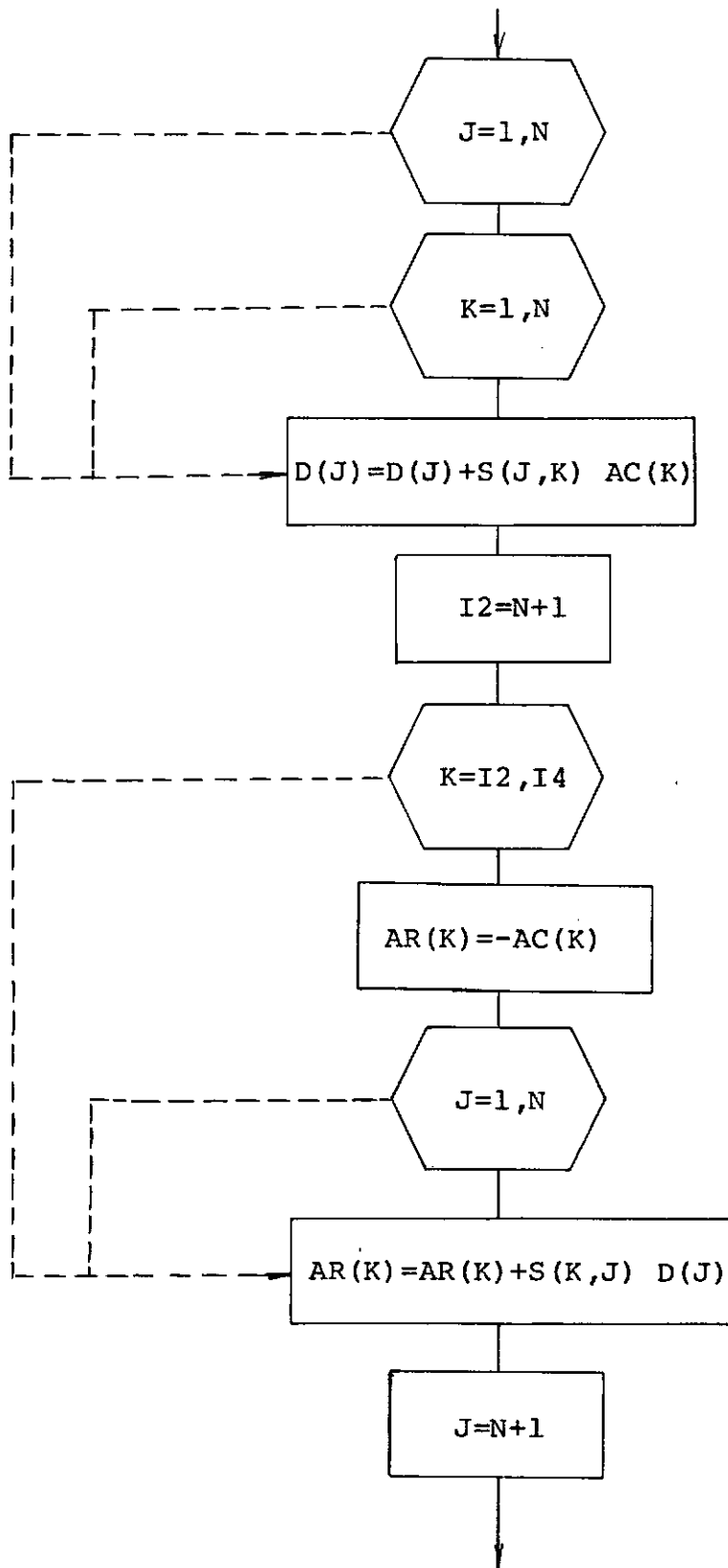
1.17 - Cargas Aplicadas aos Membros Retos

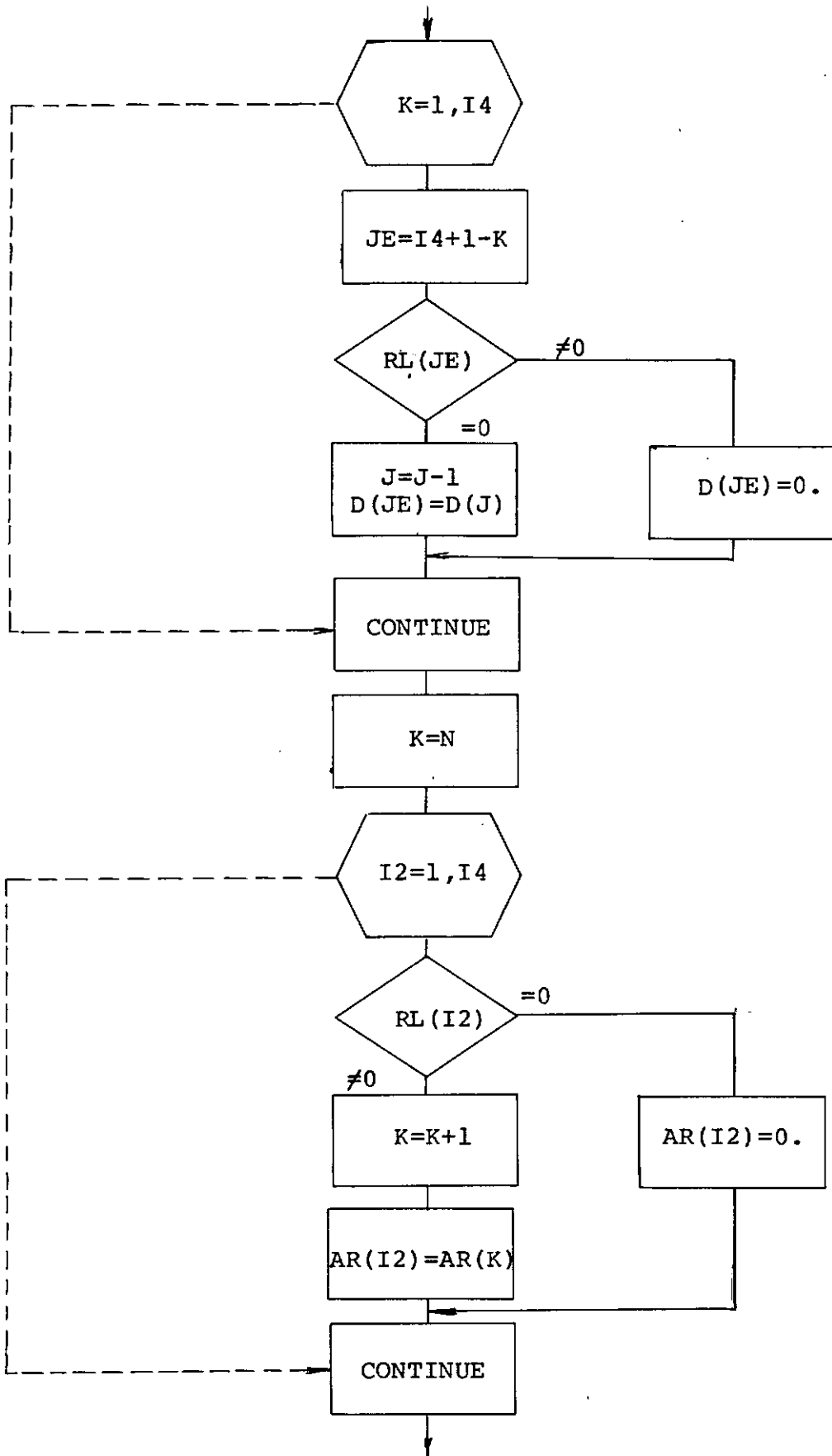


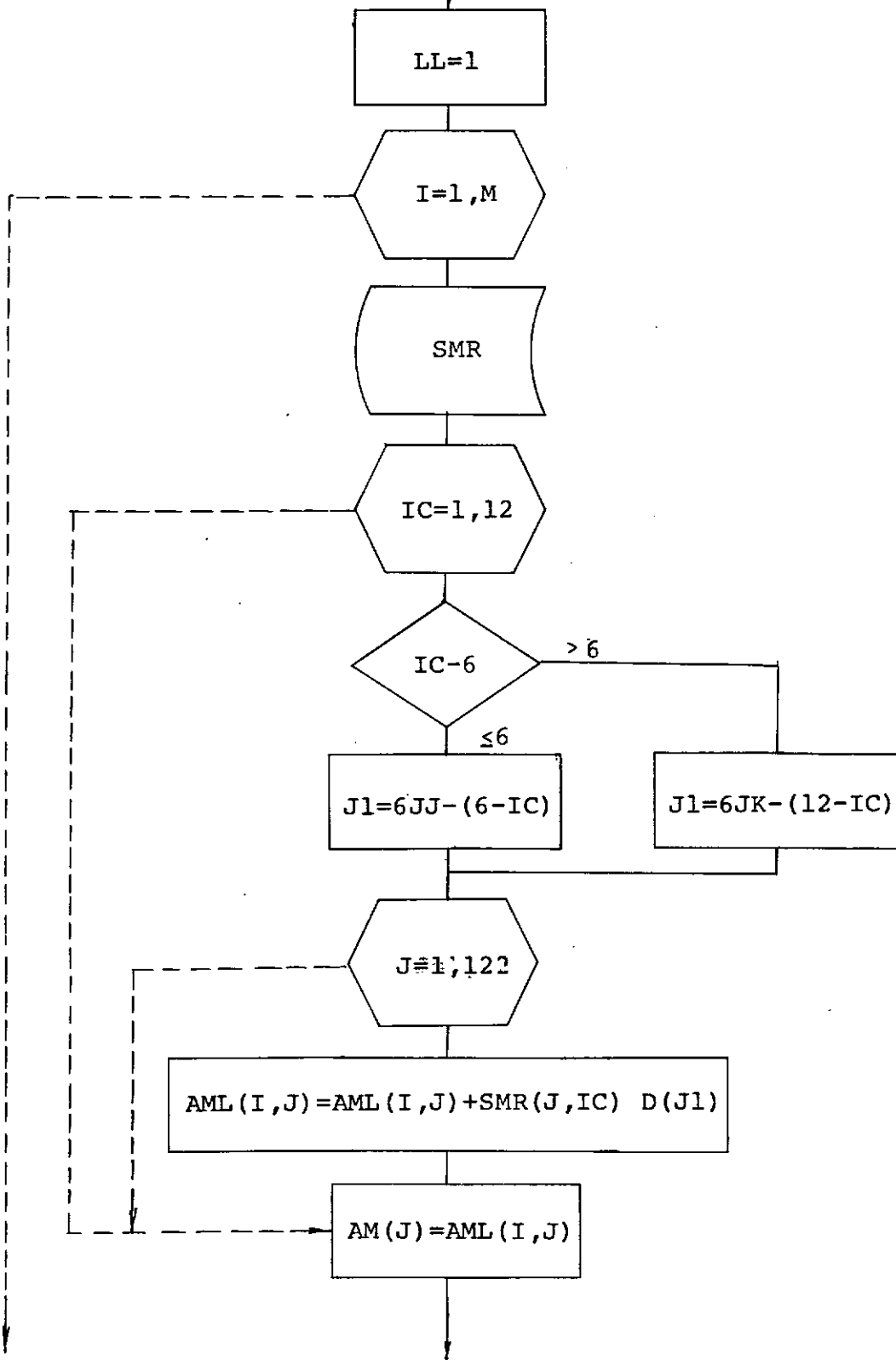


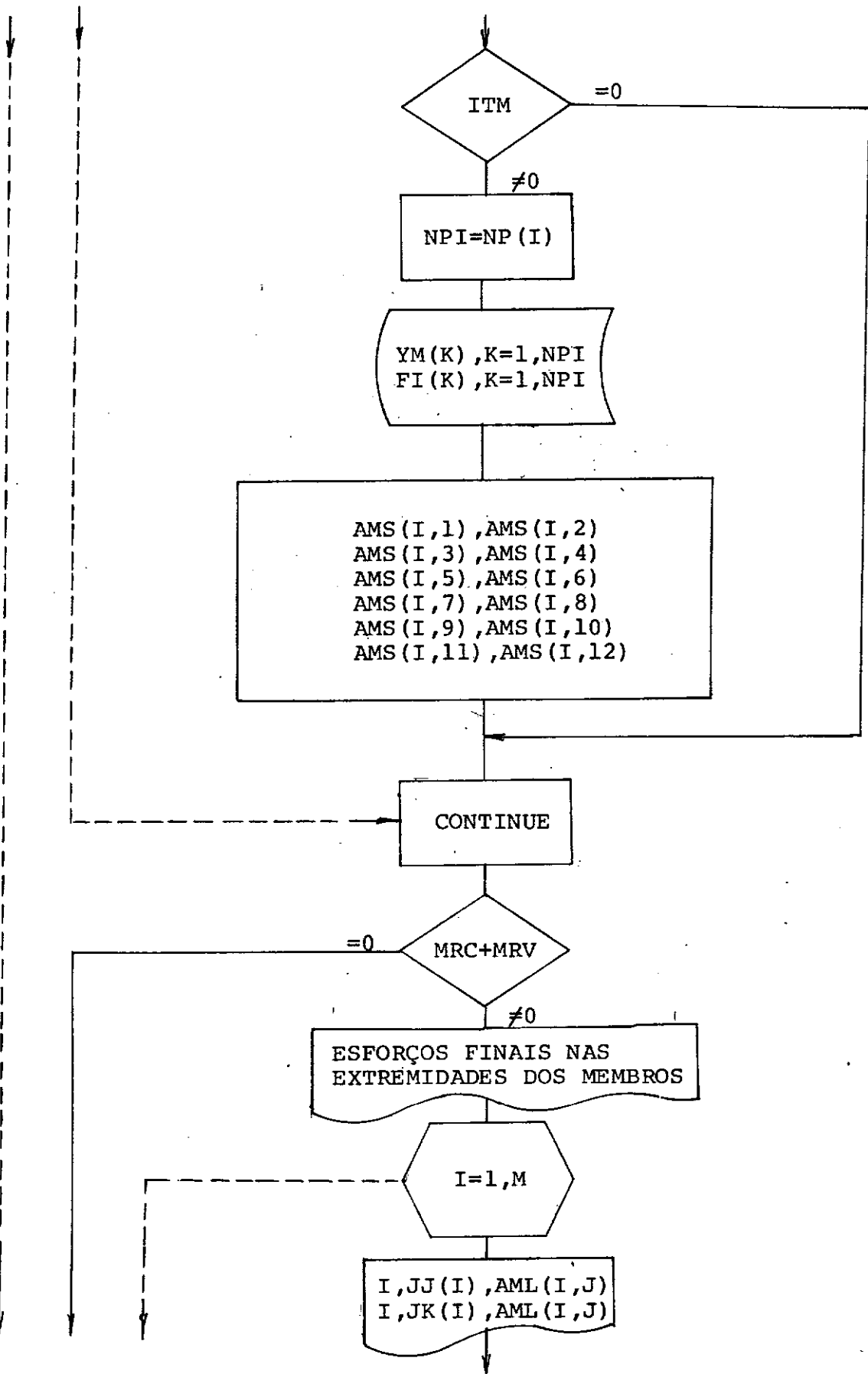


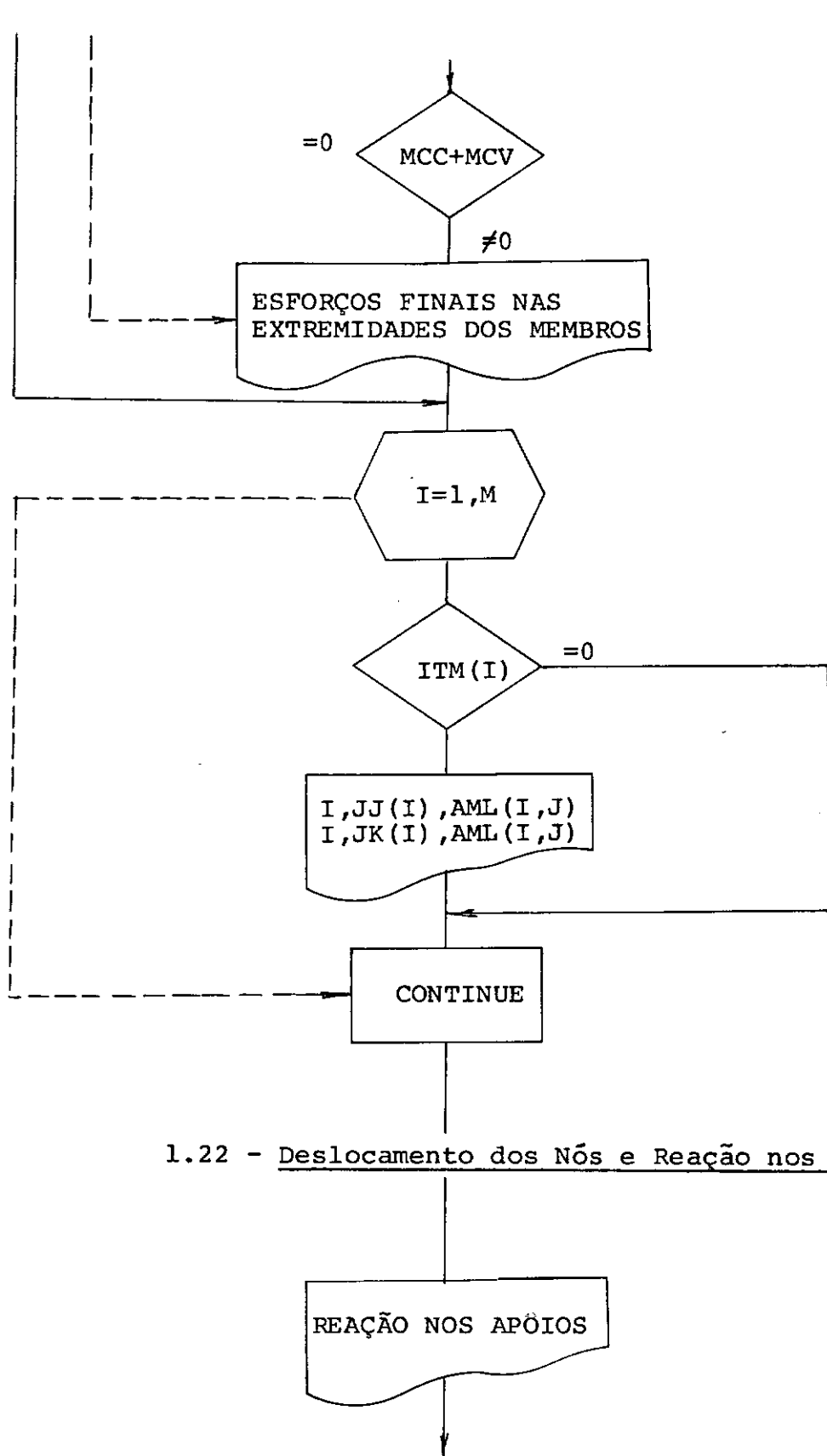
1.19 - Formação do Vetor de Cargas Combinadas

1.20 - Solução dos Deslocamentos e Reações

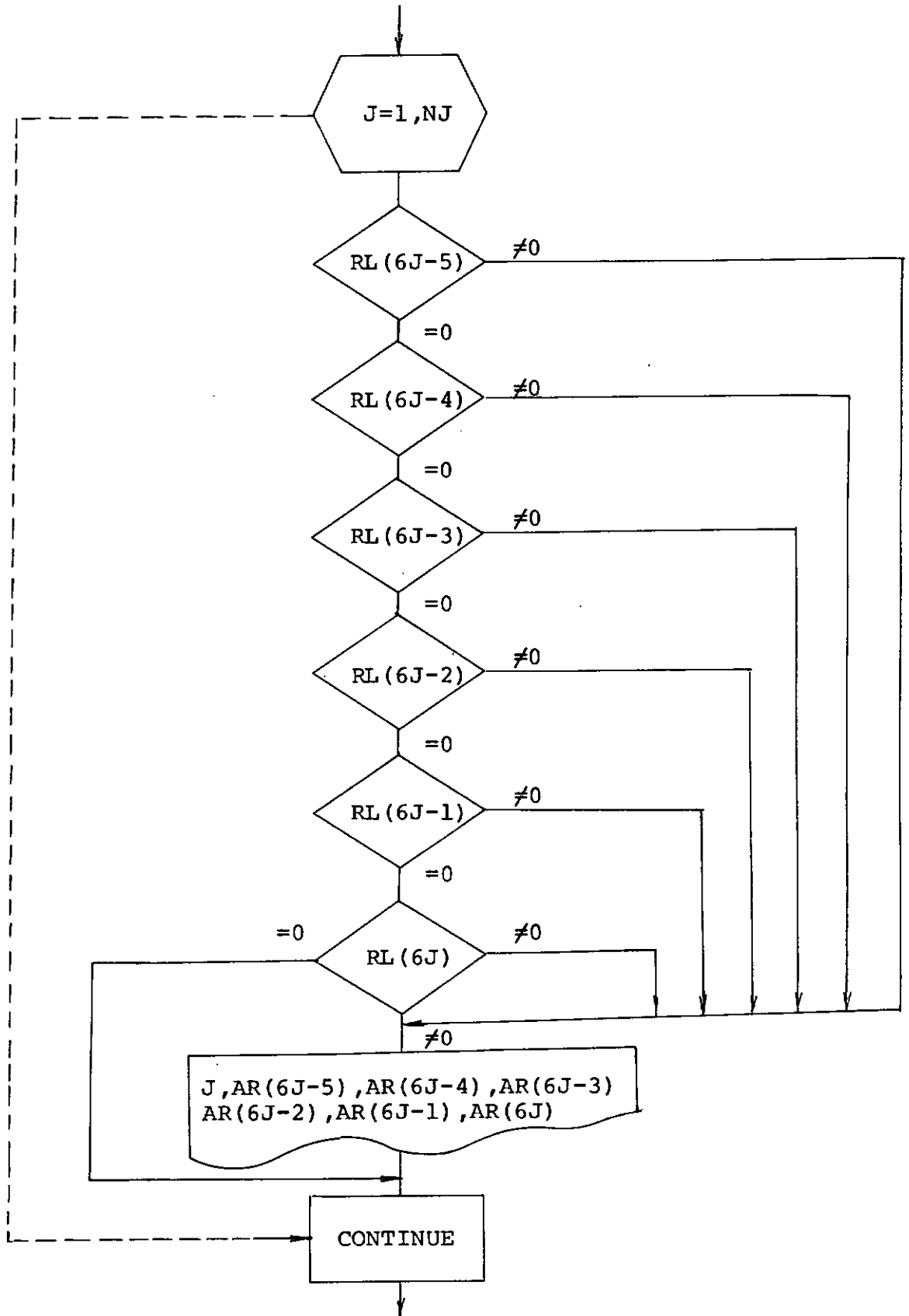


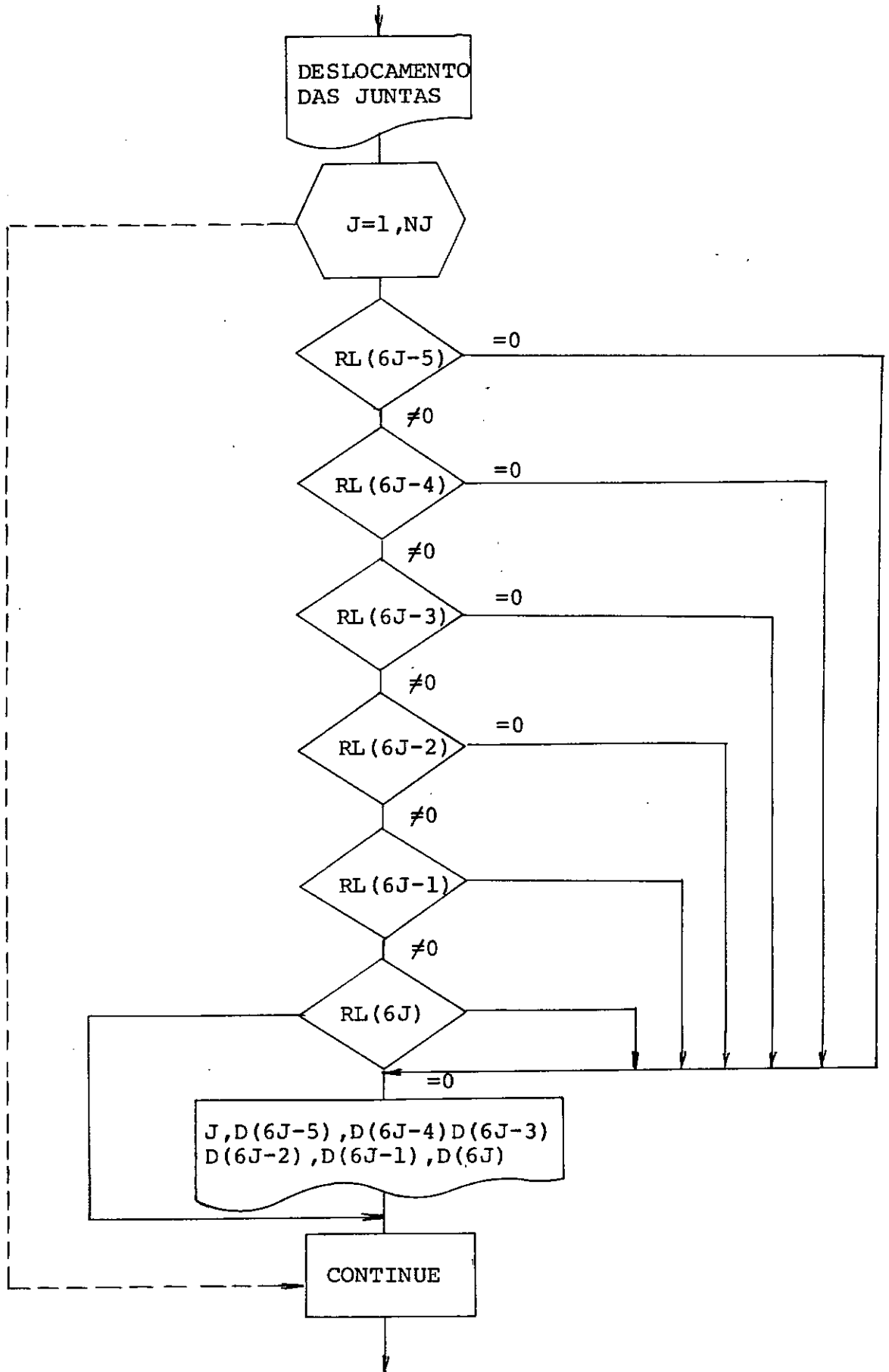
1.21 - Ações Finais nas Extremidades dos Membros



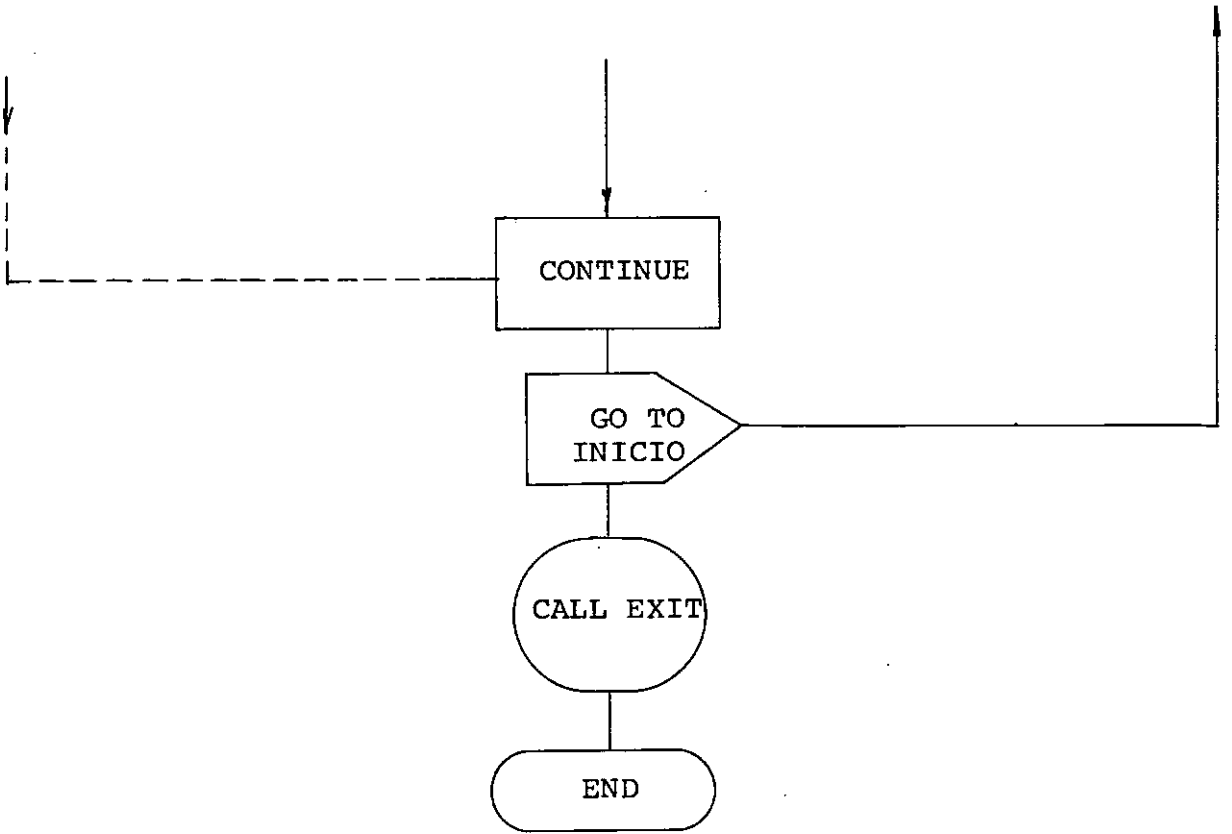


1.22 - Deslocamento dos Nós e Reação nos Apóios





100



2 - Explicações sobre o Programa e Subrotina

2.1 - Comentários sobre o Programa Principal

2.1.1 - Dados sobre a Estrutura

Inicialmente são lidos dois cartões, comentários sobre a estrutura que podem ser um para o tipo de estrutura e outro para indicar as unidades, estes cartões em nada influem na análise.

Em seguida é lido um cartão onde se dão NE e ICE.

NE = número da estrutura

NE \neq 0 é feita a análise

NE=0 o programa termina

ICE= índice que define a estrutura quanto ao módulo de elasticidade dos elementos que a compõe

ICE= 0 todos os elementos tem mesmo módulo de elasticidade longitudinal (E) e mesmo módulo de elasticidade transversal

ICE \neq 0 serão dados os módulos de elasticidade de cada elemento.

É lido mais um cartão contendo:

M = número de membros

NJ= número de juntas

E = módulo de elasticidade longitudinal

G = módulo de elasticidade transversal

Se E e G não forem dados mais adiante o programa faz:

$$E = 2100000.$$

$$G = 780000.$$

A seguir zeram-se os índices para as liberações, a matriz de rotação, a lista de restrições e a matriz de rigidez.

É lido um novo cartão contendo as coordenadas das juntas e as seis restrições em cada uma, desde RL(6J-5) até RL(6J), se para estas for dado um número diferente de zero, há restrição naquela direção, e se for dado zero o apoio tem liberdade de movimento nessa direção.

Em seguida é lido um cartão contendo:

MRC = número de membros retos com secção constante

MRV = número de membros retos com secção variável

MCC = número de membros curvos com secção constante

MCV = número de membros curvos com secção variável

MLB = número de membros com liberações

2.1.2 - Graus de Liberdade, Número de Restrições e Número de Juntas Restringidas

Nesta parte do programa os RL lidos são somados e assim calcula-se o número de restrições, faz-se também uma contagem do número de juntas com restrições, a partir daqui têm-se:

NR = número de restrições

NRJ = número de juntas com restrições

São calculados agora os graus de liberdade a partir do número de juntas e do número de restrições.

N = número de graus de liberdade

2.1.3 - Módulos de Elasticidade Longitudinal e Transversal

Aqui são lidos os módulos de elasticidade dos elementos quando $ICE \neq 0$.

São listadas nesta parte as informações sobre a estrutura, tanto os valores lidos como os calculados.

2.1.4 - Coordenadas das Juntas

São listadas as coordenadas das juntas, bem como as restrições nos apoios.

2.1.5 - Propriedades dos Elementos

Nesta parte são listadas a quantidade de elementos de acordo com o tipo.

São zerados, lidos e escritos os índices do número de seções, do tipo de seção, do tipo de membro, do tipo de forma do arco e do tipo de entrada dos ângulos entre os eixos X_S e X_M .

2.1.6 - Formação das Matrizes de Rotação

São formadas as matrizes de acordo com a orientação do membro em relação ao sistema de referência global. Há matrizes de rotação para elementos contidos num plano qualquer, num

plano perpendicular a XZ e paralelo a XY, ou ortogonal ao plano XZ.

Se $AA \neq 0$, são lidas as coordenadas de um ponto do plano $X_M Y_M$.

2.1.7 - Lista Cumulativa de Restrições

São acumuladas as restrições, para utilização no programa das técnicas de Gere e Weaver.

2.1.8 - Características dos Membros com Secção Variável

São zerados inicialmente as ordenadas e os ângulos entre X_M e X_G para elementos de eixo curvo.

De acordo com o valor de ITS, testa-se ICE e listam-se as incidências, a secção transversal, as inércias, os cosenos diretores, o comprimento do membro reto (ou corda do eixo curvo) e os módulos de elasticidade.

Conforme o valor de ITM, IFOR e NRAD, são calculados e armazenados no disco os valores de YM e FI.

2.1.9 - Informações sobre os membros liberados

Se $MLB \neq 0$, são lidas e escritas as liberações dos membros, em dois cartões, na seguinte ordem: primeiro as seis da extremidade J e depois as seis da extremidade K.

2.1.10 - Teste de Instabilidade devido a Liberações

Inicialmente se faz $BB=0$ se houver instabilidade, faz-se $BB=10$. Em seguida testa-se BB , se este for $\neq 0$, através de um teste o programa é encerrado.

2.1.11 - Geração da Matriz de Rigidez Global

Primeiro se faz a construção da matriz de rigidez dos membros: se for elemento curvo, chama-se a subrotina RICUR, se for reto com secção constante, usa-se a RIREC e se for reto com secção variável, usa-se a RIREV, sendo que esta é ligada a subrotina RERIV.

Em seguida testa-se o índice de liberações. Se houver alguma articulação na extremidade do elemento, a matriz de rigidez é modificada.

As operações seguintes são para transformar a matriz de rigidez do membro no SRL para o SRG. Assim se obtém a matriz $[SMD]$.

$$[SMD] = [R]^T [SM] [R]$$

A matriz $[SMD]$ esta colocada na mesma área que a matriz $[SM]$ para evitar gasto de memória.

Em seguida se faz a renumeração dos deslocamentos para calcular a matriz de rigidez global, colocando no canto esquerdo superior apenas a submatriz dos graus de liberdade.

2.1.12 - Apoios Elasticos

Neste ponto são lidos e escritos os coeficientes de rigidez dos apoios elásticos.

São modificados os termos da diagonal da matriz de rigidez global correspondentes a direção parcialmente restringida pelo apoio elástico.

2.1.13 - Inversão da Submatriz S(N,N)

Faz-se um teste com o número de graus de liberdade N, se $N=0$ não é necessário inverter a submatriz $S(N,N)$, se $N \neq 0$ chama-se a subrotina INVER para inversão da submatriz $S(N,N)$.

2.1.14 - Processamento dos Carregamentos

Lê-se o número de carregamentos a que vai ser submetida a estrutura.

É feita um iteração de acordo com o número de carregamentos.

Dentro desta iteração existe outra para o número de membros.

Zeram-se, agora, dos esforços de engastamento perfeito nos membros retos e curvos.

Lêem-se:

LDE = Número de leituras diretas

NLJ = Número de juntas carregadas

NLR = Número de membros retos carregados

MLC = Número de membros curvos carregados

2.1.15 - Esforços Aplicados às Juntas

Se $NLJ \neq 0$ são lidas as juntas e os esforços diretamente aplicados às mesmas.

2.1.16 - Leitura Direta dos Esforços de Engastamento Perfeito

São lidos os membros e os esforços de engastamento perfeito nas extremidades dos mesmos, se $LDE \neq 0$.

2.1.17 - Cargas Aplicadas aos Membros Retos

Se $MLR \neq 0$, faz-se uma iteração de 1 até MLR , chamando-se a subrotina ESRET.

Testa-se ITS , se $ITS > 0$, faz-se o teste de $ICLB$, se $ICLB > 0$ chama-se a subrotina RIREV e, modifica-se seu valor por LIBER.

Se $ITS < 0$ testa-se $ICLB$, se $ICLB > 0$ chama-se a subrotina RIREC que depois é modificada por LIBER.

2.1.18 - Cargas Aplicadas aos Membros Curvos

Se $MLC \neq 0$, faz-se uma iteração de 1 até MLC .

Inicialmente são lidos:

I = Número do membro

$NCC(I)$ = Número de cargas concentradas

$NCDX(I)$ = Número de cargas distribuídas paralelas a X_M

$NCDY(I)$ = Número de cargas distribuídas paralelas a Y_M

$NCDZT(I)$ = Número de cargas distribuídas totais paralelas a Z_M

$NCDZP(I)$ = Número de Cargas distribuídas parciais paralelas a Z_M

$NCM(J)$ = Número de momentos torsores

De acordo com os valores destes são chamadas as seguintes subrotinas:

CURV	se	NCC \neq 0
CURDY	se	NCDY \neq 0
CURDX	se	NCDX \neq 0
CURDZ	se	NCDZT \neq 0
CIRDZ	se	NCDZP \neq 0
CURMT	se	NCM \neq 0

Se houver liberações nas extremidades dos membros é chamada a subrotina LIBER.

Convém frisar que as liberações são no SRL. Portanto, quando se quer uma liberação na direção do eixo do arco ou perpendicular a este, é necessário criar próximo à liberação um elemento reto e colocar a liberação neste.

2.1.19 - Formação do Vetor de Cargas Combinadas

Neste ponto são zeradas as seguintes variáveis:

{AE}	=	Vetor das ações equivalentes
{AC}	=	Vetor das ações combinadas
{D}	=	Vetor dos deslocamentos
{AR}	=	Vetor das reações

Começa uma iteração de 1 até M.

São calculadas as ações equivalentes com numeração em relação à estrutura.

É feita a arrumação das ações combinadas de acordo com as restrições das juntas.

2.1.20 - Solução dos Deslocamentos e Reações

Os deslocamentos são calculados por:

$$\{D\} = \{D\} + [S] \{AC\}$$

As reações calculadas por:

$$\{AR\} = \{AR\} + [S] \{D\}$$

As matrizes e vetores são arrumados colocando primeiro as juntas livres e por último as juntas restringidas.

2.1.21 - Ações Finais nas Extremidades dos Membros

São calculadas por:

$$\{AML\} = \{AML\} + [SMR] \{D\}$$

Se $ITM \neq 0$, trazem-se do disco os valores de YM e FI e calculam-se os esforços nas extremidades dos eixos curvos. No programa são os AMS.

2.1.22 - Deslocamentos dos nós e Reações nos apoios

São feitos testes em todos os RL e de acordo com o seu valor são primeiro listadas as reações e depois os deslocamentos.

O programa volta ao início para ler nova estrutura.

2.2 - Comentários sobre as Subrotinas

2.2.1 - Subrotina FORMA

É utilizada para calcular as ordenadas e ângulos de inclinação em elementos de eixo curvo, que podem ter a forma parabólica, circular, ou de eixo coincidente com a linha de pressões da carga permanente.

Testa-se o valor do índice de forma do arco IFOR. Se IFOR=1, são calculados YM e FI para o arco com forma parabólica simétrica em função da flecha F e do vão L trazidos como parâmetros da subrotina. Se IFOR=2, calculam-se YM e FI para o arco com eixo curvo circular. Se IFOR=3, o arco tem o eixo coincidente com a linha de pressões. São calculados os YM e FI, em função da flecha F, do vão L, e de GN e GC que são o peso na nascente e no fecho do arco.

2.2.2 - Subrotina INVER

Esta subrotina tem a finalidade de inverter a matriz de rigidez global da estrutura e também as matrizes de flexibilidade da extremidade K do membro para obtenção da matriz de rigidez do mesmo.

É baseada no método da partição de Cholesky.

2.2.3 - Subrotina LIBER

Tem como finalidade transformar as ações de engastamento perfeito e a matriz de rigidez dos membros sem liberações para obtenção da matriz de rigidez modificada, e os esforços

de engastamento modificados pela introdução das articulações nas extremidades dos elementos.

2.2.4 - Subrotina RIREC

Calcula a matriz de rigidez do elemento reto com secção constante.

2.2.5 - Subrotina RIREV

Calcula a matriz de rigidez de elementos retos com secção variável.

Utilizando a matriz de flexibilidade da extremidade direita calculada em RERIV, monta a matriz de rigidez do membro fazendo o canto inferior direito igual à matriz de flexibilidade invertida e as demais por condições de equilíbrio entre as duas extremidades.

2.2.6 - Subrotina RERIV

Trabalha em conjunto com a subrotina RIREV, têm como finalidade calcular a matriz de flexibilidade da extremidade direita do membro.

Utiliza, para fazer as integrações, a subrotina QSF da IBM.

2.2.7 - Subrotina RICUR

Serve para calcular a matriz de rigidez de elementos curvos, que podem ter inércia constante ou variável.

É calculada inicialmente a matriz de flexibilidade da extremidade direita do membro, que invertida constitui a submatriz do canto inferior da matriz de rigidez. As demais submatrizes são obtidas por considerações de equilíbrio entre as duas extremidades.

Nas integrações se utiliza a subrotina QSF.

2.2.8 - Subrotina ESRET

Esta subrotina é utilizada para calcular esforços de engastamento perfeito em elementos retos, de secção constante ou variável.

Estão previstos vários tipos de carregamento possíveis neste tipo de estruturas.

As informações sobre a consideração dos carregamentos estão dados em 4.1.1

2.2.9 - Subrotina CURV

Serve para calcular esforços de engastamento perfeito nas extremidades de elementos curvos com secção constante ou variável sujeitos a cargas concentradas.

A análise é feita decompondo a carga nas três componentes PX, PY e PZ, segundo os três eixos locais do membro curvo.

Corresponde ao estudo feito em 4.2.1.

As integrações numéricas também foram feitas através da subrotina QSF.

2.2.10 - Subrotina CURDY

Esta subrotina calcula os esforços de engastamento perfeito nas extremidades de elementos de eixo curvo, de secção constante ou variável, sujeitos a carga distribuída paralela a Y_M , sendo que as cargas distribuídas podem ser parciais ou totais, uniformes ou trapezoidais.

Foi feita baseada no desenvolvimento teórico apresentado em 4.2.2.

Para as integrações se utiliza a subrotina QSF.

2.2.11 - Subrotina CURDX

Calcula os esforços de engastamento perfeito nas extremidades de elementos curvos de secção constante ou variável submetidos a carga distribuída paralela a X_M , podendo as cargas serem distribuídas totais ou parciais e uniformes ou trapezoidal.

Esta subrotina corresponde ao estudo teórico visto em 4.2.3.

Também se utiliza da subrotina QSF para as integrações.

2.2.12 - Subrotina CURDZ

Serve para calcular os esforços de engastamento perfeito em elementos curvos de secção constante ou variável sujeitos a carga distribuída total paralela à direção Z_M .

Foi feita baseada no desenvolvimento teórico a apresentado em 4.2.4.

Para as integrações utiliza a subrotina QSF.

2.2.13 - Subrotina CIRDZ

Esta subrotina é utilizada para calcular esforços de engastamento perfeito em elementos de eixo curvo, que podem ter secção constante ou variável, quando submetidos a carga distribuída parcial uniforme paralela a Z_M .

Basea-se no estudo feito em 4.2.5.

Utiliza a subrotina QSF nas integrações.

2.2.14 - Subrotina CURMT

Calcula os esforços de engastamento perfeito em elementos de eixo curvo, com secção constante ou variável, sujeitos a momento torsor distribuído ao longo de todo o arco.

Foi feita utilizando o estudo teórico apresentado em 4.2.6.

Também utiliza QSF para as integrações numéricas.

3- MANUAL DE ENTRADA DO PROGRAMA

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
103	livre	Comentário, título	-	1
104	livre	Comentário, título	-	1
105	2I5	NE=Nº da estrutura ICE=Índice da estrutura quanto ao tipo do mod. de elast.dos elementos se E=c ^{te} ICE=0 se E=var ICE≠0	NE,ICE	1
106	2I5,2F10.0	M=Nº de membros NJ=Nº de juntas E=Mod.elast.longitudinal G=Mod.elast.transversal se E=0 faz E=2100000. se G=0 faz G=780000.	M,NJ,E,G	1

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
126	3F10.0,6I5	X,Y,Z=Coordenadas RL(1)...RL(6)=Restrições	X,Y,Z,RL(1)...RL(6)	NJ
128	6I5	MRC=Nº de membros retos com secção <u>cte.</u> MRV=Nº de membros retos com secção variável MCC=Nº de membros curvos com secção <u>cte.</u> MCV=Nº de membros curvos com secção variável MLB=Nº de membros com liberações NLE=Nº de apoios elásticos	MRC,MRV,MCC,MCV,MLB, NLE	1
145	I5,2F10.0	I=Nº do membro EM(I),GM(I)=Valores E e G, quando ICE≠0	I,EM(I),GM(I)	M

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
172	6I5	<p>I=Nº do membro</p> <p>ITS(I)=Índice para tipo de secção</p> <p>ITS(I) $\left\{ \begin{array}{l} =0 - \text{secção cte.} \\ =1 - \text{secção var} \end{array} \right.$</p> <p>ITM(I)=Índice para o tipo de membro</p> <p>ITM(I) $\left\{ \begin{array}{l} =0 - \text{não curvo} \\ =1 - \text{curvo} \end{array} \right.$</p> <p>NP(I)=Nº de pontos de divisão do elemento</p> <p>IFOR(I)=Índice da forma do eixo curvo</p> <p>IFOR(I) $\left\{ \begin{array}{l} =0 \text{ forma qualquer} \\ \neq 0 \left\{ \begin{array}{l} 1 - \text{parabólico} \\ 2 - \text{circular} \\ 3 - \text{catenária} \end{array} \right. \end{array} \right.$</p> <p>NRAD(I)=Índice para ângulos entre X_S e X_M</p> <p>NRAD(I) $\left\{ \begin{array}{l} =0 - \text{ang. em graus} \\ =1 - \text{ang. em rad.} \end{array} \right.$</p>	I, ITS(I), ITM(I), NP(I), IFOR(I), NRAD(I)	M

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
175	2I5,4F10.2,I5	JJ(I),JK(I)=Incidências dos elementos AX(I)=Area da secção transversal IX(I),IY(I),IZ(I)=Inércias constantes AA=Angulo entre Y_M e Y	JJ(I),JK(I),AX(I), IX(I),IY(I),IZ(I),AA	M
177	3I5	JJ(I),JK(I)=Incidências dos elementos AA=Angulo entre Y_M e Y (serão dados, se ITS≠0)	JJ(I),JK(I),AA	M
190	3F10.2	XP,YP,ZP=Coordenadas de um ponto do plano $X_M Y_M$ (será dado, se AA≠0)	XP,YP,ZP	1
220	8F10.2	Areas e inércias de elementos com secção variável (serão dados, se ITS≠0)	AXI(K),IXI(K),IYI(K), IZI(K)	MRV+MCV

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
224	3F10.3	F=Flecha do eixo curvo GN e GC=Peso na nasçença e no fecho do arco (F será dado, se ITM≠0) (GN e GC só serão dados, quando IFOR=3)	F,GN,GC	1
226	8F10.3	YM(K),FI(K)=Coordenadas e ângulos para arco de forma qualquer (serão dados, se ITM≠0 IFOR=0)	(YM(K),K=1,NPI) (FI(K),K=1,NPI)	variável com NPI
242	13I5	I=Nº do membro LB(I,K)=Liberações (será dado, se MLB≠0)	I,LB(I,K),K=1,12	MLB
323	I5,6F10.0	J=Nº da junta A(I)=Rigidez dos apoios elásticos	J,(A(I),I=1,6)	NLE
316	I5	NCA=Nº de carregamentos	NCA	1

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
346	I6I5	LDE=Nº de leituras diretas NLJ=Nº de juntas carreg. MLR=Nº de membros retos carregados MLC=Nº de membros curvos carregados	LDE,NLJ,MLR,MLC	1
354	I5,6F10.1.	K=Nº da junta A(1)...A(6)=Cargas nas juntas (serão dados, se NLJ≠0)	K,A(1)...A(6)	NLJ
360	I5,6F10.0	I=Nº do membro AML(IK)=Esforços de engas- tamento perfeito de 1 a 6	I,AML(I,K),K=1,6	LDE
361	6F10.0	AML(I,K)=Esforços de en- gastamento perfeito de 7 a 12 (serão dados, se LDE≠0)	AML(I,K),K=7,12	

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
374	15	CARGAS APLICADAS AOS MEMBROS RETOS	I	1
		I=Nº do membro carregado Ver Subrotina ESRET		
393	8I5	CARGAS APLICADAS AOS MEMBROS CURVOS	I, NCC(I), NCDX(I), NCDY(I), NCDZT(I), NCDZP(I), NCM(I) INCONC(I)	1
		I=Nº do membro carregado NCC=Nº de cargas concentradas NCDX=Nº de cargas dist.// a X_M NCDY=Nº de cargas dist.// a Y_M NCDZT=Nº de cargas dist.tot.//a Z_M NCDZP=Nº de cargas dist.par.//a Z_M NCM=Nº de momentos torsores Ver Subrotina CURV (se NCC≠0) Ver Subrotina CURDY (se NCDY≠0) Ver Subrotina CURDX (se NCDX≠0) Ver Subrotina CURDZ (se NCDZ≠0) Ver Subrotina CIRDZ (se NCDZP≠0) Ver Subrotina CURMT (se NCM≠0)		

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
71	8F10.0	SUBROTINA ESRET	QA,QB,A,B,HA, HB,AH,BH	1
		Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)		
72	7F10.0,2I5	Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)	QY,(PX(J),PY(J), DPY(J),J=1,2), IR,I1	1
86	7F10.0,I10	Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)	(PX(J),PY(J), DPY(J),J=3,4), TD,I2	1
90	8F10.0	Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)	TC,AXT,TDX1, TDX2,AX1,BX1, PNZ,DPMZ	1
1	5F10.3	SUBROTINA CURV	PX,PY,DA,YP	NCCI=NCC(I)
		Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)		
1	4F10.0	SUBROTINA CURDY	QEY,QDY,DA,DB	NCVI=NCDY(I)
		Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)		
1	6F10.0	SUBROTINA CURDX	QEX,QDX,DA,DB, YA,YB	NCHI=NCDX(I)
		Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)		

COMANDO	FORMATO	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	Nº DE CARTÕES
1	8F10.0	SUBROTINA CURDZ	QZ	NCDI=NCDZT(I)
		Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)		
		SUBROTINA CIRDZ	QZ,DE,DQ	NDPI=NCDZP(I)
		Cargas, posição (Ver NOTAÇÃO)		
1	F10.0	SUBROTINA CURMT	MT	NCMI=NCM(I)
		Momento (Ver NOTAÇÃO)		

4 - Listagens do Programa Principal e das Subrotinas

SUBROUTINE QSF(H,Y,Z,NDIM)

 SUB-ROTINA DA IBM PARA INTEGRACAO NUMERICA UTILIZANDO O PROCESSO
 DE SIMPSON ASSOCIADO AO DOS 3/8 DE NEWTON

DIMENSION Y(21),Z(21)

HT=.33333333*H

IF(NDIM-5)7,8,1

NDIM IS GREATER THAN 5. PREPARATIONS OF INTEGRATION LOCP

1 SUM1=Y(2)+Y(2)

SUM1=SUM1+SUM1

SUM1=HT*(Y(1)+SUM1+Y(3))

AUX1=Y(4)+Y(4)

AUX1=AUX1+AUX1

AUX1=SUM1+HT*(Y(3)+AUX1+Y(5))

AUX2=HT*(Y(1)+3.875*(Y(2)+Y(5))+2.625*(Y(3)+Y(4))+Y(6))

SUM2=Y(5)+Y(5)

SUM2=SUM2+SUM2

SUM2=AUX2-HT*(Y(4)+SUM2+Y(6))

Z(1)=0.

AUX=Y(3)+Y(3)

AUX=AUX+AUX

Z(2)=SUM2-HT*(Y(2)+AUX+Y(4))

Z(3)=SUM1

Z(4)=SUM2

IF(NDIM-6)5,5,2

 INTEGRATION LOCP

2 DO 4 I=7,NDIM,2

SUM1=AUX1

SUM2=AUX2

AUX1=Y(I-1)+Y(I-1)

AUX1=AUX1+AUX1

AUX1=SUM1+HT*(Y(I-2)+AUX1+Y(I))

Z(I-2)=SUM1

IF(I-NDIM)3,6,6

3 AUX2=Y(1)+Y(1)

AUX2=AUX2+AUX2

AUX2=SUM2+HT*(Y(I-1)+AUX2+Y(I+1))

4 Z(I-1)=SUM2

5 Z(NDIM-1)=AUX1

Z(NDIM)=AUX2

RETURN

6 Z(NDIM-1)=SUM2

Z(NDIM)=AUX1

RETURN


```

END OF INTEGRATION LCCP
7 IF (NDIM-3) 12, 11, 8
  NDIM IS EQUAL TO 4 OR 5
8 SUM2=1.125*HT*(Y(1)+Y(2)+Y(2)+Y(2)+Y(3)+Y(3)+Y(3)+Y(4))
  SUM1=Y(2)+Y(2)
  SUM1=SUM1+SUM1
  SUM1=HT*(Y(1)+SUM1+Y(3))
  Z(1)=0.
  AUX1=Y(3)+Y(3)
  AUX1=AUX1+ALX1
  Z(2)=SUM2-HT*(Y(2)+AUX1+Y(4))
  IF (NDIM-5) 10, 9, 9
9  AUX1=Y(4)+Y(4)
  AUX1=AUX1+ALX1
  Z(5)=SUM1+HT*(Y(3)+AUX1+Y(5))
10 Z(5)=SUM1
  Z(4)=SUM2
  RETURN
  NDIM IS EQUAL TO 3
11 SUM1=HT*(1.25*Y(1)+Y(2)+Y(2)-.25*Y(3))
  SUM2=Y(2)+Y(2)
  SUM2=SUM2+SUM2
  Z(3)=HT*(Y(1)+SUM2+Y(3))
  Z(1)=0.
  Z(2)=SUM1
12 RETURN
END

```

SUBROUTINE FORMA(L,I,F,GN,CC,NP,IFCR,YM,FI,XM)

SUBRTINA PARA CALCULO DAS ORDENADAS E ANGULOS DE INCLINACAO DE
ARCOS PARABOLICOS, CIRCULARES E DE EIXO COINCIDENTE COM A LINHA
DE PRESSOES DA CARGA PERMANENTE

```

REAL L(20)
DIMENSION NP(20),IFCR(20),YM(13),FI(13),XM(13),IFI(13)
NPI=NP(I)
H=L(I)/(NPI-1)
DO 10 K=1,NPI
  JK=K-1
10 XM(K)=JK*H
  IF(IFCR(I)-2)20,40,60
    EIXO CURVO PARABOLICO SIMETRICO
20 DO 30 K=1,NPI
  YM(K)=(4.*F)/(L(I)**2)*XM(K)*(L(I)-XM(K))
30 FI(K)=ATAN((4.*F)/(L(I)**2)*(L(I)-2.*XM(K)))
  GO TO 80
    EIXO CURVO CIRCULAR SIMETRICO
40 R=F/2.*(1.+(L(I)/(2.*F))**2)
  EC=R-F
  DO 50 K=1,NPI
  XC=L(I)/2.-XM(K)
  YM(K)=SQRT(R**2-XC**2)-EC
50 FI(K)=ATAN(XC/(YM(K)+EC))
  GO TO 80
    EIXO COINCIDENTE COM A LINHA DE PRESSOES
60 RM=GN/CC
  CP=ALOG(RM+SQRT(RM**2-1.))
  DO 70 K=1,NPI
  XC=L(I)/2.-XM(K)
  QSI=(2.*XC)/L(I)
  QCP=QSI*CP
  YM(K)=F-F/(RM-1.)*((EXP(QCP)+EXP(-QCP))/2.-1.)
70 FI(K)=ATAN((2.*F*CP)/(L(I)*(RM-1.))*(EXP(QCP)-EXP(-QCP))/2.)
80 AA=10000.*FI(NPI)
  IFI(NPI)=ABS(AA)
  IF(IFI(NPI)-15708)90,85,90
85 FI(NPI)=FI(NPI)-0.01
90 RETURN
END

```

SUBROUTINE INVER(S,N)

SUBROUTINE PARA INVERSAC DA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL

DIMENSION S(120,114),G(114),F(114)

NN=N-1

S(1,1)=1./S(1,1)

IF (NN)50,120,50

50 CONTINUE

DO 110 M=1,NN

K=M+1

DO 60 I=1,M

G(I)=0.

DO 60 J=1,M

60 G(I)=G(I)+S(I,J)*S(J,K)

D=0.

DO 70 I=1,M

70 D=D+S(K,I)*G(I)

E=S(K,K)-D

S(K,K)=1./E

DO 80 I=1,M

80 S(I,K)=-G(I)*S(K,K)

DO 90 J=1,M

H(J)=0.

DO 90 I=1,M

90 H(J)=H(J)+S(K,I)*S(I,J)

DO 100 J=1,M

100 S(K,J)=-H(J)*S(K,K)

DO 110 I=1,M

DO 110 J=1,M

110 S(I,J)=S(I,J)-G(I)*S(K,J)

120 CONTINUE

RETURN

END

```
SUBROUTINE LIBER(LB,I,AML,SM)
DIMENSION LB(20,12),AML(20,12),SM(12,12)
COMMON AE(120),AC(120),SMR(12,12),AR(120),C(120)
```

SUBROUTINA PARA TRANSFORMACAO DE ACDES DE ENGASTAMENTO EM
ELEMENTOS COM LIBERACCES

```
DO 431 IC=1,12
IF(LB(I,IC))220,220,221
221 XP=AML(I,IC)
DO 222 K=1,12
AML(I,K)=AML(I,K)-SM(K,IC)*XP/SM(IC,IC)
222 CONTINUE
DO 223 K=1,12
DO 223 J=1,12
SMR(K,J)=SM(K,J)-SM(K,IC)*SM(IC,J)/SM(IC,IC)
223 CONTINUE
DO 430 K=1,12
DO 430 J=1,12
430 SM(K,J)=SMR(K,J)
431 CONTINUE
220 CONTINUE
RETURN
END
```

SUBROUTINE RIREC(I,L,SM,E,G,AX,IX,IY,IZ)

SUBROUTINE PARA CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO RETO
COM SECCAO CONSTANTE

```

REAL L(20),IX(20),IY(20),IZ(20)
DIMENSION SM(12,12),AX(20)
DO 1 K=1,12
DO 1 J=1,12
1 SM(K,J)=0.0
SCM1A=(E*AX(I))/L(I)
SCM1B=(G*IX(I))/L(I)
SCM2Y=(4*E*IY(I))/L(I)
SCM3Y=(1.5*SCM2Y)/L(I)
SCM4Y=(2*SCM3Y)/L(I)
SCM2Z=(4*E*IZ(I))/L(I)
SCM3Z=(1.5*SCM2Z)/L(I)
SCM4Z=(2*SCM3Z)/L(I)
SM(7,1)=-SCM1A
SM(1,7)=SM(7,1)
SM(7,7)=SCM1A
SM(1,1)=SM(7,7)
SM(8,2)=-SCM4Z
SM(2,8)=SM(8,2)
SM(8,8)=SCM4Z
SM(2,2)=SM(8,8)
SM(12,2)=SCM3Z
SM(2,12)=SM(12,2)
SM(6,2)=SM(12,2)
SM(2,6)=SM(6,2)
SM(12,8)=-SCM3Z
SM(8,12)=SM(12,8)
SM(8,6)=SM(8,12)
SM(6,8)=SM(8,12)
SM(9,3)=-SCM4Y
SM(3,9)=SM(9,3)
SM(9,9)=SCM4Y
SM(3,3)=SM(9,9)
SM(11,3)=-SCM3Y
SM(3,11)=SM(11,3)
SM(5,3)=SM(3,11)
SM(3,5)=SM(5,3)
SM(10,4)=-SCM1B
SM(4,10)=SM(10,4)
SM(10,10)=SCM1B

```

```
SM(4,4)=SM(10,10)
SM(11,5)=SCM2Y/2.0
SM(5,11)=SM(11,5)
SM(11,11)=SCM2Y
SM(5,5)=SM(11,11)
SM(11,9)=SCM3Y
SM(9,11)=SM(11,9)
SM(9,5)=SM(9,11)
SM(5,9)=SM(9,5)
SM(12,6)=SCM2Z/2.0
SM(6,12)=SM(12,6)
SM(12,12)=SCM2Z
SM(6,6)=SM(12,12)
RETURN
END
```

SUBROUTINE RIREV(I,L,SM,AXI,IXI,IYI,IZI,NPI,E,G)

SUBROUTINE PARA CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO RETO
COM SECCAO VARIAVEL

```

REAL L(20),IXI(13),IYI(13),IZI(13)
DIMENSION SM(12,12),AXI(13),T(6,6)
COMMON AE(120),AC(120),SMR(12,12),AR(120),D(120)
DO 1 J=1,6
DO 1 K=1,6
T(K,J)=0.0
1 CONTINUE
DO 2 K=1,6
2 T(K,K)=-1.0
T(5,3)=L(1)
T(6,2)=-L(1)
CALL RERIV(I,SM,AXI,IXI,IYI,IZI,L,NPI,E,G)
DO 3 K=1,6
DO 3 J=1,6
SM(K+6,J+6)=SM(K,J)
SM(K,J)=0.0
3 CONTINUE
DO 4 K=1,6
DO 4 J=7,12
DO 4 IT=1,6
SM(K,J)=SM(K,J)+T(K,IT)*SM(IT+6,J)
4 CONTINUE
DO 5 J=1,6
DO 5 K=7,12
SM(K,J)=SM(J,K)
5 CONTINUE
DO 6 K=1,6
DO 6 J=1,6
DO 6 IT=1,6
SM(K,J)=SM(K,J)+T(K,IT)*SM(IT+6,J)
6 CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE RERIV(I, SM, AXI, IXI, IYI, IZI, L, NPI, E, G)

SUBROUTINE PARA CONSTRUIR E INVERTER A MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DO ELEMENTO RETO COM SECCAO VARIÁVEL

```

REAL L(20), IXI(13), IYI(13), IZI(13)
DIMENSION SM(12,12), AXI(13), FM(120,6), P(13)
COMMON AE(120), AC(120), SMR(12,12), AF(120), C(120)
READ(1* I)(AXI(K), K=1, NPI), (IXI(K), K=1, NPI), (IYI(K), K=1, NPI),
1 (IZI(K), K=1, NPI)
WRITE(5,95)
95 FORMAT(' CARACTERISTICAS DOS MEMBROS RETOS COM INERCIA VARIÁVEL')
DO 75 K=1, NPI
WRITE(5,65) K, AXI(K), K, IXI(K), K, IYI(K), K, IZI(K)
65 FORMAT(' AX(', 12, ') = ', F7.3, 10X, ' IX(', 12, ') = ', F7.3, 10X, ' IY(', 12,
1 ') = ', F7.3, 10X, ' IZ(', 12, ') = ', F7.3)
75 CONTINUE
DO 9 J=1, 12
DO 9 K=1, 12
9 SM(J, K) = 0.0
H = L(I) / (NPI - 1)
X = -H
DO 10 K=1, NPI
X = X + H
IF(AXI(K)) 17, 16, 17
16 AXI(K) = 0.000001
WRITE(5, 24) I, K
24 FORMAT(/, ' O MEMBRO NO.', I3, ' TEM AX(', I2, ') = 0. ')
17 IF(IZI(K)) 19, 18, 19
18 IZI(K) = 0.000001
WRITE(5, 25) I, K
25 FORMAT(/, ' O MEMBRO NO.', I3, ' TEM IZ(', I2, ') = 0. ')
19 IF(IYI(K)) 21, 20, 21
20 IYI(K) = 0.000001
WRITE(5, 26) I, K
26 FORMAT(/, ' O MEMBRO NO.', I3, ' TEM IY(', I2, ') = 0. ')
21 IF(IXI(K)) 23, 22, 23
22 IXI(K) = 0.000001
WRITE(5, 27) I, K
27 FORMAT(/, ' O MEMBRO NO.', I3, ' TEM IX(', I2, ') = 0. ')
23 CONTINUE
SMR(1, K) = 1. / (E * AXI(K))
SMR(2, K) = X * 2 / (E * IZI(K))
SMR(3, K) = X * 2 / (E * IYI(K))
SMR(4, K) = -X / (E * IYI(K))

```



```
SMR(5,K)=X/(E*IZI(K))
SMR(6,K)=1.0/(C*IXI(K))
SMR(7,K)=1.0/(E*LYI(K))
SMR(8,K)=1.0/(E*IZI(K))
10 CONTINUE
DO 11 K=1,8
DO 12 J=1,NPI
12 AR(J)=SMR(K,J)
CALL QSF(H,AR,P,NPI)
11 AE(K)=F(NPI)
SM(1,1)=AE(1)
SM(2,2)=AE(2)
SM(3,3)=AE(3)
SM(5,3)=AE(4)
SM(3,5)=AE(4)
SM(6,2)=AE(5)
SM(2,6)=AE(5)
SM(4,4)=AE(6)
SM(5,5)=AE(7)
SM(6,6)=AE(8)
DO 14 I=1,6
DO 14 J=1,6
FM(I,J)=SM(I,J)
14 CONTINUE
MF=6
CALL INVER(FM,MF)
-----
DO 15 I=1,6
DO 15 J=1,6
SM(I,J)=FM(I,J)
15 CONTINUE
RETURN
END
```

SUBROUTINE ESRET(I,AX,IX,IY,IZ,AXI,IXI,IYI,IZI,NPI,L,SM,AML,E,
IG,EM,GM,ICE,ITS)

SUBROUTINE PARA CALCULAR OS ESFORÇOS DE ENGASTAMENTO PERFEITO
NOS MEMBROS RETCS COM SECCAO VARIÁVEL

REAL L(20),IXI(13),IYI(13),IZI(13),IX(20),IY(20),IZ(20)
DIMENSION SM(12,12),AXI(13),AML(20,12),PX(20),PY(20),DPY(20),
IAT(12),AX(20),EM(20),GM(20),ITS(20),P(13)
COMMON AE(120),AC(120),SMR(12,12),AR(120),D(120)

DO 1 J=1,12
AT(J)=AML(I,J)
AML(I,J)=0.
AC(J)=0.0

DO 1 K=1,12
1 SMR(K,J)=0.

WRITE(5,200)I

200 FORMAT(/3X,'CARREGAMENTO DOS MEMBROS RETCS',4X,'MEMBRO NUMERO',I5)
IF(ICE)101,100,101

101 E=EM(I)
G=GM(I)

100 IF(ITS(1))106,105,106

105 DO 107 K=1,NPI

AXI(K)=AX(I)
IXI(K)=IX(I)
IYI(K)=IY(I)

107 IZI(K)=IZ(I)

GO TO 108

106 READ(1'I')(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
1(IZI(K),K=1,NPI)

108 CONTINUE

46 J1=8

J2=9

J3=11

J4=12

IRC=0

DO 2 IC=1,2

DO 56 J=1,4

PX(J)=0.

PY(J)=0.

56 DPY(J)=0.

TC=0.

TD=0.

AXT=0.

TDX1=0.

```

TDX2=0.
AX1=0.
BX1=0.
PMZ=0.
DPMZ=0.
READ(8,71)QA,QB,A,B,HA,FB,AF,BH
71 FORMAT(8F10.0)
READ(8,72)QY,(PX(J),PY(J),DPY(J),J=1,2),IR,I1
72 FORMAT(7F10.0,2I5)
IF(IR)204,205,204
204 IRC=IR
205 IF(BX1)89,89,91
89 BX1=L(1)
91 IF(B)74,74,73
74 B=L(1)
73 IF(BH)75,75,76
75 BH=L(1)
76 IF(IC-2)77,78,78
77 WRITE(5,79)QA,QB,A,B,FA,FB,AF,BH
79 FORMAT(/3X,'PLANO XY - CARGA LINEAR VERTICAL      QA-QB-A-B      PLA
ING XY - CARGA LINEAR AXIAL      HA-FB-AF-BH',/3X,F10.2,3F12.2,F15.
12,3F12.2)
WRITE(5,80)QY,(PX(J),PY(J),DPY(J),J=1,2)
80 FLRMT(3X,'CARGA  QY  CARGAS CCNCENT.  AXIAIS E VERTICAIS  PX(1)-P
1Y(1)-DPY(1)-PX(2)-PY(2)-DPY(2)'/3X,F10.2,3F12.2,3X,3F12.2)
GO TO 83
-----
78 WRITE(5,81)QA,QB,A,B,FA,FB,AF,BH
81 FORMAT(/3X,'PLANO XZ - CARGA LINEAR VERTICAL      QA-QB-A-B      PLA
INO XZ - CARGA LINEAR AXIAL      HA-FB-AF-BH',/3X,F10.2,3F12.2,F15.
12,3F12.2)
WRITE(5,82)QY,(PX(J),PY(J),DPY(J),J=1,2)
82 FURMAT(3X,'CARGA  QZ  CARGAS CCNCENT.  AXIAIS E VERTICAIS  PX(1)-P
1Z(1)-DPZ(1)-PX(2)-PZ(2)-DPZ(2)'/3X,F10.2,3F12.2,3X,3F12.2)
83 IF(I1)84,85,84
84 READ(8,86)(PX(J),PY(J),DPY(J),J=3,4),TD,I2
86 FORMAT(7F10.0,1I0)
IF(IC-2)202,203,203
202 WRITE(5,87)(PX(J),PY(J),DPY(J),J=3,4),TD
87 FORMAT(3X,'CARGAS CCNCENT.  AXIAIS E VERTICAIS  PX(3)-PY(3)-DPY(3)-
1PX(4)-PY(4)-DPY(4)  TGRSCR  TD',/3X,F10.2,2F12.2,3X,4F12.2)
GO TO 206
203 WRITE(5,11)(PX(J),PY(J),DPY(J),J=3,4),TD
11 FORMAT(3X,'CARGAS CCNCENT.  AXIAIS E VERTICAIS  PX(3)-PZ(3)-DPZ(3)-
1PX(4)-PZ(4)-DPZ(4)  TGRSCR  TD',/3X,F10.2,2F12.2,3X,4F12.2)
206 IF(I2)88,85,88

```

```

88 READ(8,90)TC,AXT,IDX1,IDX2,AX1,BX1,PMZ,DPMZ
90 FORMAT(8F10.0)
   IF(IC-2)92,93,93
92 WRITE(5,94)TC,AXT,TEX1,TCX2,AX1,BX1,PMZ,DPMZ
94 FORMAT(3X,'TCRSR CCNCENT. TC-AXT MCMENTG TCRSGR LINEAR      IDX
11-IDX2-AX1-BX1      MCM. CCNCENT. FMY-DPMY*/3X,F10.2,5F12.2,F15.2,F
112.2)
   GO TO 85
93 WRITE(5,95)TC,AXT,IDX1,IDX2,AX1,BX1,PMZ,DPMZ
95 FORMAT(3X,'TCRSR CCNCENT. TC-AXT MCMENTC TCRSGR LINEAR      IDX
11-IDX2-AX1-BX1      MCM. CCNCENT. FMZ-LPMZ*/3X,F10.2,5F12.2,F15.2,F
112.2)
85 H=L(I)/(NPI-1)
   X=-H
   DO 15 IT=1,NPI
     X=X+H
     SMR(J1,IT)=SMR(J1,IT)+CY*((L(I)-X)**3/2.)
     SMR(J4,IT)=SMR(J4,IT)+(CY*((L(I)-X)**2)/2.)*(-1.)**(IC+1)
     IF(A-X)16,16,17
17 C=(B-A)/6.
     SMR(J1,IT)=SMR(J1,IT)+(L(I)-X)*(QB*(A+2*B-3*X)+QA*(2*A+B-3*X))*C
     Q=(QB*(A+2*B-3*X)+QA*(2*A+B-3*X))*C
     SMR(J4,IT)=SMR(J4,IT)+Q*(-1.)**(IC+1)
     GO TO 18
16 IF(B-X)18,18,19
19 Q=((B-X)*QA+(X-A)*QE)/(B-A)
     SMR(J1,IT)=SMR(J1,IT)+((B-X)**2)*(Q+2*QB)*(L(I)-X)/6.
     SMR(J4,IT)=SMR(J4,IT)+(((B-X)**2)*(Q+2*QB)/6.)*(-1.)**(IC+1)
18 IF(AH-X)20,20,21
21 SMR(7,IT)=SMR(7,IT)+((A+H)*B*(BH-AH))/2.
     GO TO 22
20 IF(BH-X)22,22,23
23 Q=((BH-X)*HA+HB*(X-AH))/(BH-AH)
     SMR(7,IT)=SMR(7,IT)+(G+HB)*(BH-X)/2.
22 IF(AX1-X)26,26,27
27 SMR(10,IT)=SMR(10,IT)+(TDX1+TDX2)*(BX1-AX1)/2.
     GO TO 28
26 IF(BX1-X)28,29,29
29 Q=((BX1-X)*TDX1+TDX2*(X-AX1))/(BX1-AX1)
     SMR(10,IT)=SMR(10,IT)+(Q+TDX2)*(BX1-X)/2.
28 IF(AXT-X)30,31,31
31 SMR(10,IT)=SMR(10,IT)+IC
30 IF(DPMZ-X)32,33,33
33 SMR(J2,IT)=SMR(J2,IT)-FMZ*(L(I)-X)*(-1.)**(IC+1)
     SMR(J3,IT)=SMR(J3,IT)+PMZ

```

```

22 SMR(10,IT)=SMR(10,IT)+ID*(L(I)-X)
   IF(CPY(1)-X)34,35,35
25 DC 36 IK=1,4
   SMR(J1,IT)=SMR(J1,IT)+PY(IK)*(DPY(IK)-X)*(L(I)-X)
   SMR(J4,IT)=SMR(J4,IT)+PY(IK)*(DPY(IK)-X)*(-1.0)**(IC+1)
36 SMR(7,IT)=SMR(7,IT)+FX(IK)
   GC TC 15
34 IF(CPY(2)-X)37,38,38
38 DO 39 IK=2,4
   SMR(J1,IT)=SMR(J1,IT)+PY(IK)*(DPY(IK)-X)*(L(I)-X)
   SMR(J4,IT)=SMR(J4,IT)+PY(IK)*(DPY(IK)-X)*(-1.0)**(IC+1)
39 SMR(7,IT)=SMR(7,IT)+PX(IK)
   GC TC 15
37 IF(DPY(3)-X)40,41,41
41 DO 42 IK=3,4
   SMR(J1,IT)=SMR(J1,IT)+PY(IK)*(DPY(IK)-X)*(L(I)-X)
   SMR(J4,IT)=SMR(J4,IT)+PY(IK)*(DPY(IK)-X)*(-1.0)**(IC+1)
42 SMR(7,IT)=SMR(7,IT)+PX(IK)
   GC TC 15
40 IF(DPY(4)-X)43,43,43
43 SMR(J1,IT)=SMR(J1,IT)+PY(4)*(CPY(4)-X)*(L(I)-X)
   SMR(J4,IT)=SMR(J4,IT)+PY(4)*(CPY(4)-X)*(-1.0)**(IC+1)
   SMR(7,IT)=SMR(7,IT)+PX(4)
15 CONTINUE
AC(4)=AC(4)+(TDX1+TDX2)*(BX1-AX1)/2.0+TD*L(I)+TC
AC(J1-3)=AC(J1-3)+PMZ
-----
AC(1)=AC(1)+1*(A+FB)*(E+AF)/2.0+PX(1)+PX(2)+PX(3)+PX(4)
AC(J1-6)=AC(J1-6)+QY*L(I)+(GA+QB)*(B-A)/2.0+PY(1)+PY(2)+PY(3)+PY(4)
AC(J2-3)=AC(J2-3)+(CY*L(I)**2/2.0+(B-A)/6.0*(QA*(2*A+B)+QB*(A+2*B))+
1PY(1)*DPY(1)+PY(2)*DPY(2)+PY(3)*DPY(3)+PY(4)*DPY(4)*(-1.0)**(IC+1)
J1=9
J2=8
J3=12
J4=11
2 CONTINUE
IF(IRC)46,47,46
47 DO 48 K=1,NPI
   SMR(7,K)=SMR(7,K)/(E*AXI(K))
   SMR(8,K)=SMR(8,K)/(E*IZI(K))
   SMR(9,K)=SMR(9,K)/(E*IYI(K))
   SMR(10,K)=SMR(10,K)/(G*IXI(K))
   SMR(11,K)=SMR(11,K)/(E*IYI(K))
   SMR(12,K)=SMR(12,K)/(E*IZI(K))
48 CONTINUE
DC 49 K=7,12

```

```

      DO 50 J=1,NPI
50  AR(J)=SMR(K,J)
      CALL CSF(H,AR,P,NPI)
      D(K)=P(NPI)
49  CONTINUE
      IF(ITS(I))109,110,109
110 DO 111 K=1,NPI
      AX(I)=AXI(K)
      IX(I)=IXI(K)
      IY(I)=IYI(K)
      IZ(I)=IZI(K)
111 CONTINUE
      CALL RIREC(I,L,SM,E,G,AX,IX,IY,IZ)
      GO TO 112
109 CALL RERIV(I,SM,AXI,IXI,IYI,IZI,L,NPI,E,G)
112 CONTINUE
      DO 51 K=7,12
      DC 51 J=1,6
51  AML(I,K)=AML(I,K)-SM(K-6,J)*D(J+6)
      AML(I,1)=-{AML(I,7)+AC(1)}
      AML(I,2)=-{AML(I,8)+AC(2)}
      AML(I,3)=-{AML(I,9)+AC(3)}
      AML(I,4)=-{AML(I,10)+AC(4)}
      AML(I,5)=-{AML(I,11)+AC(5)-AML(I,9)*L(I)}
      AML(I,6)=-{AML(I,12)+AC(6)+AML(I,8)*L(I)}
      DO 60 J=1,12
60  AML(I,J)=AML(I,J)+AT(J)
      RETURN
      END

```

SUBROUTINE CURDX(L,I,E,EM,AX,IZ,AXI,IZI,YM,FI,NP,ITS,SM,NCDX,ICE,
IAML,IXI,IYI)

SUBRTINA PARA CALCULO DAS ACCES DE ENGASTAMENTO NAS
EXTREMIDADES DE ELEMENTOS CURVOS DE SECAC CCNSTANTE
OU VARIAVEL SUJEITOS A CARGAS DISTRIBUIDAS EM RELACAO
AO EIXO YM E DE DIRECAC PARALELA AO EIXO XM

```

REAL L(20),IZ(20),IZI(13),IXI(13),IYI(13)
DIMENSION AX(20),AXI(13),YM(13),FI(13),NP(20),SM(12,12),QEX(20),
IQDX(20),CA(20),DB(20),YA(20),YB(20),XM(13),ZL7(13),ZL8(13),
IZL12(13),DL(12),AMLJ(12),AML(20,12),NCDX(20),EM(20),ITS(20),
IZ7(13),Z8(13),Z12(13)
NCHI=NCDX(I)
NPI=NP(I)
H=L(I)/(NPI-1)
DO 10 K=1,NPI
JK=K-1
10 XM(K)=JK*H
READ(12,1)(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
READ(3,1)SM
IF(ICE)15,20,15
15 E=EM(I)
20 IF(ITS(I))35,25,35
25 DO 30 K=1,NPI
-----
AXI(K)=AX(I)
30 IZI(K)=IZ(I)
GO TO 40
35 READ(1,1)(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
I(IZI(K),K=1,NPI)
40 READ(8,1)(QEX(J),QDX(J),CA(J),DB(J),YA(J),YB(J),J=1,NCHI)
1 FORMAT(6F10.0)
WRITE(5,2)(QEX(J),QDX(J),CA(J),DB(J),YA(J),YB(J),J=1,NCHI)
2 FORMAT(2(12X,F12.3),4F12.3)
DO 220 J=1,NCHI
DC=L(I)-(CA(J)+DB(J))
AC=ABS(YA(J)-YB(J))
IF(ABS(QEX(J))-ABS(QDX(J)))70,50,60
50 QTX=0.
QX=QEX(J)
JC=0
GO TO 80
60 QTX=QEX(J)-QDX(J)
QX=QDX(J)

```

```

JC=0
FY1=(2.*YA(J)+YB(J))/3.
GO TO 80
70 GTX=GDJ(J)-GEX(J)
QX=GEX(J)
JC=1
FY1=(YA(J)+2.*YB(J))/3.
80 KA=DA(J)/F
KB=DB(J)/H
KC=NPI-(KA+KB+1)
KA=KA+1
KD=KA+KC
IF(DB(J))100,90,100
90 ZL7(NPI)=0.
ZL8(NPI)=0.
ZL12(NPI)=0.
GO TO 120
100 DO 110 K=KD,NPI
ZL7(K)=0.
ZL8(K)=0.
110 ZL12(K)=0.
120 IF(DA(J))140,130,140
130 KA=KA-1
GO TO 160
140 DO 150 K=1,KA
ZL7(K)=(AC*CCS(FI(K)))/(E*AXI(K))*(GX+GTX/2.)+(AC*YM(K))/(E*
IZI(K)*COS(FI(K)))*(GX*(YM(K)-((YA(J)+YB(J))/2.))+QTX/2.*
2*(YM(K)-FY1))
ZL8(K)=(AC*SIN(FI(K)))/(E*AXI(K))*(GX+GTX/2.)+(AC*(L(I)-XM(K)))/
1*(E*IZI(K)*COS(FI(K)))*(GX*(YM(K)-((YA(J)+YB(J))/2.))+QTX/2.*
2*(YM(K)-FY1))
150 ZL12(K)=AC/(E*IZI(K)*CCS(FI(K)))*(GX*(YM(K)-((YA(J)+YB(J))/2.))+
QTX/2.*(YM(K)-FY1))
160 KA1=KA+1
KD1=KD-1
DO 200 K=KA1,KD1
FY=ABS(YM(K)-YB(J))
IF(JC)180,170,180
170 FY2=ABS(YM(K)-YB(J))
FY3=FY2
GO TO 190
180 FY2=ABS(YA(J)-YM(K))+AC
FY3=ABS(YA(J)-YM(K))+2.*AC
190 ZL7(K)=(FY*CCS(FI(K)))/(E*AXI(K))*(GX+QTX/(2.*AC)*FY2)+(FY*(YM(K)-
1YB(J))*YM(K))/(E*IZI(K)*CCS(FI(K)))*(GX/2.+QTX/(6.*AC)*FY3)

```



```

      ZL8(K)=(FY*SIN(FI(K)))/(E*AXI(K))*CX+QTX/(2.*AC)*FY2I+(FY*(YM(K)-
1YB(J))*L(I)-XM(K))/(E*IZI(K)*COS(FI(K)))*(CX/2.+QTX/(6.*AC)*FY3)
200 ZL12(K)=(FY*(YM(K)-YB(J)))/(E*IZI(K)*COS(FI(K)))*(CX/2.+QTX/(6.*
1AC)*FY3)
      CALL QSF(H,ZL7,Z7,NPI)
      CALL QSF(H,ZL8,Z8,NPI)
      CALL QSF(H,ZL12,Z12,NPI)
      DL(7)=Z7(NPI)
      DL(8)=Z8(NPI)
      DL(12)=Z12(NPI)
      DO 210 KI=7,12
      AMLJ(KI)=0.
      DO 210 KJ=7,12
210 AMLJ(KI)=AMLJ(KI)+SM(KI,KJ)*(-DL(KJ))
      AML(I,1)=AML(I,1)-(AMLJ(7)+QX*AC+QTX*AC/2.)
      AML(I,2)=AML(I,2)-AMLJ(8)
      AML(I,6)=-{(AMLJ(12)+AMLJ(8))*L(I)-CX*AC*((YA(J)+YB(J))/2.)-QTX*
1AC/2.*FY1}
      AML(I,7)=AML(I,7)+AMLJ(7)
      AML(I,8)=AML(I,8)+AMLJ(8)
      AML(I,12)=AML(I,12)+AMLJ(12)
220 CONTINUE
      RETURN
      END

```

SUBROUTINE CURDY(L,I,E,EM,AX,IZ,AXI,IZI,YM,FI,NP,ITS,SM,NCDY,ICE,
IAML,IXI,IYI)

SUBROTINA PARA CALCULO DAS ACOES DE ENCASTAMENTO NAS
EXTREMIDADES DE ELEMENTOS CURVOS DE SECAO CONSTANTE
OU VARIAVEL SUJEITOS A CARGAS DISTRIBUIDAS EM RELACAO
AO EIXO XM E DE DIRECAO PARALELA AO EIXO YM

```

REAL L(20),IZ(20),IZI(13),IXI(13),IYI(13)
DIMENSION AX(20),AXI(13),YM(13),FI(13),NP(20),SM(12,12),GEY(20),
IQDY(20),DA(20),DB(20),QTY(20),QY(20),XM(13),ZL7(13),ZL8(13),
IZL12(13),DL(12),AMLJ(12),AML(20,12),NCBY(20),ITS(20),EM(20),
IZ7(13),Z8(13),Z12(13)
NCVI=NCBY(1)
NPI=NP(I)
H=L(I)/(NPI-1)
READ(12'I')(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
READ(3'I')SM
IF(ICE)3,5,3
3 E=EM(I)
5 IF(ITS(1))30,10,20
10 DO 20 K=1,NPI
    AXI(K)=AX(I)
20 IZI(K)=IZ(I)
    GO TO 40
30 READ(1'I')(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
1 (IZI(K),K=1,NPI)
40 READ(8,1)(QEY(J),GEY(J),DA(J),DB(J),J=1,NCVI)
1 FORMAT(4F10.0)
WRITE(5,2)(QEY(J),GEY(J),DA(J),DB(J),J=1,NCVI)
2 FORMAT(2(F12.3,12X),2F12.3)
DO 45 K=1,NPI
    JK=K-1
45 XM(K)=JK*H
    DO 250 J=1,NCVI
        DC=L(I)-(DA(J)+DB(J))
        IF(ABS(QEY(J))-ABS(GEY(J)))70,50,60
50 QTY(J)=0.
    QY(J)=QEY(J)
    JC=0
    GO TO 80
60 QTY(J)=QEY(J)-QDY(J)
    QY(J)=QDY(J)
    FCC=EC/3.
    JC=0

```

```

GO TC 80
70 QTY(J)=QDY(J)-QEY(J)
   QY(J)=QEY(J)
   FDC=2.*DC/3.
   JC=1
80 KA=CA(J)/H
   KB=DB(J)/H
   KC=NPI-(KA+KB+1)
   KA=KA+1
   KB=KA+KB
   IF(DB(J))110,100,110
100 ZL7(NPI)=0.
   ZL8(NPI)=0.
   ZL12(NPI)=0.
   GO TO 130
110 DC 120 K=KD,NPI
   ZL7(K)=0.
   ZL8(K)=0.
120 ZL12(K)=0.
130 IF(CA(J))150,140,150
140 KA=KA-1
   GO TO 190
150 DO 160 K=1,KA
   ZL7(K)=(DC*SIN(FI(K)))/(E*AXI(K))*(QY(J)+QTY(J)/2.)+
1(DC*YM(K))/(E*IZI(K)*CCS(FI(K)))*(QY(J)*(DA(J)-XM(K)+DC/2.)+
2QTY(J)/2.*(DA(J)-XM(K)+FDC))
   ZL8(K)=(DC*SIN(FI(K))*2)/(E*AXI(K)*CCS(FI(K)))*(QY(J)+QTY(J)/2.)+
1(DC*(L(I)-XM(K)))/(E*IZI(K)*CCS(FI(K)))*(QY(J)*(DA(J)-XM(K)+
2DC/2.)+QTY(J)/2.*(DA(J)-XM(K)+FDC))
160 ZL12(K)=DC/(E*IZI(K)*CCS(FI(K)))*(QY(J)*(DA(J)-XM(K)+DC/2.)+
1QTY(J)/2.*(DA(J)-XM(K)+FDC))
190 KA1=KA+1
   KD1=KD-1
   DO 230 K=KA1,KD1
   IF(JC)210,200,210
200 FA1=DA(J)+DC-XM(K)
   FA2=FA1
   GO TC 220
210 FA1=XM(K)-DA(J)+DC
   FA2=XM(K)-DA(J)+2.*DC
220 ZL7(K)=((DA(J)+DC-XM(K))*SIN(FI(K)))/(E*AXI(K))*(QY(J)+QTY(J)/(2.*
1DC)*FA1)+((DA(J)+DC-XM(K))*2*YM(K))/(2.*E*IZI(K)*CCS(FI(K)))*
2(QY(J)+QTY(J)/(3.*DC)*FA2)
   ZL8(K)=((DA(J)+DC-XM(K))*SIN(FI(K))*2)/(E*AXI(K)*CCS(FI(K)))*
1(QY(J)+QTY(J)/(2.*DC)*FA1)+((DA(J)+DC-XM(K))*2*(L(I)-XM(K)))/(2.*

```

```

2E*IZI(K)*COS(FI(K)))*I(GY(J)+QTY(J)/(3.*DC)*FA2)
230 ZL12(K)={(DA(J)+DC-XM(KJ))*2)/(2.*E*IZI(K)*COS(FI(K)))*(QY(J)+
I*QTY(J)/(3.*DC)*FA2)
CALL QSF(H,ZL7,Z7,NFI)
CALL QSF(H,ZL8,Z8,NFI)
CALL QSF(H,ZL12,Z12,NFI)
DL(7)=Z7(NFI)
DL(8)=Z8(NFI)
DL(9)=0.
DL(10)=0.
DL(11)=0.
DL(12)=Z12(NFI)
DC 240 KI=7,12
AMLJ(KI)=0.
DU 240 KJ=7,12
240 AMLJ(KI)=AMLJ(KI)+SM(KI,KJ)*(-DL(KJ))
AML(I,1)=AML(I,1)-AMLJ(7)
AML(I,2)=AML(I,2)-(AMLJ(8)+GY(J)*DC+QTY(J)*DC/2.)
AML(I,3)=0.
AML(I,4)=0.
AML(I,5)=0.
AML(I,6)=AML(I,6)-(AMLJ(12)+AMLJ(8)*L(I)+GY(J)*DC*(DA(J)+DC/2.)
I+QTY(J)*DC/2.*(DA(J)+FDC))
AML(I,7)=AML(I,7)+AMLJ(7)
AML(I,8)=AML(I,8)+AMLJ(8)
AML(I,9)=0.
-----
AML(I,10)=0.
AML(I,11)=0.
AML(I,12)=AML(I,12)+AMLJ(12)
WRITE(5,85)
85 FORMAT(/,' ESFORCES NC EIXC CURVE CCM CARGA DISTRIBUIDA',/)
WRITE(5,205){AML(I,J),J=1,12}
205 FORMAT(12E10.2)
250 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CURDZ(L,I,E,G,EA,GM,IX,IY,IXI,IYI,YM,FI,NP,ITS,SM,
INCDZT,AML,ICCN,ICE,AXI,IZI)
REAL L(20),IX(20),IY(20),IXI(13),IYI(13),IZI(13)
DIMENSION YM(13),FI(13),NF(20),ITS(20),SM(12,12),NCDZT(20),
IAML(20,12),BT(13),BF(13),XM(13),QZ(20),ZSL(13),ZXL(13),ZYL(13),
IDS(13),XC(13),YC(13),BFG(13),BTQ(13),ZS(13),ZX(13),ZY(13),DL(12),
IAMLJ(12),ICCN(20),ZL9(13),ZL10(13),ZL11(13),Z9(13),Z10(13),
IZI1(13),QT(20),EM(20),GM(20),AXI(13)

```

SUBRTINA PARA CALCULO DAS ACOES DE ENCASTAMENTO NAS
EXTREMIDADES DE EIXOS CURVOS DE SECCAO CONSTANTE OU VARIAVEL
SUJEITOS A CARGA DISTRIBUIDA CONSTANTE TOTAL SOBRE O EIXO
DO ARCC PARALELA A DIRECAO ZM

```

NCDI=NCDZT(I)
NPI=NP(I)
H=L(I)/(NPI-1)
READ(12,I)(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
READ(3,I)SM
IF(ICE)3,4,3
3 E=EM(I)
G=GM(I)
4 IF(ITS(I))15,25,15
25 DO 10 K=1,NPI
IXI(K)=IX(I)
IYI(K)=IY(I)
-----
10 CONTINUE
GO TO 20
15 READ(1,I)(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
1(IZI(K),K=1,NPI)
20 DO 21 K=1,NPI
KI=K-1
XM(K)=KI*H
BT(K)=-((L(I)-XM(K))*SIN(FI(K))-YM(K)*COS(FI(K)))
BF(K)=YM(K)*SIN(FI(K))-((L(I)-XM(K))*COS(FI(K)))
21 CONTINUE
READ(8,1)(QZ(J),J=1,NCDI)
1 FORMAT(8F10.0)
WRITE(5,2)(QZ(J),J=1,NCDI)
2 FORMAT(//10X,F15.3)
DO 100 J=1,NCDI
DO 60 LL=1,NPI
DO 65 K=1,LL
ZSL(K)=0.
ZXL(K)=0.

```

```

65 ZYL(K)=0.
   DO 70 K=LL,NPI
      ZSL(K)=1./CGS(FI(K))
      ZXL(K)=XM(K)/COS(FI(K))
70  ZYL(K)=YM(K)/CGS(FI(K))
      CALL QSF(H,ZSL,ZS,NPI)
      CALL QSF(H,ZXL,ZX,NPI)
      CALL QSF(H,ZYL,ZY,NPI)
      DS(LL)=ZS(NPI)
      QT(LL)=QZ(J)*DS(LL)
      XG(LL)=ZX(NPI)/DS(LL)
      YG(LL)=ZY(NPI)/DS(LL)
      IF(ICCNC(I))16,17,17
16  DS(LL)=-DS(LL)
      QT(LL)=QZ(J)*DS(LL)
17  CONTINUE
      DS(NPI)=0.
      BTG(LL)=(YM(LL)-YG(LL))*CGS(FI(LL))+(XG(LL)-XM(LL))*SIN(FI(LL))
      BFQ(LL)=(XG(LL)-XM(LL))*COS(FI(LL))-(YM(LL)-YG(LL))*SIN(FI(LL))
60  CONTINUE
      DO 80 K=1,NPI
         ZL9(K)=GT(K)*BTG(K)*BT(K)/(G*IXI(K)*CCS(FI(K)))+QT(K)*BFQ(K)*
1BF(K)/(E*IYI(K)*COS(FI(K)))
         ZL10(K)=GT(K)*BTG(K)/(G*IXI(K))-GT(K)*BFQ(K)*SIN(FI(K))/
1(E*IYI(K)*CCS(FI(K)))
         ZL11(K)=GT(K)*BTG(K)*SIN(FI(K))/(G*IXI(K)*COS(FI(K)))+QT(K)*BFQ(K)
1/(E*IYI(K))
-----
80  CONTINUE
      CALL QSF(H,ZL9,Z9,NPI)
      CALL QSF(H,ZL10,Z10,NPI)
      CALL QSF(H,ZL11,Z11,NPI)
      DL(9)=Z9(NPI)
      DL(10)=Z10(NPI)
      DL(11)=Z11(NPI)
      IF(ICCNC(I))28,29,29
28  DL(9)=-DL(9)
      DL(10)=-DL(10)
      DL(11)=-DL(11)
29  CONTINUE
      DO 90 KI=9,11
         AMLJ(KI)=0.
         DO 90 KJ=9,11
90  AMLJ(KI)=AMLJ(KI)+SM(KI,KJ)*(-DL(KJ))
            AML(I,3)=AML(I,3)+GT(1)-AMLJ(9)
            AML(I,4)=AML(I,4)+GT(1)*YG(1)-AMLJ(10)

```

```
AML(I,5)=AML(I,5)+L(I)*AMLJ(9)-AMLJ(11)-QT(1)*XG(1)
```

```
AML(I,9)=AML(I,9)+AMLJ(9)
```

```
AML(I,10)=AML(I,10)+AMLJ(10)
```

```
AML(I,11)=AML(I,11)+AMLJ(11)
```

```
100 CONTINUE
```

```
RETURN
```

```
END
```

```

SUBROUTINE CIRDZ(L,I,E,C,EM,GM,IX,IY,IXI,IYI,YM,FI,NP,ITS,SM,
INCDZP,AML,ICCN,ICE,AXI,IZI)
REAL L(20),IX(20),IY(20),IXI(13),IYI(13),IZI(13)
DIMENSION YM(13),FI(13),NP(20),ITS(20),SM(12,12),AML(20,12),
1BT(13),BF(13),XM(13),QZ(20),DE(20),DG(20),ZSL(13),ZXL(13),ZYL(13),
1ZS(13),ZX(13),ZY(13),GS(13),GT(20),XG(13),YG(13),BTQ(13),BFQ(13),
IDL(12),AMLJ(12),ICCN(20),ZL9(13),ZL10(13),ZL11(13),Z9(13),Z10(13)
1,Z11(13),NCDZP(20),EM(20),GM(20),AXI(13)

```

SUBRTINA PARA CALCULO DAS ACCES E ENCASTAMENTO EM ELEMENTOS DE EIXO CURVO DE SECCAO CONSTANTE OU VARIAVEL SUJEITOS A CARGA DISTRIBUIDA UNIFORME PARCIAL SOBRE O EIXO PARALELA A DIRECAO ZM

```

NDPI=NCDZP(I)
NPI=NP(I)
KBF=(NPI-1)/2+1
H=L(I)/(NPI-1)
READ(12,I)(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
READ(3,I)SM
IF(ICE)3,4,3
3 E=EM(I)
G=GM(I)
4 IF(ITS(I))15,25,15
25 DO 10 K=1,NPI
IXI(K)=IX(I)
10 IYI(K)=IY(I)
-----
15 READ(1,I)(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
1(IZI(K),K=1,NPI)
20 READ(8,1)(QZ(J),DE(J),DG(J),J=1,NPI)
1 FORMAT(3F10.0)
DO 100 J=1,NPI
IF(J-NDPI)110,111,111
110 CONTINUE
IF(QZ(J))101,106,101
106 QZ(J)=2.4*AXI(J)
DE(J)=DE(J)+(J-1)*H
DQ(J)=H
WRITE(5,105)(QZ(J),DE(J),DG(J))
105 FORMAT(3F10.3)
101 CONTINUE
111 CONTINUE
DO 5 K=1,NPI
BTQ(K)=0.
BFQ(K)=0.

```



```

QT(K)=0.
ZSL(K)=0.
ZXL(K)=0.
ZYL(K)=0.
KI=K-1
XM(K)=KI*H
BT(K)=-((L(I)-XM(K))*SIN(FI(K))-YM(K)*CCS(FI(K)))
BF(K)=YM(K)*SIN(FI(K))-((L(I)-XM(K))*CCS(FI(K)))
5 CONTINUE
KP=(DE(J)+DQ(J))/H
KP=KP+1
JP=KP+1
JJ=DE(J)/H
JJ=JJ+1
KK=JJ+1
DO 30 LL=KK,KP
KL=LL-1
DO 40 K=1,KL
ZL9(K)=0.
ZL10(K)=0.
ZL11(K)=0.
ZSL(K)=0.
ZXL(K)=0.
40 ZYL(K)=0.
DO 50 K=LL,KP
ZSL(K)=1./CCS(FI(K))
ZXL(K)=XM(K)/CCS(FI(K))
50 ZYL(K)=YM(K)/CCS(FI(K))
CALL QSF(H,ZSL,ZS,NPI)
CALL GSF(H,ZXL,ZX,NPI)
CALL QSF(H,ZYL,ZY,NPI)
DS(LL)=ZS(NPI)
QT(LL)=QZ(J)*DS(LL)
XG(LL)=ZX(NPI)/DS(LL)
YG(LL)=ZY(NPI)/DS(LL)
IF((ICCN(I))26,27,27)
26 DS(LL)=-DS(LL)
QT(LL)=QZ(J)*DS(LL)
27 CONTINUE
BTQ(LL)=(YM(LL)-YG(LL))*CCS(FI(LL))+(XG(LL)-XM(LL))*SIN(FI(LL))
BFQ(LL)=(XG(LL)-XM(LL))*CCS(FI(LL))-(YM(LL)-YG(LL))*SIN(FI(LL))
30 CONTINUE
DO 35 LL=KK,KP
ZL10(LL)=GT(LL)*BTQ(LL)/(G*IXI(LL))-GT(LL)*BFQ(LL)*SIN(FI(LL))/
1(E*IYI(LL))

```

```

      ZL11(LL)=GT(LL)*BTQ(LL)*SIN(FI(LL))/(G*IXI(LL)*COS(FI(LL)))+
1QT(LL)*BFQ(LL)/(E*IYI(LL))
      ZL9(LL)=GT(LL)*BTQ(LL)*BT(LL)/(G*IXI(LL)*COS(FI(LL)))+QT(LL)*BFQ
1(LL)*BF(LL)/(E*IYI(LL)*COS(FI(LL)))
35 CONTINUE
      CALL QSF(H,ZL10,Z10,NPI)
      CALL QSF(H,ZL11,Z11,NPI)
      CALL QSF(H,ZL9,Z9,NPI)
      DL(10)=Z10(NPI)
      DL(11)=Z11(NPI)
      DL(9)=Z9(NPI)
      DO 60 K=KK,KF
      ZSL(K)=1./COS(FI(K))
      ZXL(K)=XM(K)/COS(FI(K))
60  ZYL(K)=YM(K)/COS(FI(K))
      CALL QSF(H,ZSL,ZS,NPI)
      CALL QSF(H,ZXL,ZX,NPI)
      CALL QSF(H,ZYL,ZY,NPI)
      DS(J)=ZS(NPI)
      QT(J)=QZ(J)*DS(J)
      XG(J)=ZX(NPI)/DS(J)
      YG(J)=ZY(NPI)/DS(J)
      IF(ICCNC(I))36,37,37
36  US(J)=-DS(J)
      QT(J)=QZ(J)*DS(J)
37 CONTINUE
-----
      DO 70 K=KK,NPI
      ZL9(K)=0.
      ZL10(K)=0.
      ZL11(K)=0.
      ZSL(K)=0.
      ZXL(K)=0.
70  ZYL(K)=0.
      DC 80 K=1,JJ
      BTQ(K)=(YM(K)-YG(K))*COS(FI(K))+(XG(K)-XM(K))*SIN(FI(K))
      BFQ(K)=(XG(K)-XM(K))*COS(FI(K))-(YM(K)-YG(K))*SIN(FI(K))
      ZL10(K)=QT(J)*BTQ(K)/(G*IXI(K))-QT(J)*BFQ(K)*SIN(FI(K))/
1(E*IYI(K)*COS(FI(K)))
      ZL11(K)=QT(J)*BTQ(K)*SIN(FI(K))/(G*IXI(K)*COS(FI(K)))+QT(J)*BFQ(K)
1/(E*IYI(K))
80  ZL9(K)=QT(J)*BTQ(K)*BT(K)/(G*IXI(K)*COS(FI(K)))+QT(J)*BFQ(K)*
1BF(K)/(E*IYI(K)*COS(FI(K)))
      CALL QSF(H,ZL9,Z9,NPI)
      CALL QSF(H,ZL10,Z10,NPI)
      CALL QSF(H,ZL11,Z11,NPI)

```

```
DL(9)=Z9(NP1)
DL(10)=Z10(NP1)
DL(11)=Z11(NP1)
IF(ICCNC(1))38,39,39
38 DL(10)=-DL(10)
   DL(11)=-DL(11)
   DL(9)=-DL(9)
39 CONTINUE
   DO 90 KI=9,11
     AMLJ(KI)=0.
     DO 90 KJ=9,11
70 AMLJ(KI)=AMLJ(KI)+SM(KI,KJ)*(-DL(KJ))
     AML(I,3)=AML(I,3)+QT(J)-AMLJ(9)
     AML(I,4)=AML(I,4)+QT(J)*YC(J)-AMLJ(10)
     AML(I,5)=AML(I,5)+L(I)*AMLJ(9)-AMLJ(11)-QT(J)*XC(J)
     AML(I,9)=AML(I,9)+AMLJ(9)
     AML(I,10)=AML(I,10)+AMLJ(10)
     AML(I,11)=AML(I,11)+AMLJ(11)
100 CONTINUE
    RETURN
    END
```

```

SUBROUTINE CURMT(L,I,E,EM,G,GM,IX,IY,IXI,IYI,YM,FI,NP,ITS,SM,
INCM,AML,ICCN,ICE,AXI,IZI)
REAL L(20),IX(20),IY(20),IXI(13),IYI(13),NT(20),MH(13),MV(13)
1,IZI(13)
DIMENSION YM(13),FI(13),NF(20),ITS(20),SM(12,12),NCM(20),BT(13),
IBF(13),AML(20,12),ZL10(13),ZL11(13),ZL9(13),XM(13),Z10(13),Z11(13)
1,Z9(13),DL(12),AMLJ(12),ICCN(20),EM(20),GM(20),AXI(13)

```

SUBRTINA PARA CALCULO DAS AGES DE ENCASTAMENTO EM ELEMENTOS
DE EIXO CURVO DE SECCAO CONSTANTE OU VARIAVEL SUJEITOS A
MOMENTO DISTRIBUIDO UNIFORME

```

NCMI=NCM(I)
NPI=NP(I)
H=L(I)/(NPI-1)
READ(12,I)(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
READ(3,I)SM
IF(ICE)3,4,3
3 E=EM(I)
G=GM(I)
4 IF(ITS(I))15,25,15
25 DO 10 K=1,NPI
IXI(K)=IX(I)
10 IYI(K)=IY(I)
GO TO 20
15 READ(1,I)(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
1(IZI(K),K=1,NPI)
-----
20 READ(8,1)(MT(J),J=1,NCMI)
WRITE(5,2)(MT(J),J=1,NCMI)
1 FORMAT(F10.0)
2 FORMAT(//10X,F15.3)
DO 60 J=1,NCMI
DO 5 K=1,NPI
KI=K-1
XM(K)=KI*H
BT(K)=- (L(I)-XM(K))*SIN(FI(K))-YM(K)*CCS(FI(K))
BF(K)=YM(K)*SIN(FI(K))- (L(I)-XM(K))*CCS(FI(K))
MH(K)=MT(J)*(L(I)-XM(K))
5 MV(K)=-MT(J)*YM(K)
DO 30 K=1,NPI
ZL10(K)=(MH(K)*COS(FI(K))+MV(K)*SIN(FI(K)))/(G*IXI(K))- (-MH(K)*
1SIN(FI(K))+MV(K)*CCS(FI(K)))*SIN(FI(K))/(E*IYI(K)*COS(FI(K)))
ZL11(K)=(MH(K)*COS(FI(K))+MV(K)*SIN(FI(K)))*SIN(FI(K))/(G*IXI(K)*
1COS(FI(K)))+ (-MH(K)*SIN(FI(K))+MV(K)*CCS(FI(K)))/(E*IYI(K))

```

```

30 ZLS(K)=- (MH(K)*CCS(FI(K))+MV(K)*SIN(FI(K)))*BT(K)/(C*IXI(K)*
  ICOS(FI(K)))- (-MH(K)*SIN(FI(K))+MV(K)*COS(FI(K)))*BF(K)/(E*IYI(K)
  I*CCS(FI(K)))
  CALL QSF(H,ZLS,ZS,NPI)
  CALL GSF(H,ZL10,Z10,NPI)
  CALL GSF(H,ZL11,Z11,NPI)
  DL(9)=Z9(NPI)
  DL(10)=Z10(NPI)
  DL(11)=Z11(NPI)
  IF(ICGNC(I))16,17,17
16 MH(I)=-MH(I)
17 CONTINUE
  DO 50 KJ=9,11
50 AMLJ(KI)=AMLJ(KI)+SM(KI,KJ)*(-DL(KJ))
  AML(1,4)=AML(1,4)-AMLJ(10)-MH(4)
  AML(1,5)=AML(1,5)-AMLJ(11)
  AML(1,3)=AML(1,3)-AMLJ(9)
  AML(1,10)=AML(1,10)+AMLJ(10)
  AML(1,11)=AML(1,11)+AMLJ(11)
  AML(1,9)=AML(1,9)+AMLJ(9)
60 CONTINUE
  WRITE(5,100)AML(1,3),AML(1,4),AML(1,5),AML(1,9),AML(1,10),
  IAML(1,11)
100 FORMAT(//10X,6F10.3)
  RETURN
  END

```

SUBROUTINE CURV(L,I,E,G,EM,GM,AX,AXI,LZ,IZI,IX,IXI,IY,IYI,YM,FI,
INP,ITS,ICE,SM,NCC,AML)

SUBROUTINE PARA CALCULO DAS ACOES DE ENCASTAMENTO NAS EXTREMIDADES
DE EIXOS CURVOS DE SECCAO CONSTANTE CU VARIAVEL SUJEITOS A
CARGAS CONCENTRADAS

```

REAL L(20),IX(20),IY(20),IZ(20),IXI(13),IYI(13),IZI(13)
DIMENSION AX(20),AXI(13),XM(13),YM(13),FI(13),NP(20),EM(20),GM(20)
1,YP(20),DA(20),PX(20),PY(20),PZ(20),ITS(20),ZL7(13),ZL8(13),
IZL9(13),ZL10(13),ZL11(13),ZL12(13),Z7(13),Z8(13),Z9(13),Z10(13),
IZ11(13),Z12(13),GL(12),AML(20,12),NCC(20),SM(12,12),AMLJ(12)
NCCI=NCC(I)
DO 100 J=1,12
  AML(I,J)=0.
100 CONTINUE
  NPI=NP(I)
  H=L(I)/(NPI-1)
  READ(12,I)(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
  READ(3,I)SM
  IF(ICE)3,5,3
3  E=EM(I)
  G=GM(I)
5  IF(ITS(I))30,10,30
10  DO 20 K=1,NPI
  AXI(K)=AX(I)
  IXI(K)=IX(I)
  IYI(K)=IY(I)
20  IZI(K)=IZ(I)
  GO TO 40
30  READ(1,I)(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
1  (IZI(K),K=1,NPI)
40  READ(8,1)(PX(J),PY(J),PZ(J),DA(J),YF(J),J=1,NCCI)
1  FORMAT(5F10.3)
  WRITE(5,1)(FX(J),PY(J),PZ(J),DA(J),YP(J),J=1,NCCI)
  DO 80 J=1,NCCI
  KP1=DA(J)/H
  KP1=KP1+1
  KP2=KP1+1
  DO 50 K=KP2,NPI
  ZL7(K)=0
  ZL8(K)=0
  ZL9(K)=0
  ZL10(K)=0
  ZL11(K)=0

```

```

50 ZL12(K)=0
   DO 60 K=1,KF1
     JK=K-1
     XM(K)=JK#H
     ZL7(K)=(PY(J)*SIN(FI(K))+PX(J)*COS(FI(K)))/(E*AXI(K))+((PY(J)*(DA
1(J)-XM(K))+PX(J)*(YM(K)-YF(J)))*YM(K))/(E*IZI(K)*COS(FI(K)))
     ZL8(K)=((PY(J)*SIN(FI(K))+PX(J)*CCS(FI(K)))*SIN(FI(K)))/(E*AXI(K)
1*COS(FI(K)))+((PY(J)*(DA(J)-XM(K))+PX(J)*(YM(K)-YF(J)))*(L(1)-
1XM(K)))/(E*IZI(K)*CCS(FI(K)))
     ZL12(K)=(PY(J)*(DA(J)-XM(K))+PX(J)*(YM(K)-YF(J)))/(E*IZI(K)*
1CCS(FI(K)))
     ZL9(K)=((PZ(J)*(YM(K)-YF(J))*COS(FI(K))+PZ(J)*(DA(J)-XM(K))*SIN
1(FI(K)))*((XM(K)-L(1))*SIN(FI(K))-YM(K)*COS(FI(K))))/(G*IXI(K)*
1COS(FI(K)))+((PZ(J)*(DA(J)-XM(K))*CCS(FI(K))-PZ(J)*(YM(K)-YF(J))
1*SIN(FI(K)))*((XM(K)-L(1))*COS(FI(K))+YM(K)*SIN(FI(K))))/
1(E*IYI(K)*CCS(FI(K)))
     ZL10(K)=(PZ(J)*(YM(K)-YF(J))*COS(FI(K))+PZ(J)*(DA(J)-XM(K))*
1SIN(FI(K)))/(G*IXI(K))+((PZ(J)*(DA(J)-XM(K))*COS(FI(K))-PZ(J)*
1(YM(K)-YF(J))*SIN(FI(K)))*(-SIN(FI(K))))/(E*IYI(K)*COS(FI(K)))
     ZL11(K)=((PZ(J)*(YM(K)-YF(J))*CCS(FI(K))+PZ(J)*(DA(J)-XM(K))
1*SIN(FI(K)))*SIN(FI(K)))/(G*IXI(K)*CCS(FI(K)))+(PZ(J)*(DA(J)
1-XM(K))*CCS(FI(K))-PZ(J)*(YM(K)-YF(J))*SIN(FI(K)))/(E*IYI(K))
60 CONTINUE
   CALL QSF(H,ZL7,Z7,NF1)
   CALL QSF(H,ZL8,Z8,NF1)
   CALL QSF(H,ZL9,Z9,NF1)
   CALL QSF(H,ZL10,Z10,NF1)
   CALL QSF(H,ZL11,Z11,NF1)
   CALL QSF(H,ZL12,Z12,NF1)
   DL(7)=Z7(NF1)
   DL(8)=Z8(NF1)
   DL(9)=Z9(NF1)
   DL(10)=Z10(NF1)
   DL(11)=Z11(NF1)
   DL(12)=Z12(NF1)
   DO 95 KI=7,12
     AMLJ(KI)=0.
     DO 70 KJ=7,12
       IF(PZ(I))70,75,70
75 AMLJ(9)=0.
       AMLJ(10)=0.
       AMLJ(11)=0.
70 AMLJ(KI)=AMLJ(KI)+SM(KI,KJ)*(-DL(KJ))
95 CONTINUE
   AML(I,1)=AML(I,1)-AMLJ(7)+PX(J)

```

```

AML(I,2)=AML(I,2)+AMLJ(8)+FY(J)
AML(I,3)=AML(I,3)-AMLJ(9)+PZ(J)
AML(I,4)=AML(I,4)-AMLJ(10) +PZ(J)*YP(J)
AML(I,5)=AML(I,5)-AMLJ(11) +AMLJ(9)*L(I)-PZ(J)*DA(J)
AML(I,6)=AML(I,6)-AMLJ(12) +AMLJ(8)*L(I)+PY(J)*DA(J)-PX(J)*YP(J)
AML(I,7)=AML(I,7)+AMLJ(7)
AML(I,8)=AML(I,8)+AMLJ(8)
AML(I,9)=AML(I,9)+AMLJ(9)
AML(I,10)=AML(I,10)+AMLJ(10)
AML(I,11)=AML(I,11)+AMLJ(11)
AML(I,12)=AML(I,12)+AMLJ(12)
WRITE(5,85)
85 FORMAT(/,' ESFORCGS NA EXTREMIDADE DE EIXO CURVO',/)
WRITE(5,90)(AML(I,JK),JK=1,12)
90 FORMAT(12E10.2)
80 CONTINUE
RETURN
END

```


SUBROUTINE RICUR(L,I,E,G,EM,GM,AX,AXI,IX,IXI,IY,IYI,IZ,IZI,YM,FI,
INP,ITS,ICE,SM,XM)

SUBROUTINE PARA CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE ELEMENTOS CURVOS
DE SECCAO CONSTANTE OU VARIAVEL

```

REAL L(20),IX(20),IY(20),IZ(20),IXI(13),IYI(13),IZI(13)
DIMENSION AX(20),AXI(13),ITS(20),XM(13),YM(13),FI(13),NP(20),
IEM(20),GM(20),Z1(13),Z2(13),Z3(13),Z4(13),Z5(13),Z6(13),Z7(13),
Z8(13),Z9(13),Z10(13),Z11(13),Z12(13),ZA1(13),ZA2(13),ZA3(13),
ZA4(13),ZA5(13),ZA6(13),ZA7(13),ZA8(13),ZA9(13),ZA10(13),ZA11(13),
ZA12(13),FM(120,6),SM(12,12)
DO 15 IT=1,12
DO 15 JT=1,12
SM(IT,JT)=0.
15 CCNTINUE
DO 25 IT=1,6
DO 25 JT=1,6
FM(IT,JT)=0.
25 CONTINUE
NPI=NP(I)
H=L(I)/(NPI-1)
READ(12'I')(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
IF(ICE)3,5,3
3 G=GM(I)
E=EM(I)
5 DO 10 K=1,NPI
JK=K-1
10 XM(K)=JK#H
WRITE(5,45)
45 FORMAT(/,' COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO',/)
DO 55 K=1,NPI
WRITE(5,35)K,XM(K),K,YM(K),K,FI(K)
35 FORMAT(' XM(',I2,')=',F7.3,10X,' YM(',I2,')=',F7.3,10X,' FI(',
I12,')=',F7.3)
55 CCNTINUE
IF(ITS(I))40,20,40
20 DO 30 K=1,NPI
AXI(K)=AX(I)
IXI(K)=IX(I)
IYI(K)=IY(I)
30 IZI(K)=IZ(I)
GO TO 50
40 READ(1'I')(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
I(IZI(K),K=1,NPI)

```

```

WRITE(5,95)
95 FORMAT(' CARACTERISTICAS DOS MEMBROS CURVOS COM INERCIA VARIÁVEL')
DO 75 K=1,NPI
  WRITE(5,65)K,AXI(K),K,IXI(K),K,IYI(K),K,IZI(K)
65 FORMAT(' AX(',I2,')=',F7.3,10X,' IX(',I2,')=',F7.3,10X,' IY(',I2,
1')=',F7.3,10X,' IZ(',I2,')=',F7.3)
  IF(AXI(K))17,16,17
16 AXI(K)=0.000001
  WRITE(5,24)I,K
24 FORMAT(/,' G MEMBRU NG.',I3,' TEM AX(',I2,')=0.')
17 IF(IZI(K))19,18,19
18 IZI(K)=0.000001
  WRITE(5,28)I,K
28 FORMAT(/,' C MEMBRE NG.',I3,' TEM IZ(',I2,')=0.')
19 IF(IYI(K))21,29,21
29 IYI(K)=0.000001
  WRITE(5,26)I,K
26 FORMAT(/,' G MEMBRU NC.',I3,' TEM IY(',I2,')=0.')
21 IF(IXI(K))23,22,23
22 IXI(K)=0.000001
  WRITE(5,27)I,K
27 FORMAT(/,' G MEMBRE NC.',I3,' TEM IX(',I2,')=0.')
23 CONTINUE
75 CONTINUE
50 DO 60 K=1,NPI
  Z1(K)=COS(FI(K))/(E*AXI(K))+(YM(K)**2)/(E*IZI(K)*COS(FI(K)))
  Z2(K)=SIN(FI(K))/(E*AXI(K))+((L(I)-XM(K))*YM(K))/(E*IZI(K)*COS(FI
1(K)))
  Z3(K)=YM(K)/(E*IZI(K)*COS(FI(K)))
  Z4(K)=SIN(FI(K))**2/(E*AXI(K)*COS(FI(K)))+(L(I)-XM(K))**2/(E*IZI(K
1)*COS(FI(K)))
  Z5(K)=(L(I)-XM(K))/(E*IZI(K)*COS(FI(K)))
  Z6(K)=((L(I)-XM(K))*SIN(FI(K))+YM(K)*COS(FI(K)))**2/(G*IXI(K)
1*COS(FI(K)))+(XM(K)-L(I))*COS(FI(K))+(YM(K)*SIN(FI(K)))**2)
1/(E*IYI(K)*COS(FI(K)))
  Z7(K)=((XM(K)-L(I))*SIN(FI(K))-YM(K)*COS(FI(K)))/(G*IXI(K))+((
1XM(K)-L(I))*COS(FI(K))+YM(K)*SIN(FI(K)))*(-SIN(FI(K)))
1/(E*IYI(K)*COS(FI(K)))
  Z8(K)=(((XM(K)-L(I))*SIN(FI(K))-YM(K)*COS(FI(K)))*SIN(FI(K)))/(G*
1IXI(K)*COS(FI(K)))+(XM(K)-L(I))*COS(FI(K))+YM(K)*SIN(FI(K))
1)/(E*IYI(K))
  Z9(K)=COS(FI(K))/(G*IXI(K))+(SIN(FI(K))**2)/(E*IYI(K)*COS(FI(K)))
  Z10(K)=SIN(FI(K))/(G*IXI(K))-SIN(FI(K))/(E*IYI(K))
  Z11(K)=(SIN(FI(K))**2)/(G*IXI(K)*COS(FI(K))+COS(FI(K))/(E*IYI(K))
  Z12(K)=1/(E*IZI(K)*COS(FI(K)))

```

60 CONTINUE

```

CALL QSF(H,Z1,ZA1,NFI)
CALL QSF(H,Z2,ZA2,NFI)
CALL QSF(H,Z3,ZA3,NFI)
CALL QSF(H,Z4,ZA4,NFI)
CALL QSF(H,Z5,ZA5,NFI)
CALL QSF(H,Z6,ZA6,NFI)
CALL QSF(H,Z7,ZA7,NFI)
CALL QSF(H,Z8,ZA8,NFI)
CALL QSF(H,Z9,ZA9,NFI)
CALL QSF(H,Z10,ZA10,NFI)
CALL QSF(H,Z11,ZA11,NFI)
CALL QSF(H,Z12,ZA12,NFI)

```

```

FM(1,1)=ZA1(NFI)
FM(1,2)=ZA2(NFI)
FM(1,6)=ZA3(NFI)
FM(2,2)=ZA4(NFI)
FM(2,6)=ZA5(NFI)
FM(3,3)=ZA6(NFI)
FM(3,4)=ZA7(NFI)
FM(3,5)=ZA8(NFI)
FM(4,4)=ZA9(NFI)
FM(4,5)=ZA10(NFI)
FM(5,5)=ZA11(NFI)
FM(6,6)=ZA12(NFI)
FM(2,1)=FM(1,2)

```

```

FM(6,2)=FM(2,6)
FM(6,1)=FM(1,6)
FM(4,3)=FM(3,4)
FM(5,3)=FM(3,5)
FM(5,4)=FM(4,5)

```

MF=6

CALL INVER(FM,MF)

DO 70 J=7,12

JT=J-6

DO 70 K=7,J

KT=K-6

70 SM(J,K)=FM(JT,KT)

SM(1,1)=SM(7,7)

SM(2,1)=SM(8,7)

SM(2,2)=SM(8,8)

SM(3,3)=SM(9,9)

SM(4,3)=SM(10,9)

SM(4,4)=SM(10,10)

SM(5,3)=SM(11,9)-SM(9,9)*L(1)

```

SM(5,4)=SM(11,10)-SM(10,9)*L(I)
SM(5,5)=SM(11,11)-2*SM(11,9)*L(I)+SM(9,9)*L(I)**2
SM(6,1)=SM(8,7)*L(I)+SM(12,7)
SM(6,2)=SM(12,8)+SM(8,8)*L(I)
SM(6,6)=SM(12,12)+SM(8,8)*L(I)**2+2*SM(12,8)*L(I)
SM(7,1)=-SM(7,7)
SM(7,2)=-SM(8,7)
SM(7,6)=- (SM(8,7)*L(I)+SM(12,7))
SM(8,1)=-SM(8,7)
SM(8,2)=-SM(8,8)
SM(8,6)=- (SM(8,8)*L(I)+SM(12,8))
SM(9,3)=-SM(9,9)
SM(9,4)=-SM(10,9)
SM(9,5)=-SM(11,9)+SM(9,9)*L(I)
SM(10,3)=-SM(10,9)
SM(10,4)=-SM(10,10)
SM(10,5)=-SM(11,10)+SM(10,9)*L(I)
SM(11,3)=-SM(11,9)
SM(11,4)=-SM(11,10)
SM(11,5)=-SM(11,11)+SM(11,9)*L(I)
SM(12,1)=-SM(12,7)
SM(12,2)=-SM(12,8)
SM(12,6)=- (SM(12,8)*L(I)+SM(12,12))
DO 80 J=1,12
DO 80 K=1,J
80 SM(K,J)=SM(J,K)
WRITE(3,I)SM
RETURN
END

```

```

INTEGER AA,BB,RL(120),CRL(120)
REAL L(20),IX(20),IY(20),IZ(20),IXI(13),IYI(13),IZI(13)
DIMENSION X(20),Y(20),Z(20),R(20,9),JJ(20),JK(20),AX(20),SM(12,12)
1,S(120,114),A(120),AML(20,12),ICCA(20),IL(12),LB(20,12),ICLB(20),
1AXI(13),YM(13),FI(13),EM(20),GM(20),NP(20),ITS(20),ITM(20),IFOR(20
1),NRAD(20),NCM(20),AM(12),AMS(20,12),NCC(20),NGDY(20),NCDX(20),
1NCDZT(20),ACDZP(20),1CCNC(20),XM(13)
DEFINE FILE 1(20,406,U,L1),12(20,208,U,L2),3(20,288,U,L3)
DEFINE FILE 10(20,288,U,LL)
COMMON AE(120),AC(120),SMR(12,12),AR(120),D(120)

```

DADOS SOBRE A ESTRUTURA

```

101 WRITE(5,102)
102 FORMAT(1H1,////,11X,80('*'),/,11X,'*',78X,'*',/,11X,'*',19X,'ANAL
1LISE DE ESTRUTURAS RETICULADAS ESPACIAIS',16X,'*',/,11X,'*',19X,'CO
1M BARRAS DE EIXO CLRVG E SECAO VARIAVEL',18X,'*',/,11X,'*',78X,'*'
1,/,11X,'*',78X,'*',/,11X,'*',30X,'COPPE - UFRJ - 1973',29X,'*',/,1
11X,'*',19X 'MARIA DEL PILAR AUREA MANUELA RODRIGUEZ PAZOS',14X,'*'
1,/,11X,'*',78X,'*',/,11X,80('*'),/)
  READ(8,103)
  READ(8,104)
103 FORMAT('
104 FORMAT('
  READ(8,105)NE,ICE
105 FORMAT(2I5)
  IF(NE)600,600,106
106 READ(8,107)M,NJ,E,G
107 FORMAT(2I5,2F10.0)
  WRITE(5,108)NE
108 FORMAT(//,40X,'ESTRUTURA NUMERO',15,/,1X,99('='),//)
  WRITE(5,103)
  WRITE(5,104)
  DO 110 I=1,M
  ICLB(I)=0
  DO 109 J=1,12
  LB(I,J)=0
109 CONTINUE
  DO 110 J=1,9
  R(I,J)=0.0
110 CONTINUE
  I4=6*NJ
  DO 120 I=1,I4
  RL(I)=0
  DO 120 J=1,I4
120 S(I,J)=0.
  IF(E)122,122,123
122 E=210000.
123 IF(G)124,124,125
124 G=780000.

```

```

125 DO 126 J=1,NJ
126 READ(8,127)X(J),Y(J),Z(J),FL(6*J-5),RL(6*J-4),RL(6*J-3),RL(6*J-2),
  1RL(6*J-1),RL(6*J)
127 FORMAT(3F10.0,6I5)
  PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS
  READ(8,128)MRC,MRV,MCC,PCV,MLB,NLE
128 FORMAT(6I5)

  GRAUS DE LIBERDADE, NUM. DE RESTRICÇÕES, NUM. DE JUNTAS RESTRINGIDAS

  I1=0
  NR=0
  NRJ=0
  DO 132 I=1,NJ
  K=6*I
  J=6*I-5
  DO 130 IC=J,K
  IF(RL(IC))129,130,129
129 NR=NR+1
  I1=I1+1
130 CONTINUE
  IF(I1)131,132,131
131 NRJ=NRJ+1
132 I1=0
  N=6*NJ-NR
  IF(ICE)143,140,143

```

MODULOS DE ELASTICIDADE LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

```

  IF(ICE)143,140,143
140 WRITE(5,141)
141 FORMAT(/,2X,' MODULOS DE ELASTICIDADE IGUAIS')
  WRITE(5,142)M,NJ,E,G,N,NR,NRJ
142 FORMAT(/,3X,' INFORMACOES GERAIS SOBRE A ESTRUTURA (VALORES DADOS)
  1  CALCULADOS*/3X,' M  NJ  MODULO E  MODULO G',27X,' N  NR
  1 NRJ*/3X,12,15,F11.0,F10.0,25X,13,2I4)
  GO TO 147
143 WRITE(5,144)
144 FORMAT(/,2X,' MODULOS DE ELASTICIDADE DIFERENTES')
  READ(5,145)(I,EM(I),GM(I),IC=1,M)
145 FORMAT(15,2F10.0)
  WRITE(5,146)M,NJ,N,NR,NRJ
146 FORMAT(/,3X,' INFORMACOES GERAIS SOBRE A ESTRUTURA (VALORES DADOS)
  1  CALCULADOS*/3X,' M  NJ  ',7X,' N  NR  NRJ*/3X,12,15,7X,13,
  12I4)

  COORDENADAS DAS JUNTAS

147 WRITE(5,148)
148 FORMAT(/,44X,' NATUREZA DAS JUNTAS DE APOIO*/3X,' C O R D E N A D
  I A S  D A S  J U N T A S',9X,' T R A N S L A C A Ç Ã O',6X,' R O T A C A Ç Ã O',4X,' J',8X,' X(J)',6X
  2,' Y(J)',6X,' Z(J)',9X,' X  Y  Z',6X,' X  Y  Z')

```

```

DO 150 J=1,NJ
150 WRITE(5,160)J,X(J),Y(J),Z(J),RL(6*J-5),RL(6*J-4),RL(6*J-3),RL(6*J-
12),RL(6*J-1),RL(6*J)
160 FORMAT(2X,I3,F12.2,F10.2,F10.2,I10,I4,I5,I7,I3,I3)
WRITE(5,161)
161 FORMAT(/,' PROPRIETADES DOS ELEMENTOS'//2X,'MRC',2X,'MRV',2X,'MCC'
1,2X,'MCV',2X,'MLB',2X,'MLE',/)
WRITE(5,128)MRC,MRV,MCC,MCV,MLB,MLE
DO 165 I=1,M
NP(I)=0
ITS(I)=0
ITM(I)=0
IFCR(I)=0
165 NRAD(I)=0
NV=MRV+MCC+MCV
IF(NV)170,173,170
170 DO 171 J=1,NV
READ(8,172)I,ITS(I),ITM(I),NP(I),IFCR(I),NRAD(I)
171 WRITE(5,172)I,ITS(I),ITM(I),NP(I),IFCR(I),NRAD(I)
172 FORMAT(6I5)

```

C
C
C
FORMACAO DAS MATRIZES DE ROTACAO

```

173 DO 198 I=1,M
IF(ITS(I))176,174,176
174 READ(8,175)JJ(I),JK(I),AX(I),IX(I),IY(I),IZ(I),AA
175 FORMAT(2I5,4F10.2,I5)
-----
GO TO 178
176 READ(8,177)JJ(I),JK(I),AA
177 FORMAT(3I5)
178 J=JK(I)
K=JJ(I)
VA=X(J)-X(K)
VB=Y(J)-Y(K)
VC=Z(J)-Z(K)
L(I)=SQRT(VA**2+VB**2+VC**2)
CX=VA/L(I)
CY=VB/L(I)
CZ=VC/L(I)
Q=SQRT(CX**2+CZ**2)
IF(AA)191,191,179
179 READ(8,190)XP,YP,ZP
XPS=XP-X(K)
YPS=YP-Y(K)
ZPS=ZP-Z(K)

```

```

190 FORMAT(3F10.2)
191 IF(Q=0.001)192,196,196
192 R(1,2)=CY
      R(1,4)=-CY
      R(1,9)=1.0
      IF(AA)198,198,195
195 SQ=SQRT(XPS**2+ZPS**2)
      COSA=-XPS*CY/SQ
      SINA=ZPS/SQ
      R(1,4)=-CY*CCSA
      R(1,6)=SINA
      R(1,7)=CY*SINA
      R(1,9)=CCSA
      GO TC 198
196 R(1,1)=CX
      R(1,2)=CY
      R(1,3)=CZ
      R(1,4)=-CX*CY/Q
      R(1,5)=C
      R(1,6)=-CY*CZ/Q
      R(1,7)=-CZ/Q
      R(1,9)=CX/Q
      IF(AA)198,198,197
197 YPG=R(1,4)*XPS+R(1,5)*YPS+R(1,6)*ZPS
      ZPG=R(1,7)*XPS+R(1,8)*YPS+R(1,9)*ZPS
      SQ=SQRT(YPG**2+ZPG**2)
-----
      COSA=YPG/SQ
      SINA=ZPG/SQ
      R(1,4)=(-CX*CY*CCSA-CZ*SINA)/Q
      R(1,5)=C*COSA
      R(1,6)=(-CY*CZ*CCSA+CX*SINA)/C
      R(1,7)=(CX*CY*SINA-CZ*CCSA)/Q
      R(1,8)=-C*SINA
      R(1,9)=(CY*CZ*SINA+CX*CCSA)/C
198 CONTINUE
C
C LISTA CUMULATIVA DAS FESTRICCES
C
      CRL(1)=RL(1)
      I=6*NJ
C
      DO 200 K=2,I
200 CRL(K)=CRL(K-1)+RL(K)

```


C
 C
 C
 CARACTERISTICAS DOS MEMBROS CCM SECCAO VARIABEL

L1=1

L2=1

L3=1

WRITE(5,199)

 199 FORMAT(/3X,'ESPECIFICACAO',8X,'CARACTERISTICAS',8X,
 1'ORIENTACAO',5X,'CONFRIMENTO'/3X,'M',3X,'JJ',3X,'JK',5X,'
 2AX',7X,'IX',8X,'IY',8X,'IZ',6X,'AA',4X,'CX',6X,'CY',6X,'CZ',9X,'L
 3')

DO 200 I=1,N

NPI=NP(I)

DO 201 K=1,NPI

YM(K)=0.

FI(K)=0.

201 CONTINUE

IF(ITS(I))206,202,206

202 IF(ICE)205,203,205

203 WRITE(5,13)I,JJ(I),JK(I),AX(I),IX(I),IY(I),IZ(I),AA,CX,CY,CZ,L(I)

13 FORMAT(2X,I2,3X,I2,3X,I2,3X,F6.3,2X,F8.5,2X,F8.5,2X,F8.5,4X,I1,2X,

1F6.3,2X,F6.3,2X,F6.3,3X,F6.2,3X,E14.4)

GO TO 221

205 WRITE(5,13)I,JJ(I),JK(I),AX(I),IX(I),IY(I),IZ(I),AA,CX,CY,CZ,L(I),

1EM(I)

GO TO 221

206 IF(ICE)209,207,209

207 WRITE(5,208)I,JJ(I),JK(I),AA,CX,CY,CZ,L(I)

208 FORMAT(2X,I2,3X,I2,3X,I2,2X,'VARIABEL',1X,'VARIABEL',2X,'VARIABEL'

1,2X,'VARIABEL',4X,I1,2X,F6.3,2X,F6.3,2X,F6.3,3X,F6.2,3X,E14.4)

GO TO 210

209 WRITE(5,208)I,JJ(I),JK(I),AA,CX,CY,CZ,L(I),EM(I)

210 READ(8,220)(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),

1(IZI(K),K=1,NPI)

220 FORMAT(8F10.3)

WRITE(1'I)(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),

1(IZI(K),K=1,NPI)

221 IF(ITM(I))222,230,222

222 IF(IFOR(I))223,225,223

223 READ(8,224)F,GN,GC

224 FORMAT(3F10.3)

CALL FORMA(L,I,F,GN,GC,NP,IFCF,YM,FI,XM)

GO TO 229

225 READ(8,226)(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)

226 FORMAT(8F10.3)

```

      IF(NKAD(I))229,227,229
227 DO 228 K=1,NPI
228 FI(K)=FI(K)/180.*3.14159
229 WRITE(12,I)(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
230 CONTINUE

```

INFORMACOES SOBRE OS MEMBROS LIBERACCS

```

      IF(MLB)240,270,240
240 WRITE(5,241)
241 FORMAT(/3X,'L I B E R A C O E S      NAS EXTREMIDADES DOS MEMBROS'
1/9X,'EXTREMIDADE INICIAL',8X,'EXTREMIDADE FINAL'/3X,'MEMB  FX FY
2 FZ  MX MY MZ',8X,'FX FY FZ  MX MY MZ')
      DO 243 IC=1,MLB
      READ(8,242)I,(LB(I,K),K=1,12)
242 FORMAT(13I5)
      ICLB(I)=I
243 WRITE(5,244)I,(LB(I,K),K=1,12)
244 FORMAT(3X,2I4,2I3,I5,2I3,1I0,2I3,I5,2I3)

```

TESTES DE INSTABILIDADE DEVIDO A LIBERACCES

```

      BB=0
      DO 250 I=1,M
      IF(ICLB(I))245,250,245
245 DO 249 IC=1,4
      IF(LB(I,IC))246,249,246
246 IF(LB(I,IC+6))247,249,247
247 WRITE(5,248)I,IC
248 FORMAT(/3X,'C MEMBRO NUMERO',I5,5X,'ESTA INSTAVEL NA DIRECAO',I5)
      BB=10
249 CONTINUE
250 CONTINUE
      IF(BB)600,270,600
270 LL=1

```

GERACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL

```

      DO 310 I=1,M
      NPI=NP(I)
      DO 274 J=1,12
      IF(J-6)271,271,272
271 JC=6*JJ(I)-(6-J)
      GO TO 273
272 JC=6*JK(I)-(12-J)

```

```

273 IL(J)=JC
274 CCNTINCE
    DO 280 IT=1,12
    J=IL(IT)
    IF(RL(J))276,275,27c
275 IL(IT)=IL(IT)-CRL(J)
    GO TO 280
276 IL(IT)=N+CRL(J)
280 CONTINUE
    IF(ITM(I))281,282,281
281 CALL RICUR(L,I,E,G,EM,GM,AX,AXI,IX,IXI,IY,IYI,IZ,IZI,YM,FI,NP,ITS,
    IICE,SM,XM)
    GO TO 285
282 IF(ITS(I))284,284,283
283 READ(10,I)(AXI(K),K=1,NPI),(IXI(K),K=1,NPI),(IYI(K),K=1,NPI),
    I(IZI(K),K=1,NPI)
    CALL RIREV(I,L,SM,AXI,IXI,IYI,IZI,NPI,E,G)
    GO TO 285
284 CALL RIREC(I,L,SM,E,G,AX,IX,IY,IZ)
285 IF(ICLB(I))291,291,286
286 DO 290 IC=1,12
    IF(LB(I,IC))290,290,287
287 DO 288 K=1,12
    DO 288 J=1,12
    SMR(K,J)=SM(K,J)-SA(K,IC)*SM(IC,J)/SM(IC,IC)
288 CCNTINCE
-----
    DO 289 K=1,12
    DO 289 J=1,12
289 SM(K,J)=SMR(K,J)
290 CCNTINCE
291 DO 300 K=1,4
    I1=3*K-2
    I2=3*K-1
    I3=3*K
    DO 300 J=1,12
    SMR(J,I1)=SM(J,I1)*R(I,1)+SM(J,I2)*R(I,4)+SM(J,I3)*R(I,7)
    SMR(J,I2)=SM(J,I1)*R(I,2)+SM(J,I2)*R(I,5)+SM(J,I3)*R(I,8)
    SMR(J,I3)=SM(J,I1)*R(I,3)+SM(J,I2)*R(I,6)+SM(J,I3)*R(I,9)
300 CONTINUE
    WRITE(10,LL)SMR
    DO 302 J=1,4
    I1=3*J-2
    I2=3*J-1
    I3=3*J

```

```

DO 302 K=1,12
SM(11,K)= R(I,1)*SMR(11,K)+R(I,4)*SMR(12,K)+R(I,7)*SMR(13,K)
SM(12,K)= R(I,2)*SMR(11,K)+R(I,5)*SMR(12,K)+R(I,8)*SMR(13,K)
SM(13,K)= R(I,3)*SMR(11,K)+R(I,6)*SMR(12,K)+R(I,9)*SMR(13,K)
302 CONTINUE
DO 310 IT=1,12
J=IL(IT)
IF(IT-6)303,303,304
303 I1=6*JJ(I)-(6-IT)
GO TO 305
304 I1=6*JK(I)-(12-IT)
305 IF(RL(I1))310,306,310
306 DO 307 IK=1,12
K=1L(IK)
307 S(K,J)=S(K,J)+SM(IK,IT)
310 CONTINUE
IF(NLE)328,328,321
321 WRITE(5,322)
322 FORMAT(/,3X,'COEFICIENTES DE RIGIDEZ DOS APOIGS ELA
1STICGS',/,4X,'J DIREC X DIREC Y DIREC Z ROTAC X ROTAC Y R
IGTAC Z',/)
DO 326 IC=1,NLE
READ(8,323)J,(A(I),I=1,6)
323 FORMAT(15,6F10.0)
DO 325 I=1,6
J1=6*J-(6-I)
IF(RL(J1))325,324,325
324 J1=J1-CRL(J1)
S(J1,J1)=S(J1,J1)+A(I)
325 CONTINUE
326 WRITE(5,327)J,(A(I),I=1,6)
327 FORMAT(3X,12,3F9.1,3X,3F9.1)
328 CONTINUE
C
C INVERSÃO DA SUBMATRIZ SN
C
IF(N)312,314,312
312 CONTINUE
CALL INVER(S,N)
314 CONTINUE
C
C PROCESSAMENTO DOS CARREGAMENTOS
C
READ(8,316)NCA
316 FORMAT(15)

```

```

DO 540 ITCJ=1,NCA
DO 340 I=1,M
DO 340 J=1,12
AM(J)=0.
AML(I,J)=0.
AMS(I,J)=0.
340 CONTINUE
DO 345 I=1,14
A(I)=0.
345 CONTINUE
READ(8,346)LDE,NLJ,MLR,MLC
346 FORMAT(16I5)
WRITE(5,348)ITCJ,LDE,NLJ,MLR,MLC
348 FORMAT(//3X,'C A R R E G A M E N T O',19X,'N U M E R O',15/3X,58(
1'-')//3X,'INFORMACAO SOBRE C CARREGAMENTO'/3X,'LDE NLJ MLR MLC '/
13X,13,3I4)
-----
ESFORÇOS APLICADOS AS JUNTAS
IF(NLJ)357,357,352
352 WRITE(5,353)
353 FORMAT(/3X,'ESFORÇOS APLICADOS SOBRE AS JUNTAS SEGUNDO OS EIXOS D
LA ESTRUTURA'/3X,'JUNTA',3X,'FORÇAS SEGUNDO OS 3 EIXOS MOMENTOS
2SEGUNDO OS 3 EIXOS'/7X,'J',5X,'FX',7X,'FY',7X,'FZ',10X,'MX',7X,'MY
3',7X,'MZ')
DO 355 I=1,NLJ
READ(8,354)K,A(6*K-5),A(6*K-4),A(6*K-3),A(6*K-2),A(6*K-1),A(6*K)
354 FORMAT(15,6F10.1)
355 WRITE(5,356)K,A(6*K-5),A(6*K-4),A(6*K-3),A(6*K-2),A(6*K-1),A(6*K)
356 FORMAT(6X,12,2X,F6.1,2X,F6.1,2X,F6.1,6X,F6.1,3X,F6.1,3X,F6.1)
-----
LEITURA DIRETA DE ESFORÇOS DE ENGASTAMENTO PERFEITO
357 IF(LDE)372,372,358
358 WRITE(5,359)
359 FORMAT(/3X,'LEITURA DIRETA DOS ESFORÇOS DE ENGASTAMENTO PERFEITO
1'/3X,'MB JUNTA FORÇA X FORÇA Y FORÇA Z MOMEN X
2 MOMEN Y MOMEN Z')
DO 370 J=1,LDE
READ(8,360)I,(AML(I,K),K=1,6)
360 FORMAT(15,6F10.0)
READ(8,361)(AML(I,K),K=7,12)
361 FORMAT(6F10.0)
370 WRITE(5,371)I,JJ(I),(AML(I,K),K=1,6),I,JK(I),(AML(I,K),K=7,12)
371 FORMAT(3X,12,14,F14.2,5F12.2/3X,12,14,F14.2,5F12.2)

```

CARGAS APLICADAS AOS MEMBROS RETOS

```

372 IF(MLR)391,391,373
373 DO 390 I1=1,MLR
    READ(8,374)I
374 FORMAT(I5)
    NPI=NP(I)
    CALL ESKET(I,AX,IX,IY,IZ,AXI,IXI,IYI,IZI,NPI,L,SM,AML,E,G,EM,
    1GM,ICE,ITS)
    IF(ITS(I))378,378,376
376 IF(ICLB(I))390,390,377
377 CALL RIREV(I,L,SM,AXI,IXI,IYI,IZI,NPI,E,G)
    GO TO 380
378 IF(ICLB(I))390,390,379
379 CALL RIREC(I,L,SM,E,G,AX,IX,IY,IZ)
380 CALL LIBER(LB,I,AML,SM)
390 CONTINUE

```

CARGAS APLICADAS AOS MEMBROS CURVOS

```

391 IF(MLC)392,411,392
392 DO 410 JD=1,MLC
    READ(8,393)I,NCC(I),NCDX(I),NCDY(I),NCDZT(I),NCDZP(I),NCM(I)
    1,ICGNC(I)
393 FORMAT(E15)
    WRITE(5,394)I,NCC(I),NCDX(I),NCDY(I),NCDZT(I),NCDZP(I),NCM(I)
    1,ICGNC(I)
394 FORMAT(//,3X,'ESFORÇOS APLICADOS AO MEMBRO CURVO NO.',I3,3X,
    1'SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS',//,3X,'NCC',2X,'NCDX',2X,'NCDY',2X,
    1'NCDZT',2X,'NCDZP',2X,'NCM',2X,'ICGNC',/,7I6,/)
    IF(NCC(I))395,396,395
395 CALL CURV(L,I,E,G,EM,GM,AX,AXI,IZ,IZI,IX,IXI,IY,IYI,YM,FI,NP,ITS,
    1ICE,SM,NCC,AMU)
396 IF(NCDY(I))397,398,397
397 CALL CURDY(L,I,E,EM,AX,IZ,AXI,IZI,YM,FI,NP,ITS,SM,NCDY,ICE,AML,
    1IXI,IYI)
398 IF(NCDX(I))399,400,399
399 CALL CURDX(L,I,E,EM,AX,IZ,AXI,IZI,YM,FI,NP,ITS,SM,NCDX,ICE,AML,
    1IXI,IYI)
400 IF(NCDZT(I))401,402,401
401 CALL CURDZ(L,I,E,G,EM,GM,IX,IY,IXI,IYI,YM,FI,NP,ITS,SM,NCDZT,AML,
    1ICGNC,ICE,AXI,IZI)
402 IF(NCDZP(I))403,404,403
403 CALL CURDZ(L,I,E,G,EM,GM,IX,IY,IXI,IYI,YM,FI,NP,ITS,SM,NCDZP,AML,
    1ICGNC,ICE,AXI,IZI)

```

```

404 IF(NCM(I))405,406,405
405 CALL CURMT(L,I,E,EM,G,GM,IX,IY,IXI,IYI,YM,FI,AP,ITS,SM,NCM,AML,
      ICCNC,ICE,AXI,IZI)
406 CONTINUE
      IF(ICLB(I))407,410,407
407 CALL LIBER(LB,I,AML,SM)
410 CONTINUE

```

FORMACAO DO VETOR DE CARGAS COMBINADAS

```

411 DO 420 I=1, I4
      AE(I)=0.
      AC(I)=0.
      D(I)=0.
      AR(I)=0.
420 CONTINUE
      DO 425 I=1, M
          J1=6*JJ(I)-5
          J2=6*JJ(I)-4
          J3=6*JJ(I)-3
          J4=6*JJ(I)-2
          J5=6*JJ(I)-1
          J6=6*JJ(I)
          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)
          AE(J1)=AE(J1)-R(I,1)*AML(I,1)-R(I,4)*AML(I,2)-R(I,7)*AML(I,3)
          AE(J2)=AE(J2)-R(I,2)*AML(I,1)-R(I,5)*AML(I,2)-R(I,8)*AML(I,3)
          AE(J3)=AE(J3)-R(I,3)*AML(I,1)-R(I,6)*AML(I,2)-R(I,9)*AML(I,3)
          AE(J4)=AE(J4)-R(I,1)*AML(I,4)-R(I,4)*AML(I,5)-R(I,7)*AML(I,6)
          AE(J5)=AE(J5)-R(I,2)*AML(I,4)-R(I,5)*AML(I,5)-R(I,8)*AML(I,6)
          AE(J6)=AE(J6)-R(I,3)*AML(I,4)-R(I,6)*AML(I,5)-R(I,9)*AML(I,6)
          AE(K1)=AE(K1)-R(I,1)*AML(I,7)-R(I,4)*AML(I,8)-R(I,7)*AML(I,9)
          AE(K2)=AE(K2)-R(I,2)*AML(I,7)-R(I,5)*AML(I,8)-R(I,8)*AML(I,9)
          AE(K3)=AE(K3)-R(I,3)*AML(I,7)-R(I,6)*AML(I,8)-R(I,9)*AML(I,9)
          AE(K4)=AE(K4)-R(I,1)*AML(I,10)-R(I,4)*AML(I,11)-R(I,7)*AML(I,12)
          AE(K5)=AE(K5)-R(I,2)*AML(I,10)-R(I,5)*AML(I,11)-R(I,8)*AML(I,12)
          AE(K6)=AE(K6)-R(I,3)*AML(I,10)-R(I,6)*AML(I,11)-R(I,9)*AML(I,12)
425 CONTINUE
      DO 440 J=1, I4
          IF(RL(J))427,426,427
426 K=J-CRL(J)

```

```

GO TC 428
427 K=N+CRL(J)
428 AC(K)=A(J)+AE(J)
440 CONTINUE

```

C
C
C
CALCULO DOS DESLOCAMENTOS E REACOES

```

DO 441 J=1,N
DO 441 K=1,N
441 D(J)=D(J)+S(J,K)*AC(K)
I2=N+1
DO 442 K=I2,I4
AK(K)=-AC(K)
DO 442 J=1,N
442 AR(K)=AR(K)+S(K,J)*D(J)
J=N+1
DO 445 K=1,I4
JE=I4+1-K
IF(RL(JE))444,443,444
443 J=J-1
D(JE)=D(J)
GO TC 445
444 D(JE)=0.
445 CONTINUE
K=N
DO 460 I2=1,I4
IF(RL(I2))446,447,446
446 K=K+1
AR(I2)=AR(K)
GO TC 460
447 AR(I2)=0.
460 CONTINUE

```

C
C
C
ACCES FINAIS NAS EXTREMICADES DOS MEMBROS

```

LL=1
DO 470 I=1,M
READ(10,LL)SMR
DO 464 IC=1,12
IF(IC-6)461,461,462
461 J1=6*JJ(I)-(6-IC)
GO TO 463
462 J1=6*JK(I)-(12-IC)
463 DO 464 J=1,12
AME(I,J)=AME(I,J)+SMR(J,IC)*E(J1)

```



```

464 AM(J)=AML(I,J)
      IF(ITM(I))465,470,465
465 NPI=NP(I)
      READ(12,I)(YM(K),K=1,NPI),(FI(K),K=1,NPI)
      AMS(I,1)=-AM(1)*COS(FI(1))-AM(2)*SIN(FI(1))
      AMS(I,2)=AM(1)*SIN(FI(1))-AM(2)*CCS(FI(1))
      AMS(I,3)=AM(3)
      AMS(I,4)= AM(4)*COS(FI(1))+AM(5)*SIN(FI(1))
      AMS(I,5)=+AM(5)*CCS(FI(1))-AM(4)*SIN(FI(1))
      AMS(I,6)= AM(6)
      AMS(I,7)=AM(7)*CCS(FI(NPI))+AM(8)*SIN(FI(NPI))
      AMS(I,8)= AM(8)*COS(FI(NPI))-AM(7)*SIN(FI(NPI))
      AMS(I,9)=AM(9)
      AMS(I,10)=AM(10)*COS(FI(NPI))-AM(11)*SIN(FI(NPI))
      AMS(I,11)= AM(10)*SIN(FI(NPI))+AM(11)*CCS(FI(NPI))
      AMS(I,12)=AM(12)
470 CONTINUE
      IF(MRC+MRV)480,484,480
480 WRITE(5,481)
481 FORMAT(//3X,'ESFORCCS FINAIS NAS EXTREMIDADES DOS MEMBROS'/'3
1X,'MB JUNTA FORCA X FORCA Y FORCA Z MOMEN X M
2OMEN Y MOMEN Z')
      DO 482 I=1,M
482 WRITE(5,483)I,JJ(I),(AML(I,J),J=1,6),I,JK(I),(AML(I,J),J=7,12)
483 FORMATT(3X,I2,I6,F13.2,5F12.2/3X,I2,I6,F13.2,5F12.2)
484 IF(MCC+MCV)485,494,485
-----
485 WRITE(5,486)
486 FORMAT(//3X,'ESFORCCS FINAIS NAS EXTREMIDADES DOS MEMBROS C
1URVGS'/'3X,'MB JUNTA FORCA X FORCA Y FORCA Z MOMEN
1 X MOMEN Y MOMEN Z')
      DO 490 I=1,M
      IF(ITM(I))487,490,487
487 WRITE(5,483)I,JJ(I),(AMS(I,J),J=1,6),I,JK(I),(AMS(I,J),J=7,12)
490 CONTINUE

DESLOCAMENTO DOS NÓS E REACAO NCS APLICAS

494 WRITE(5,495)
495 FORMAT(//3X,'REACAO NCS APLICAS'/'3X,'JUNT',2X,'FORCA X',3X,'FO
1RCA Y',3X,'FORCA Z',8X,'MOMEN X',3X,'MOMEN Y',3X,'MOMEN Z')
      DO 510 J=1,NJ
      IF(RL(6#J-5))506,500,506
500 IF(RL(6#J-4))506,501,506
501 IF(RL(6#J-3))506,502,506
502 IF(RL(6#J-2))506,503,506

```

```

503 IF(RL(6*J-1))506,504,506
504 IF(RL(6*J))506,505,506
505 GO TO 510
506 WRITE(5,507)J,AR(6*J-5),AR(6*J-4),AR(6*J-3),AR(6*J-2),AR(6*J-1),AR
1(6*J)
507 FORMAT(3X,I4,2X,F7.2,3X,F7.2,3X,F7.2,8X,F7.2,3X,F7.2,3X,F7.2)
510 CONTINUE
WRITE(5,521)
521 FORMAT(//3X,'DESLOCAMENTO DAS JUNTAS'/3X,'JUNT',2X,'TRANSL. X',
12X,'TRANSL. Y',2X,'TRANSL. Z',8X,'ROTAÇAO X',2X,'ROTAÇAO Y',2X,'RO
2TACAO Z')
DO 530 J=1,NJ
IF(RL(6*J-5))522,528,522
522 IF(RL(6*J-4))523,528,523
523 IF(RL(6*J-3))524,528,524
524 IF(RL(6*J-2))525,528,525
525 IF(RL(6*J-1))526,528,526
526 IF(RL(6*J))527,528,527
527 GO TO 530
528 WRITE(5,529)J,D(6*J-5),D(6*J-4),D(6*J-3),D(6*J-2),D(6*J-1),D(6*J)
529 FORMAT(3X,I4,2X,E9.2,2X,E9.2,2X,E9.2,8X,E9.2,2X,E9.2,2X,E9.2)
530 CONTINUE
540 CONTINUE
GO TO 101
600 CALL EXIT
END

```

CAPITULO IVEXEMPLOS

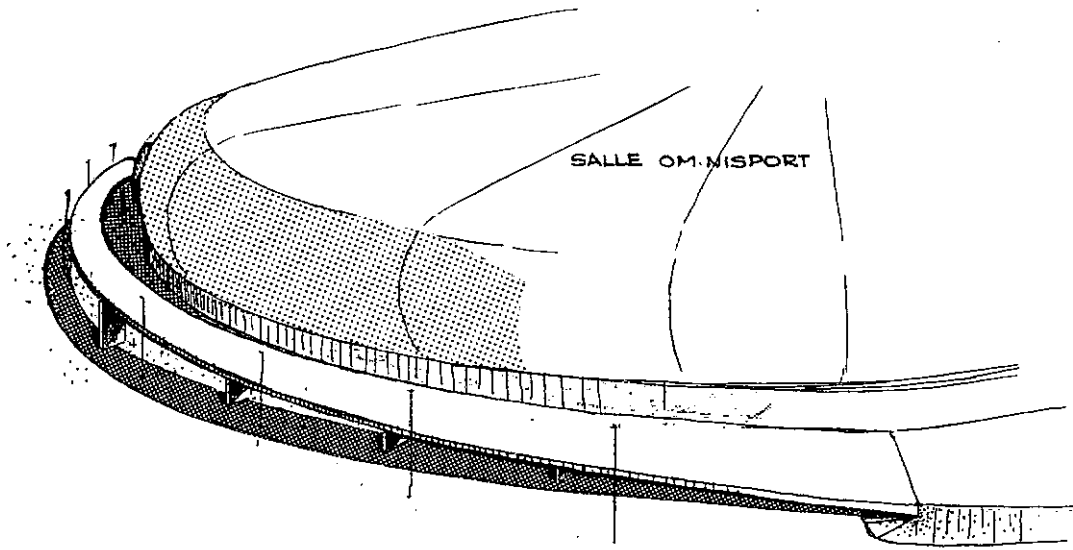
O programa foi testado através da resolução de varias estruturas, e os resultados obtidos foram confirmados ora pelo STRESS ora pelas soluções classicas.

O exemplo apresentado a seguir é o de uma passarela circular em planta e com inclinação de 2,24% em perfil, formada de sete vãos e dois balanços. A sua secção transversal é variavel. As cargas se referem apenas à parcela do peso proprio da estrutura.

O cálculo foi feito através de dois sistemas estruturais: o primeiro como viga contínua circular, o segundo colocando uma rótula no quarto vão, o que lhe tira a continuidade. A introdução da rótula foi feita na extremidade esquerda do membro 5 , por ser este quase reto. Este cuidado se deve ao fato das liberações serem dadas no sistema local.

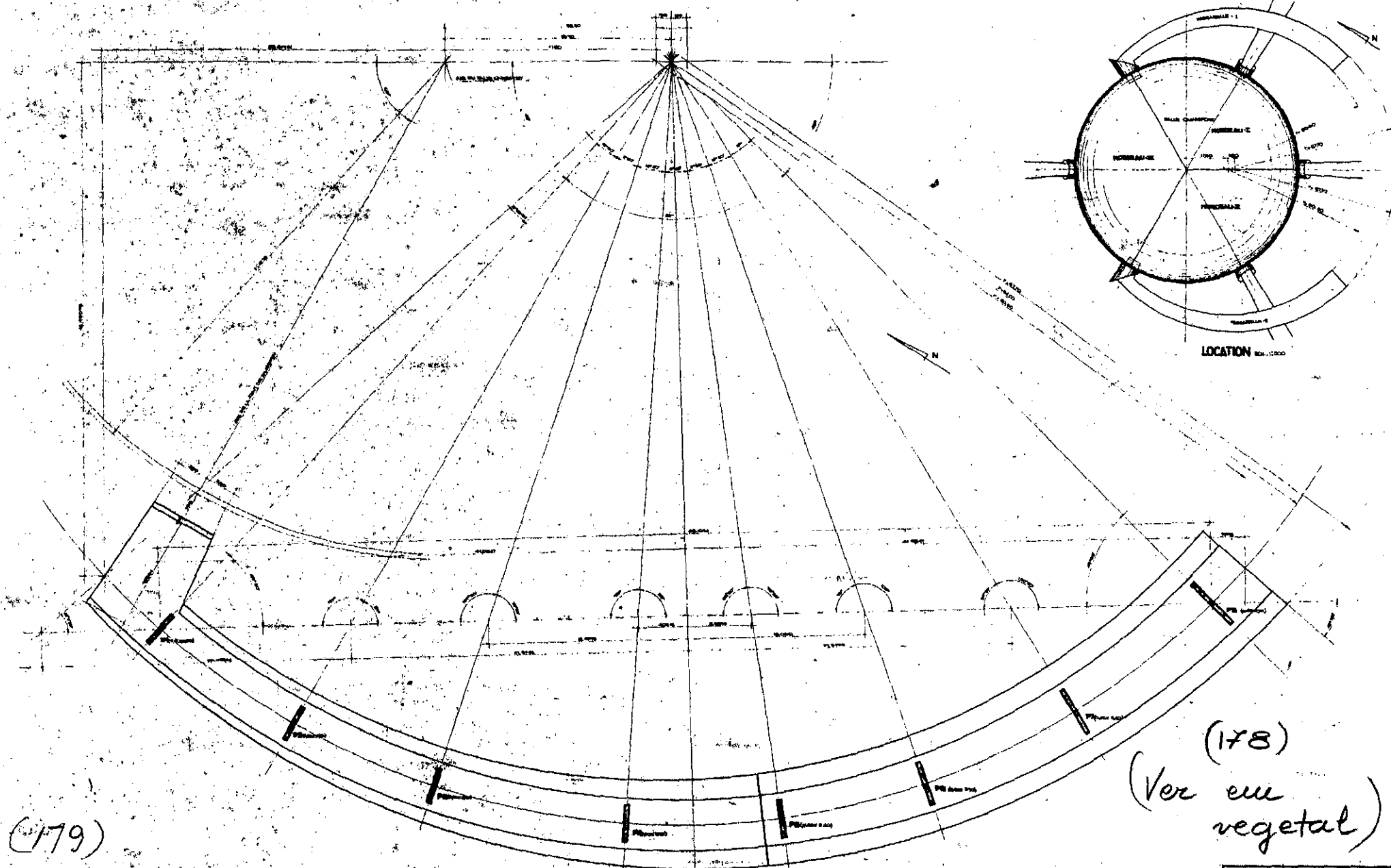
Os resultados são aproximadamente iguais aos obtidos no STRESS com uma estrutura poligonal inscrita.

A solução aproximada do STRESS tende para a solução "exata" quando se subdividem os membros curvos em maior número de membros retos:



PERSPECTIVA DA PASSARELA

SAIDA OESTE

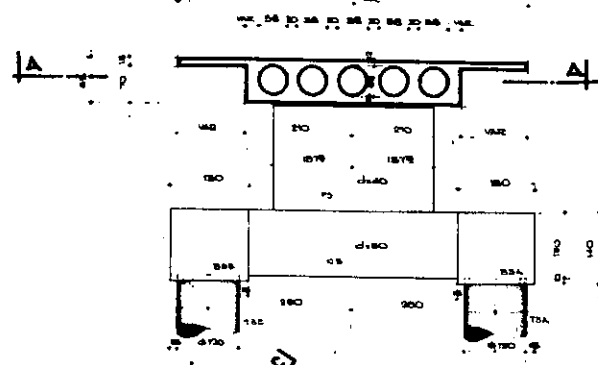


(179)

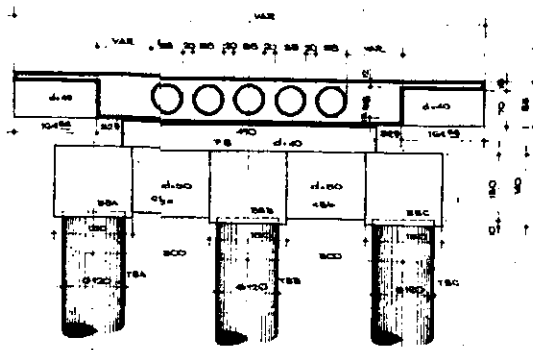
(178)
 (Ver en vegetal)

ECOTEC	INGENIERIA CONSULTORA
PROYECTO	LA PASADILLA
FECHA	1-8
ESCALA	1:100
PROYECTADO	INGENIERIA CONSULTORA

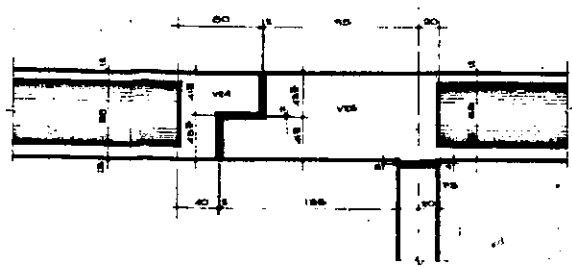
COUPE-BB ECH 1:50



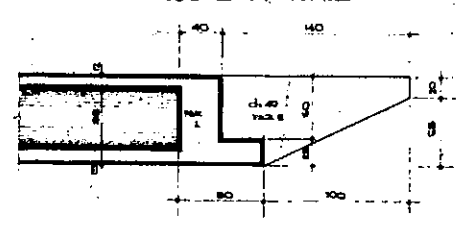
COUPE-EE ECH 1:50



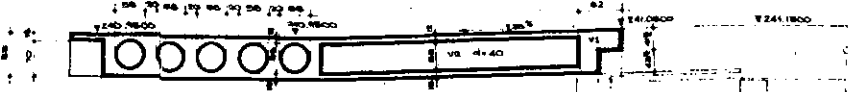
COUPE-DD ECH 1:25



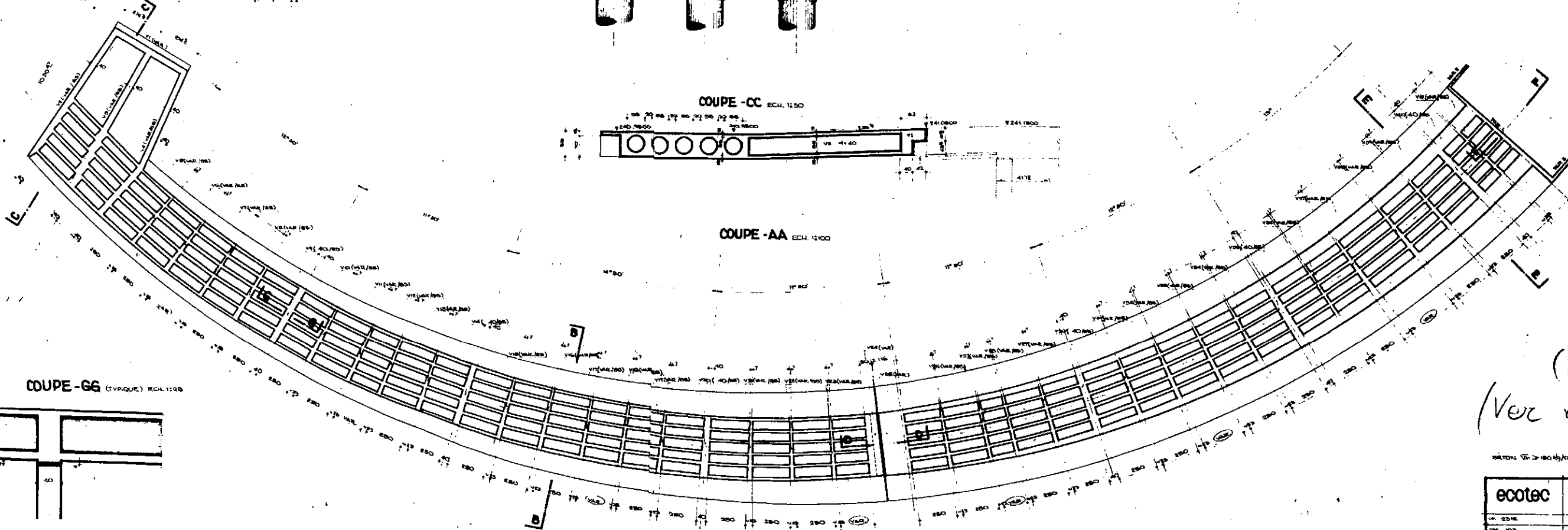
COUPE-FF ECH 1:25



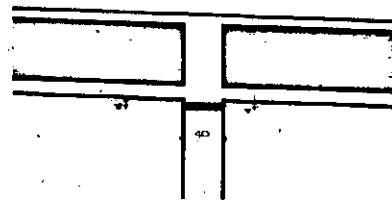
COUPE-CC ECH 1:50



COUPE-AA ECH 1:100



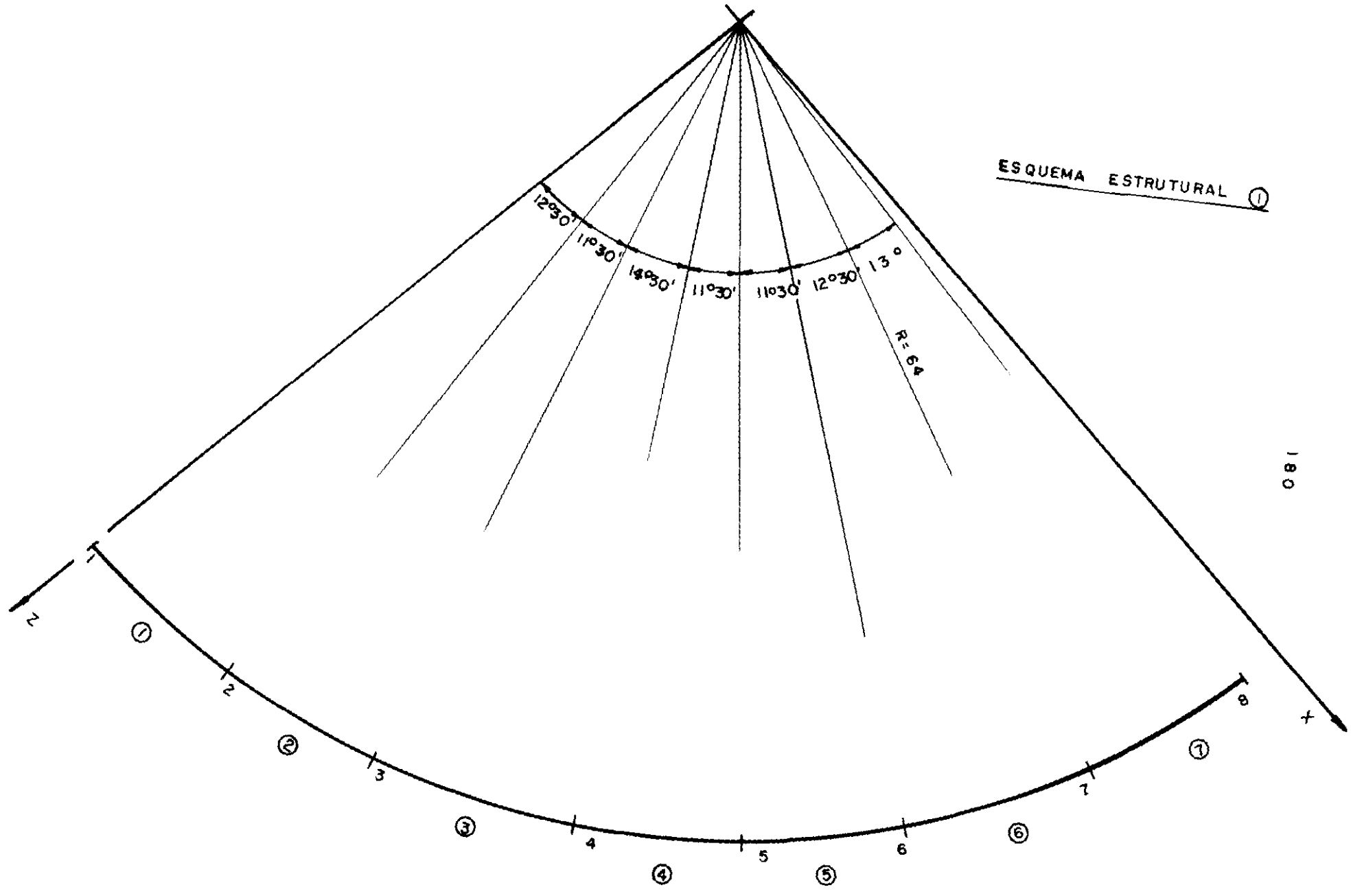
COUPE-GG (TYPIQUE) ECH 1:25



(179)
Ver avec
vegetal

ecotec	CENTRE OLYMPIQUE D'ALGER
179 103	SALLE D'EXPOSITION
179 110	COFFRAGE DE LA PASSERELLE V2
179 115	COUPE ET DETAILS
179 120	A2
179 125	projectum architectura 1984

ESQUEMA ESTRUTURAL ①



180

```

*****
*
*           ANALISE DE ESTRUTURAS RETICULADAS ESPACIAIS
*           COM BARRAS DE EIXO CURVO E SECAO VARIAVEL
*
*           COPPE - UFRJ - 1973
*           MARIA DEL PILAR AUREA MANUELA RODRIGUEZ PAZOS
*
*****

```

ESTRUTURA NUMERO 14

PASSARELA DA SAIDA OESTE
SALLE OMNISPORT

MODULOS DE ELASTICIDADE IGUAIS

181

INFORMACOES GERAIS SOBRE A ESTRUTURA (VALORES DADOS)				CALCULADOS		
M	NJ	MODULO E	MODULO G	N	NR	NRJ
7	8	2100000.	780000.	36	12	8

C O O R D E N A D A S D A S JUNTAS				NATUREZA DAS JUNTA S DE APOIO					
J	X(J)	Y(J)	Z(J)	TRANSLACAO			ROTACAO		
				X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.0	240.95	64.00	1	1	1	0	0	0
2	13.85	240.64	62.48	0	1	0	0	0	0
3	26.08	240.35	58.47	0	1	0	0	0	0
4	39.84	239.99	50.09	0	1	0	0	0	0
5	49.03	239.70	41.14	0	1	0	0	0	0
6	56.24	239.41	30.54	0	1	0	0	0	0
7	61.52	239.10	17.64	0	1	0	0	0	0
8	63.91	238.78	3.35	1	1	1	0	0	0

PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS

MRC	MRV	MCC	MCV	MLB	NLE
0	0	0	7	0	0

M	ITS	ITM	NP	IFGR	NRAD
1	1	1	11	2	0
2	1	1	11	2	0
3	1	1	11	2	0
4	1	1	11	2	0
5	1	1	11	2	0
6	1	1	11	2	0
7	1	1	11	2	0

ESPECIFICACAO			CARACTERISTICAS				ORIENTACAO			COMPRIMENTO	
M	JJ	JK	AX	IX	IY	IZ	AA	CX	CY	CZ	L
1	1	2	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	13.94
2	2	3	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	12.87
3	3	4	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	16.11
4	4	5	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	12.83
5	5	6	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	12.83
6	6	7	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	13.94
7	7	8	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	14.49

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 1

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= 0.0	FI(1)= 0.109
XM(2)= 1.394	YM(2)= 0.137	FI(2)= 0.087
XM(3)= 2.788	YM(3)= 0.244	FI(3)= 0.065
XM(4)= 4.181	YM(4)= 0.320	FI(4)= 0.044
XM(5)= 5.575	YM(5)= 0.365	FI(5)= 0.022
XM(6)= 6.969	YM(6)= 0.380	FI(6)= 0.000
XM(7)= 8.363	YM(7)= 0.365	FI(7)= -0.022
XM(8)= 9.757	YM(8)= 0.320	FI(8)= -0.044
XM(9)= 11.151	YM(9)= 0.244	FI(9)= -0.065
XM(10)= 12.544	YM(10)= 0.137	FI(10)= -0.087
XM(11)= 13.938	YM(11)= 0.0	FI(11)= -0.109

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.470	IX(1)= 0.245	IY(1)= 4.972	IZ(1)= 0.213
AX(2)= 2.477	IX(2)= 0.245	IY(2)= 5.033	IZ(2)= 0.214
AX(3)= 2.484	IX(3)= 0.245	IY(3)= 5.094	IZ(3)= 0.215
AX(4)= 2.491	IX(4)= 0.245	IY(4)= 5.155	IZ(4)= 0.215
AX(5)= 2.498	IX(5)= 0.245	IY(5)= 5.215	IZ(5)= 0.216
AX(6)= 2.505	IX(6)= 0.245	IY(6)= 5.276	IZ(6)= 0.217
AX(7)= 2.512	IX(7)= 0.245	IY(7)= 5.337	IZ(7)= 0.218
AX(8)= 2.519	IX(8)= 0.245	IY(8)= 5.398	IZ(8)= 0.218
AX(9)= 2.526	IX(9)= 0.245	IY(9)= 5.458	IZ(9)= 0.219
AX(10)= 2.533	IX(10)= 0.245	IY(10)= 5.519	IZ(10)= 0.220
AX(11)= 2.540	IX(11)= 0.245	IY(11)= 5.580	IZ(11)= 0.221

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVC NO. 2

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.100
XM(2)= 1.287	YM(2)= 0.116	FI(2)= 0.080
XM(3)= 2.575	YM(3)= 0.206	FI(3)= 0.060
XM(4)= 3.862	YM(4)= 0.271	FI(4)= 0.040
XM(5)= 5.150	YM(5)= 0.309	FI(5)= 0.020
XM(6)= 6.437	YM(6)= 0.322	FI(6)= 0.0
XM(7)= 7.725	YM(7)= 0.309	FI(7)= -0.020
XM(8)= 9.012	YM(8)= 0.271	FI(8)= -0.040
XM(9)= 10.300	YM(9)= 0.206	FI(9)= -0.060
XM(10)= 11.587	YM(10)= 0.116	FI(10)= -0.080
XM(11)= 12.875	YM(11)= -0.000	FI(11)= -0.100

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.540	IX(1)= 0.245	IY(1)= 5.580	IZ(1)= 0.221
AX(2)= 2.547	IX(2)= 0.245	IY(2)= 5.654	IZ(2)= 0.221
AX(3)= 2.554	IX(3)= 0.245	IY(3)= 5.727	IZ(3)= 0.222
AX(4)= 2.562	IX(4)= 0.245	IY(4)= 5.801	IZ(4)= 0.223
AX(5)= 2.569	IX(5)= 0.245	IY(5)= 5.875	IZ(5)= 0.223
AX(6)= 2.576	IX(6)= 0.245	IY(6)= 5.948	IZ(6)= 0.224
AX(7)= 2.583	IX(7)= 0.245	IY(7)= 6.022	IZ(7)= 0.225
AX(8)= 2.591	IX(8)= 0.245	IY(8)= 6.095	IZ(8)= 0.226
AX(9)= 2.598	IX(9)= 0.245	IY(9)= 6.169	IZ(9)= 0.226
AX(10)= 2.605	IX(10)= 0.245	IY(10)= 6.243	IZ(10)= 0.227
AX(11)= 2.612	IX(11)= 0.245	IY(11)= 6.316	IZ(11)= 0.228

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 3

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= 0.0	FI(1)= 0.127
XM(2)= 1.611	YM(2)= 0.185	FI(2)= 0.101
XM(3)= 3.223	YM(3)= 0.328	FI(3)= 0.076
XM(4)= 4.834	YM(4)= 0.430	FI(4)= 0.051
XM(5)= 6.446	YM(5)= 0.491	FI(5)= 0.025
XM(6)= 8.057	YM(6)= 0.512	FI(6)= 0.000
XM(7)= 9.669	YM(7)= 0.491	FI(7)= -0.025
XM(8)= 11.280	YM(8)= 0.430	FI(8)= -0.051
XM(9)= 12.892	YM(9)= 0.328	FI(9)= -0.076
XM(10)= 14.503	YM(10)= 0.185	FI(10)= -0.101
XM(11)= 16.115	YM(11)= 0.0	FI(11)= -0.127

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.612	IX(1)= 0.245	IY(1)= 6.316	IZ(1)= 0.228
AX(2)= 2.622	IX(2)= 0.245	IY(2)= 6.434	IZ(2)= 0.229
AX(3)= 2.632	IX(3)= 0.245	IY(3)= 6.551	IZ(3)= 0.230
AX(4)= 2.641	IX(4)= 0.245	IY(4)= 6.668	IZ(4)= 0.231
AX(5)= 2.651	IX(5)= 0.245	IY(5)= 6.786	IZ(5)= 0.232
AX(6)= 2.661	IX(6)= 0.245	IY(6)= 6.903	IZ(6)= 0.232
AX(7)= 2.671	IX(7)= 0.245	IY(7)= 7.020	IZ(7)= 0.233
AX(8)= 2.680	IX(8)= 0.245	IY(8)= 7.138	IZ(8)= 0.234
AX(9)= 2.690	IX(9)= 0.245	IY(9)= 7.255	IZ(9)= 0.235
AX(10)= 2.700	IX(10)= 0.245	IY(10)= 7.372	IZ(10)= 0.236
AX(11)= 2.709	IX(11)= 0.245	IY(11)= 7.490	IZ(11)= 0.237

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 4

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.078
XM(2)= 1.283	YM(2)= 0.091	FI(2)= 0.063
XM(3)= 2.566	YM(3)= 0.161	FI(3)= 0.047
XM(4)= 3.848	YM(4)= 0.211	FI(4)= 0.031
XM(5)= 5.131	YM(5)= 0.241	FI(5)= 0.016
XM(6)= 6.414	YM(6)= 0.251	FI(6)= 0.000
XM(7)= 7.697	YM(7)= 0.241	FI(7)= -0.016
XM(8)= 8.979	YM(8)= 0.211	FI(8)= -0.031
XM(9)= 10.262	YM(9)= 0.161	FI(9)= -0.047
XM(10)= 11.545	YM(10)= 0.091	FI(10)= -0.063
XM(11)= 12.828	YM(11)= -0.000	FI(11)= -0.078

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.709	IX(1)= 0.245	IY(1)= 0.490	IZ(1)= 0.237
AX(2)= 2.720	IX(2)= 0.245	IY(2)= 7.605	IZ(2)= 0.238
AX(3)= 2.731	IX(3)= 0.245	IY(3)= 7.721	IZ(3)= 0.239
AX(4)= 2.742	IX(4)= 0.245	IY(4)= 7.837	IZ(4)= 0.240
AX(5)= 2.753	IX(5)= 0.245	IY(5)= 7.953	IZ(5)= 0.240
AX(6)= 2.763	IX(6)= 0.245	IY(6)= 8.068	IZ(6)= 0.241
AX(7)= 2.774	IX(7)= 0.245	IY(7)= 8.184	IZ(7)= 0.242
AX(8)= 2.785	IX(8)= 0.245	IY(8)= 8.300	IZ(8)= 0.243
AX(9)= 2.796	IX(9)= 0.245	IY(9)= 8.415	IZ(9)= 0.244
AX(10)= 2.807	IX(10)= 0.245	IY(10)= 8.531	IZ(10)= 0.244
AX(11)= 2.817	IX(11)= 0.245	IY(11)= 8.647	IZ(11)= 0.245

CARACTERISTICAS DO MEMBRU CURVA NO. 5

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= 0.0	FI(1)= 0.100
XM(2)= 1.283	YM(2)= 0.116	FI(2)= 0.080
XM(3)= 2.565	YM(3)= 0.206	FI(3)= 0.060
XM(4)= 3.848	YM(4)= 0.271	FI(4)= 0.040
XM(5)= 5.131	YM(5)= 0.309	FI(5)= 0.020
XM(6)= 6.413	YM(6)= 0.322	FI(6)= 0.000
XM(7)= 7.696	YM(7)= 0.309	FI(7)= -0.020
XM(8)= 8.979	YM(8)= 0.271	FI(8)= -0.040
XM(9)= 10.261	YM(9)= 0.206	FI(9)= -0.060
XM(10)= 11.544	YM(10)= 0.116	FI(10)= -0.080
XM(11)= 12.827	YM(11)= 0.0	FI(11)= -0.100

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.817	IX(1)= 0.249	IY(1)= 8.647	IZ(1)= 0.245
AX(2)= 2.861	IX(2)= 0.253	IY(2)= 8.906	IZ(2)= 0.248
AX(3)= 2.904	IX(3)= 0.256	IY(3)= 9.164	IZ(3)= 0.251
AX(4)= 2.947	IX(4)= 0.260	IY(4)= 9.423	IZ(4)= 0.253
AX(5)= 2.990	IX(5)= 0.263	IY(5)= 9.682	IZ(5)= 0.256
AX(6)= 3.033	IX(6)= 0.266	IY(6)= 9.941	IZ(6)= 0.259
AX(7)= 3.077	IX(7)= 0.270	IY(7)= 10.199	IZ(7)= 0.261
AX(8)= 3.120	IX(8)= 0.273	IY(8)= 10.458	IZ(8)= 0.264
AX(9)= 3.163	IX(9)= 0.277	IY(9)= 10.717	IZ(9)= 0.267
AX(10)= 3.206	IX(10)= 0.280	IY(10)= 10.975	IZ(10)= 0.270
AX(11)= 3.249	IX(11)= 0.284	IY(11)= 11.234	IZ(11)= 0.272

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 6

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.109
XM(2)= 1.394	YM(2)= 0.137	FI(2)= 0.087
XM(3)= 2.788	YM(3)= 0.244	FI(3)= 0.065
XM(4)= 4.181	YM(4)= 0.320	FI(4)= 0.044
XM(5)= 5.575	YM(5)= 0.365	FI(5)= 0.022
XM(6)= 6.969	YM(6)= 0.380	FI(6)= 0.000
XM(7)= 8.363	YM(7)= 0.365	FI(7)= -0.022
XM(8)= 9.757	YM(8)= 0.320	FI(8)= -0.044
XM(9)= 11.151	YM(9)= 0.244	FI(9)= -0.065
XM(10)= 12.544	YM(10)= 0.137	FI(10)= -0.087
XM(11)= 13.938	YM(11)= -0.000	FI(11)= -0.109

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 3.249	IX(1)= 0.284	IY(1)= 11.234	IZ(1)= 0.272
AX(2)= 3.293	IX(2)= 0.286	IY(2)= 11.599	IZ(2)= 0.275
AX(3)= 3.336	IX(3)= 0.289	IY(3)= 11.963	IZ(3)= 0.278
AX(4)= 3.380	IX(4)= 0.291	IY(4)= 12.328	IZ(4)= 0.281
AX(5)= 3.423	IX(5)= 0.294	IY(5)= 12.693	IZ(5)= 0.283
AX(6)= 3.467	IX(6)= 0.296	IY(6)= 13.057	IZ(6)= 0.286
AX(7)= 3.510	IX(7)= 0.299	IY(7)= 13.422	IZ(7)= 0.289
AX(8)= 3.554	IX(8)= 0.301	IY(8)= 13.787	IZ(8)= 0.291
AX(9)= 3.597	IX(9)= 0.304	IY(9)= 14.151	IZ(9)= 0.294
AX(10)= 3.641	IX(10)= 0.306	IY(10)= 14.516	IZ(10)= 0.297
AX(11)= 3.684	IX(11)= 0.309	IY(11)= 14.881	IZ(11)= 0.300

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 7

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.113
XM(2)= 1.449	YM(2)= 0.148	FI(2)= 0.091
XM(3)= 2.899	YM(3)= 0.264	FI(3)= 0.068
XM(4)= 4.348	YM(4)= 0.346	FI(4)= 0.045
XM(5)= 5.798	YM(5)= 0.395	FI(5)= 0.023
XM(6)= 7.247	YM(6)= 0.411	FI(6)= 0.000
XM(7)= 8.697	YM(7)= 0.395	FI(7)= -0.023
XM(8)= 10.146	YM(8)= 0.346	FI(8)= -0.045
XM(9)= 11.595	YM(9)= 0.264	FI(9)= -0.068
XM(10)= 13.045	YM(10)= 0.148	FI(10)= -0.091
XM(11)= 14.494	YM(11)= -0.000	FI(11)= -0.113

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 3.684	IX(1)= 0.309	IY(1)= 14.881	IZ(1)= 0.300
AX(2)= 3.724	IX(2)= 0.310	IY(2)= 15.271	IZ(2)= 0.302
AX(3)= 3.764	IX(3)= 0.313	IY(3)= 15.662	IZ(3)= 0.304
AX(4)= 3.804	IX(4)= 0.314	IY(4)= 16.052	IZ(4)= 0.307
AX(5)= 3.844	IX(5)= 0.316	IY(5)= 16.443	IZ(5)= 0.309
AX(6)= 3.883	IX(6)= 0.318	IY(6)= 16.833	IZ(6)= 0.312
AX(7)= 3.923	IX(7)= 0.320	IY(7)= 17.224	IZ(7)= 0.314
AX(8)= 3.963	IX(8)= 0.322	IY(8)= 17.614	IZ(8)= 0.317
AX(9)= 4.003	IX(9)= 0.324	IY(9)= 18.005	IZ(9)= 0.319
AX(10)= 4.042	IX(10)= 0.326	IY(10)= 18.396	IZ(10)= 0.322
AX(11)= 4.082	IX(11)= 0.328	IY(11)= 18.786	IZ(11)= 0.324

C A R R E G A M E N T O .

N U M E R O 1

INFORMACAO SOBRE O CARREGAMENTO

LDE NLJ MLR MLC

0 2 0 7

ESFORÇOS APLICADOS SOBRE AS JUNTAS SEGUNDO OS EIXOS DA ESTRUTURA

JUNTA FORÇAS SEGUNDO OS 3 EIXOS MOMENTOS SEGUNDO OS 3 EIXOS

J	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-150.0
8	0.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0

ESFORÇOS APLICADOS AO MEMBRO CURVO NO. 1 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCLX NCLY NCLZ1 NCLZP NCM ICLNC

9 0 0 0 0 0 0

PX PY PZ DA DB

0.0	0.0	8.288	1.394	0.137
0.0	0.0	8.311	2.788	0.244
0.0	0.0	8.335	4.181	0.320
0.0	0.0	8.358	5.575	0.365
0.0	0.0	8.381	6.969	0.380
0.0	0.0	8.404	8.363	0.365
0.0	0.0	8.428	9.757	0.320
0.0	0.0	8.452	11.151	0.244
0.0	0.0	8.474	12.544	0.137

ESFERCLOS APLICADOS AL MEMBRU CURVO NO. 2 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZI NCDZP NCM ICCNC
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	PZ	DA	DB
0.0	0.0	7.868	1.287	0.116
0.0	0.0	7.890	2.575	0.206
0.0	0.0	7.913	3.862	0.271
0.0	0.0	7.935	5.150	0.309
0.0	0.0	7.957	6.437	0.322
0.0	0.0	7.980	7.725	0.309
0.0	0.0	8.002	9.012	0.271
0.0	0.0	8.024	10.300	0.206
0.0	0.0	8.047	11.587	0.116

ESFERCLOS APLICADOS AL MEMBRU CURVO NO. 3 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZI NCDZP NCM ICCNC
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	PZ	DA	DB
0.0	0.0	10.138	1.611	0.185
0.0	0.0	10.175	3.223	0.328
0.0	0.0	10.213	4.834	0.430
0.0	0.0	10.251	6.446	0.491
0.0	0.0	10.288	8.057	0.512
0.0	0.0	10.326	9.669	0.491
0.0	0.0	10.363	11.280	0.430
0.0	0.0	10.401	12.892	0.328
0.0	0.0	10.438	14.503	0.185

ESFERAS APLICADAS AO MEMBRU CURVA NO. 4 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZP NCM ICCNC
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	PZ	DA	DB
0.0	0.0	8.383	1.283	0.116
0.0	0.0	8.416	2.565	0.206
0.0	0.0	8.472	3.848	0.271
0.0	0.0	8.483	5.131	0.309
0.0	0.0	8.516	6.413	0.322
0.0	0.0	8.549	7.696	0.309
0.0	0.0	8.583	8.979	0.271
0.0	0.0	8.616	10.261	0.206
0.0	0.0	8.649	11.544	0.116

ESFERAS APLICADAS AO MEMBRU CURVA NO. 5 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZP NCM ICCNC
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	PZ	DA	DB
0.0	0.0	8.809	1.283	0.116
0.0	0.0	8.942	2.565	0.206
0.0	0.0	9.081	3.848	0.271
0.0	0.0	9.207	5.131	0.309
0.0	0.0	9.339	6.413	0.322
0.0	0.0	9.473	7.696	0.309
0.0	0.0	9.606	8.979	0.271
0.0	0.0	9.739	10.261	0.206
0.0	0.0	9.872	11.544	0.116

ESFERCAS APLICADAS AC MEMBR CURVE NO. 6 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCCX NCCY NCCZT NCCZP NCM ICLNC
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	PZ	DA	DB
0.0	0.0	11.016	1.394	0.137
0.0	0.0	11.162	2.788	0.244
0.0	0.0	11.308	4.181	0.320
0.0	0.0	11.453	5.575	0.365
0.0	0.0	11.599	6.969	0.380
0.0	0.0	11.744	8.363	0.365
0.0	0.0	11.890	9.757	0.320
0.0	0.0	12.037	11.151	0.244
0.0	0.0	12.181	12.544	0.137

ESFERCAS APLICADAS AC MEMBR CURVE NO. 7 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCCX NCCY NCCZT NCCZP NCM ICLNC
 9 0 0 0 0 0 0

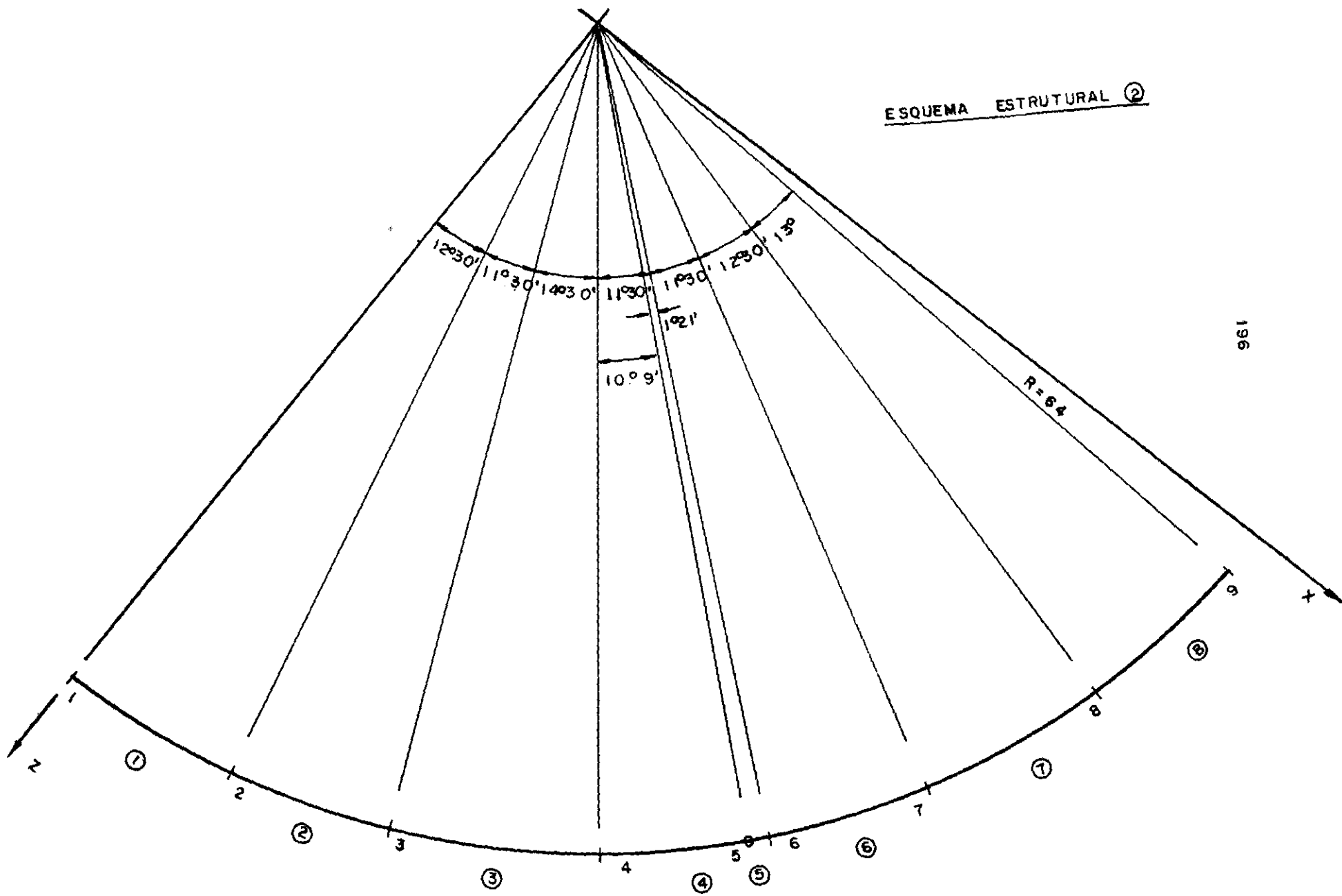
PX	PY	PZ	DA	DB
0.0	0.0	12.952	1.449	0.148
0.0	0.0	13.090	2.899	0.264
0.0	0.0	13.228	4.348	0.346
0.0	0.0	13.366	5.798	0.395
0.0	0.0	13.505	7.247	0.411
0.0	0.0	13.643	8.697	0.395
0.0	0.0	13.782	10.146	0.346
0.0	0.0	13.920	11.595	0.264
0.0	0.0	14.058	13.045	0.148

ESFORÇOS FINAIS NAS		EXTREMIDADES		DOS MEMBROS		CURVOS	
MB	JUNTA	FORÇA X	FORÇA Y	FORÇA Z	MOMEN X	MOMEN Y	MOMEN Z
1	1	-5.58	-0.42	32.40	32.46	146.43	0.35
1	2	-5.36	-1.62	43.04	-3.67	-76.95	13.91
2	2	-3.79	0.31	37.62	18.83	74.78	-13.55
2	3	-3.78	-0.45	34.00	-4.49	-101.37	14.46
3	3	-1.89	0.86	45.69	30.09	97.01	-13.95
3	4	-2.05	0.36	46.90	5.18	-95.26	4.00
4	4	0.25	0.78	39.75	11.66	94.71	-3.49
4	5	0.12	0.81	36.91	4.78	-116.76	-6.68
5	5	2.12	0.38	42.06	21.11	114.87	7.26
5	6	2.00	0.79	42.01	-2.40	-127.28	-14.82
6	6	4.21	-0.51	54.00	29.87	123.70	15.34
6	7	4.22	0.42	50.39	-4.97	-163.91	-14.70
7	7	6.27	-1.83	54.20	41.70	158.50	15.96
7	8	6.52	-0.37	67.35	4.18	-79.89	0.10

REACAO	NOS	APOIOS				
JUNT	FORCA X	FORCA Y	FORCA Z	MOMEN X	MOMEN Y	MOMEN Z
1	6.08	32.27	-1.69	0.0	0.0	0.0
2	0.0	80.67	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	79.70	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	86.69	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	78.99	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	96.03	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	104.61	0.0	0.0	0.0	0.0
8	2.24	67.19	-7.68	0.0	0.0	0.0

DESLOCAMENTO DAS JUNTAS						
JUNT	TRANSL. X	TRANSL. Y	TRANSL. Z	ROTACAO X	ROTACAO Y	ROTACAO Z
1	0.0	0.0	0.0	-0.60E-03	-0.43E-03	-0.13E-03
2	0.63E-03	0.0	0.55E-02	-0.12E-02	-0.25E-03	0.26E-03
3	0.11E-02	0.0	0.67E-02	-0.12E-02	0.11E-03	0.51E-03
4	-0.90E-03	0.0	0.33E-02	-0.10E-02	0.39E-03	0.85E-03
5	-0.41E-02	0.0	-0.15E-04	-0.62E-03	0.34E-03	0.75E-03
6	-0.63E-02	0.0	-0.15E-02	-0.47E-03	0.90E-04	0.85E-03
7	-0.51E-02	0.0	-0.88E-03	-0.29E-03	-0.23E-03	0.98E-03
8	0.0	0.0	0.0	-0.18E-03	-0.36E-03	0.15E-02

ESQUEMA ESTRUTURAL ②



```

*****
*
* ANALISE DE ESTRUTURAS RETICULADAS ESPACIAIS
* CCM BARRAS DE EIXO CURVO E SECAO VARIAVEL
*
*
* COPPE - UFRJ - 1973
* MARIA DEL PILAR AUREA MANUELA RODRIGUEZ PAZOS
*
*****

```

ESTRUTURA NUMERO 14

PASSARELA DA SAIDA CESTE
SALLE CMNISPORT

MODULOS DE ELASTICIDADE IGUAIS

197

INFORMACOES GERAIS SOBRE A ESTRUTURA (VALORES DADOS) CALCULADOS

M	NJ	MODULO E	MODULO G	N	NR	NRJ
8	9	2100000.	780000.	42	12	8

COORDENADAS DAS JUNTAS				NATUREZA DAS JUNTAS DE APOIO					
J	X(J)	Y(J)	Z(J)	TRANSLACAO			ROTACAO		
				X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.0	240.95	64.00	1	1	1	0	0	0
2	13.85	240.64	62.48	0	1	0	0	0	0
3	26.08	240.35	58.47	0	1	0	0	0	0
4	39.84	239.99	50.49	0	1	0	0	0	0
5	48.04	239.73	42.28	0	0	0	0	0	0
6	49.03	239.70	41.14	0	1	0	0	0	0
7	56.24	239.41	30.54	0	1	0	0	0	0
8	61.52	239.10	17.64	0	1	0	0	0	0
9	63.91	238.78	3.35	1	1	1	0	0	0

PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS

MRC MKV MCC MCV MLE NLE

0 0 0 8 1 0

M IIS ITM NP IFCR NRAC

1 1 1 11 2 0
 2 1 1 11 2 0
 3 1 1 11 2 0
 4 1 1 10 2 0
 5 1 1 2 2 0
 6 1 1 11 2 0
 7 1 1 11 2 0
 8 1 1 11 2 0

ESPECIFICACAO			CARACTERISTICAS				ORIENTACAO			COMPRIMENTO	
M	JJ	JK	AX	IX	IY	IZ	AA	CX	CY	CZ	L
1	1	2	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	13.94
2	2	3	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	12.87
3	3	4	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	16.11
4	4	5	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	11.33
5	5	6	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	1.51
6	6	7	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	12.83
7	7	8	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	13.94
8	8	9	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	VARIAVEL	1	0.165	-0.022	-0.986	14.45

LIBERACOES NAS EXTREMIDADES DOS MEMBROS

MEMB	EXTREMIDADE INICIAL						EXTREMIDADE FINAL					
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
5	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 1

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= 0.0	FI(1)= 0.109
XM(2)= 1.394	YM(2)= 0.137	FI(2)= 0.087
XM(3)= 2.788	YM(3)= 0.244	FI(3)= 0.065
XM(4)= 4.181	YM(4)= 0.320	FI(4)= 0.044
XM(5)= 5.575	YM(5)= 0.365	FI(5)= 0.022
XM(6)= 6.969	YM(6)= 0.380	FI(6)= 0.000
XM(7)= 8.363	YM(7)= 0.365	FI(7)= -0.022
XM(8)= 9.757	YM(8)= 0.320	FI(8)= -0.044
XM(9)= 11.151	YM(9)= 0.244	FI(9)= -0.065
XM(10)= 12.544	YM(10)= 0.137	FI(10)= -0.087
XM(11)= 13.938	YM(11)= 0.0	FI(11)= -0.109

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.470	IX(1)= 0.245	IY(1)= 4.972	IZ(1)= 0.213
AX(2)= 2.477	IX(2)= 0.245	IY(2)= 5.033	IZ(2)= 0.214
AX(3)= 2.484	IX(3)= 0.245	IY(3)= 5.094	IZ(3)= 0.215
AX(4)= 2.491	IX(4)= 0.245	IY(4)= 5.155	IZ(4)= 0.215
AX(5)= 2.498	IX(5)= 0.245	IY(5)= 5.215	IZ(5)= 0.216
AX(6)= 2.505	IX(6)= 0.245	IY(6)= 5.276	IZ(6)= 0.217
AX(7)= 2.512	IX(7)= 0.245	IY(7)= 5.337	IZ(7)= 0.218
AX(8)= 2.519	IX(8)= 0.245	IY(8)= 5.398	IZ(8)= 0.218
AX(9)= 2.526	IX(9)= 0.245	IY(9)= 5.458	IZ(9)= 0.219
AX(10)= 2.533	IX(10)= 0.245	IY(10)= 5.519	IZ(10)= 0.220
AX(11)= 2.540	IX(11)= 0.245	IY(11)= 5.580	IZ(11)= 0.221

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 2

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.100
XM(2)= 1.287	YM(2)= 0.116	FI(2)= 0.080
XM(3)= 2.575	YM(3)= 0.206	FI(3)= 0.060
XM(4)= 3.862	YM(4)= 0.271	FI(4)= 0.040
XM(5)= 5.150	YM(5)= 0.309	FI(5)= 0.020
XM(6)= 6.437	YM(6)= 0.322	FI(6)= 0.0
XM(7)= 7.725	YM(7)= 0.309	FI(7)= -0.020
XM(8)= 9.012	YM(8)= 0.271	FI(8)= -0.040
XM(9)= 10.300	YM(9)= 0.206	FI(9)= -0.060
XM(10)= 11.587	YM(10)= 0.116	FI(10)= -0.080
XM(11)= 12.875	YM(11)= -0.000	FI(11)= -0.100

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.540	IX(1)= 0.245	IY(1)= 5.580	IZ(1)= 0.221
AX(2)= 2.547	IX(2)= 0.245	IY(2)= 5.654	IZ(2)= 0.221
AX(3)= 2.554	IX(3)= 0.245	IY(3)= 5.727	IZ(3)= 0.222
AX(4)= 2.562	IX(4)= 0.245	IY(4)= 5.801	IZ(4)= 0.223
AX(5)= 2.569	IX(5)= 0.245	IY(5)= 5.875	IZ(5)= 0.223
AX(6)= 2.576	IX(6)= 0.245	IY(6)= 5.948	IZ(6)= 0.224
AX(7)= 2.583	IX(7)= 0.245	IY(7)= 6.022	IZ(7)= 0.225
AX(8)= 2.591	IX(8)= 0.245	IY(8)= 6.095	IZ(8)= 0.226
AX(9)= 2.598	IX(9)= 0.245	IY(9)= 6.169	IZ(9)= 0.226
AX(10)= 2.605	IX(10)= 0.245	IY(10)= 6.243	IZ(10)= 0.227
AX(11)= 2.612	IX(11)= 0.245	IY(11)= 6.316	IZ(11)= 0.228

CARACTERÍSTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 3

COORDENADAS E INCLINAÇÃO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= 0.0	FI(1)= 0.127
XM(2)= 1.611	YM(2)= 0.185	FI(2)= 0.101
XM(3)= 3.223	YM(3)= 0.328	FI(3)= 0.076
XM(4)= 4.834	YM(4)= 0.430	FI(4)= 0.051
XM(5)= 6.446	YM(5)= 0.491	FI(5)= 0.025
XM(6)= 8.057	YM(6)= 0.512	FI(6)= 0.000
XM(7)= 9.669	YM(7)= 0.491	FI(7)= -0.025
XM(8)= 11.280	YM(8)= 0.430	FI(8)= -0.051
XM(9)= 12.892	YM(9)= 0.328	FI(9)= -0.076
XM(10)= 14.503	YM(10)= 0.185	FI(10)= -0.101
XM(11)= 16.115	YM(11)= 0.0	FI(11)= -0.127

ÁREA E INÉRCIAS SEGUNDO OS TRÊS EIXOS

AX(1)= 2.612	IX(1)= 0.245	IY(1)= 6.316	IZ(1)= 0.228
AX(2)= 2.622	IX(2)= 0.245	IY(2)= 6.434	IZ(2)= 0.229
AX(3)= 2.632	IX(3)= 0.245	IY(3)= 6.551	IZ(3)= 0.230
AX(4)= 2.641	IX(4)= 0.245	IY(4)= 6.668	IZ(4)= 0.231
AX(5)= 2.651	IX(5)= 0.245	IY(5)= 6.786	IZ(5)= 0.232
AX(6)= 2.661	IX(6)= 0.245	IY(6)= 6.903	IZ(6)= 0.232
AX(7)= 2.671	IX(7)= 0.245	IY(7)= 7.020	IZ(7)= 0.233
AX(8)= 2.680	IX(8)= 0.245	IY(8)= 7.138	IZ(8)= 0.234
AX(9)= 2.690	IX(9)= 0.245	IY(9)= 7.255	IZ(9)= 0.235
AX(10)= 2.700	IX(10)= 0.245	IY(10)= 7.372	IZ(10)= 0.236
AX(11)= 2.709	IX(11)= 0.245	IY(11)= 7.490	IZ(11)= 0.237

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.088
XM(2)= 1.258	YM(2)= 0.098	FI(2)= 0.068
XM(3)= 2.517	YM(3)= 0.172	FI(3)= 0.049
XM(4)= 3.775	YM(4)= 0.220	FI(4)= 0.029
XM(5)= 5.034	YM(5)= 0.245	FI(5)= 0.010
XM(6)= 6.292	YM(6)= 0.245	FI(6)= -0.010
XM(7)= 7.550	YM(7)= 0.220	FI(7)= -0.029
XM(8)= 8.809	YM(8)= 0.172	FI(8)= -0.049
XM(9)= 10.067	YM(9)= 0.098	FI(9)= -0.068
XM(10)= 11.326	YM(10)= -0.000	FI(10)= -0.088

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.709	IX(1)= 0.245	IY(1)= 7.490	IZ(1)= 0.237
AX(2)= 2.720	IX(2)= 0.245	IY(2)= 7.605	IZ(2)= 0.238
AX(3)= 2.731	IX(3)= 0.245	IY(3)= 7.721	IZ(3)= 0.239
AX(4)= 2.742	IX(4)= 0.245	IY(4)= 7.837	IZ(4)= 0.240
AX(5)= 2.753	IX(5)= 0.245	IY(5)= 7.953	IZ(5)= 0.240
AX(6)= 2.763	IX(6)= 0.245	IY(6)= 8.068	IZ(6)= 0.241
AX(7)= 2.774	IX(7)= 0.245	IY(7)= 8.184	IZ(7)= 0.242
AX(8)= 2.785	IX(8)= 0.245	IY(8)= 8.300	IZ(8)= 0.243
AX(9)= 2.796	IX(9)= 0.245	IY(9)= 8.415	IZ(9)= 0.244
AX(10)= 2.807	IX(10)= 0.245	IY(10)= 8.531	IZ(10)= 0.244

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 5

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.012
XM(2)= 1.509	YM(2)= -0.000	FI(2)= -0.012

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.807	IX(1)= 0.245	IY(1)= 8.531	IZ(1)= 0.244
AX(2)= 2.817	IX(2)= 0.249	IY(2)= 8.647	IZ(2)= 0.245

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 6

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= 0.0	FI(1)= 0.100
XM(2)= 1.283	YM(2)= 0.116	FI(2)= 0.080
XM(3)= 2.565	YM(3)= 0.206	FI(3)= 0.060
XM(4)= 3.848	YM(4)= 0.271	FI(4)= 0.040
XM(5)= 5.131	YM(5)= 0.309	FI(5)= 0.020
XM(6)= 6.413	YM(6)= 0.322	FI(6)= 0.000
XM(7)= 7.696	YM(7)= 0.309	FI(7)= -0.020
XM(8)= 8.979	YM(8)= 0.271	FI(8)= -0.040
XM(9)= 10.261	YM(9)= 0.206	FI(9)= -0.060
XM(10)= 11.544	YM(10)= 0.116	FI(10)= -0.080
XM(11)= 12.827	YM(11)= 0.0	FI(11)= -0.100

204

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 2.817	IX(1)= 0.249	IY(1)= 8.647	IZ(1)= 0.245
AX(2)= 2.861	IX(2)= 0.253	IY(2)= 8.906	IZ(2)= 0.248
AX(3)= 2.904	IX(3)= 0.256	IY(3)= 9.164	IZ(3)= 0.251
AX(4)= 2.947	IX(4)= 0.260	IY(4)= 9.423	IZ(4)= 0.253
AX(5)= 2.990	IX(5)= 0.263	IY(5)= 9.682	IZ(5)= 0.256
AX(6)= 3.033	IX(6)= 0.266	IY(6)= 9.941	IZ(6)= 0.259
AX(7)= 3.077	IX(7)= 0.270	IY(7)= 10.199	IZ(7)= 0.261
AX(8)= 3.120	IX(8)= 0.273	IY(8)= 10.458	IZ(8)= 0.264
AX(9)= 3.163	IX(9)= 0.277	IY(9)= 10.717	IZ(9)= 0.267
AX(10)= 3.206	IX(10)= 0.280	IY(10)= 10.975	IZ(10)= 0.270
AX(11)= 3.249	IX(11)= 0.284	IY(11)= 11.234	IZ(11)= 0.272

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVA NO. 7

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.109
XM(2)= 1.394	YM(2)= 0.137	FI(2)= 0.087
XM(3)= 2.788	YM(3)= 0.244	FI(3)= 0.065
XM(4)= 4.181	YM(4)= 0.320	FI(4)= 0.044
XM(5)= 5.575	YM(5)= 0.365	FI(5)= 0.022
XM(6)= 6.969	YM(6)= 0.380	FI(6)= 0.000
XM(7)= 8.363	YM(7)= 0.365	FI(7)= -0.022
XM(8)= 9.757	YM(8)= 0.320	FI(8)= -0.044
XM(9)= 11.151	YM(9)= 0.244	FI(9)= -0.065
XM(10)= 12.544	YM(10)= 0.137	FI(10)= -0.087
XM(11)= 13.938	YM(11)= -0.000	FI(11)= -0.109

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 3.249	IX(1)= 0.284	IY(1)= 11.234	IZ(1)= 0.272
AX(2)= 3.293	IX(2)= 0.286	IY(2)= 11.599	IZ(2)= 0.275
AX(3)= 3.336	IX(3)= 0.289	IY(3)= 11.963	IZ(3)= 0.278
AX(4)= 3.380	IX(4)= 0.291	IY(4)= 12.328	IZ(4)= 0.281
AX(5)= 3.423	IX(5)= 0.294	IY(5)= 12.693	IZ(5)= 0.283
AX(6)= 3.467	IX(6)= 0.296	IY(6)= 13.057	IZ(6)= 0.286
AX(7)= 3.510	IX(7)= 0.299	IY(7)= 13.422	IZ(7)= 0.289
AX(8)= 3.554	IX(8)= 0.301	IY(8)= 13.787	IZ(8)= 0.291
AX(9)= 3.597	IX(9)= 0.304	IY(9)= 14.151	IZ(9)= 0.294
AX(10)= 3.641	IX(10)= 0.306	IY(10)= 14.516	IZ(10)= 0.297
AX(11)= 3.684	IX(11)= 0.309	IY(11)= 14.881	IZ(11)= 0.300

CARACTERISTICAS DO MEMBRO CURVO NO. 8

COORDENADAS E INCLINACAO DO EIXO DO ARCO

XM(1)= 0.0	YM(1)= -0.000	FI(1)= 0.113
XM(2)= 1.449	YM(2)= 0.148	FI(2)= 0.091
XM(3)= 2.899	YM(3)= 0.264	FI(3)= 0.068
XM(4)= 4.348	YM(4)= 0.346	FI(4)= 0.045
XM(5)= 5.798	YM(5)= 0.395	FI(5)= 0.023
XM(6)= 7.247	YM(6)= 0.411	FI(6)= 0.000
XM(7)= 8.697	YM(7)= 0.395	FI(7)= -0.023
XM(8)= 10.146	YM(8)= 0.346	FI(8)= -0.045
XM(9)= 11.595	YM(9)= 0.264	FI(9)= -0.068
XM(10)= 13.045	YM(10)= 0.148	FI(10)= -0.091
XM(11)= 14.494	YM(11)= -0.000	FI(11)= -0.113

AREA E INERCIAIS SEGUNDO OS TRES EIXOS

AX(1)= 3.684	IX(1)= 0.309	IY(1)= 14.881	IZ(1)= 0.300
AX(2)= 3.724	IX(2)= 0.310	IY(2)= 15.271	IZ(2)= 0.302
AX(3)= 3.764	IX(3)= 0.313	IY(3)= 15.662	IZ(3)= 0.304
AX(4)= 3.804	IX(4)= 0.314	IY(4)= 16.052	IZ(4)= 0.307
AX(5)= 3.844	IX(5)= 0.316	IY(5)= 16.443	IZ(5)= 0.309
AX(6)= 3.883	IX(6)= 0.318	IY(6)= 16.833	IZ(6)= 0.312
AX(7)= 3.923	IX(7)= 0.320	IY(7)= 17.224	IZ(7)= 0.314
AX(8)= 3.963	IX(8)= 0.322	IY(8)= 17.614	IZ(8)= 0.317
AX(9)= 4.003	IX(9)= 0.324	IY(9)= 18.005	IZ(9)= 0.319
AX(10)= 4.042	IX(10)= 0.326	IY(10)= 18.396	IZ(10)= 0.322
AX(11)= 4.082	IX(11)= 0.328	IY(11)= 18.786	IZ(11)= 0.324

C A R R E G A M E N T O

N U M E R O 1

INFORMACAO SOBRE O CARREGAMENTO

LDE NLJ MLR MLC

0 2 0 8

ESFORÇOS APLICADOS SOBRE AS JUNTAS SEGUNDO OS EIXOS DA ESTRUTURA

JUNTA	FORÇAS SEGUNDO OS 3 EIXOS	MOMENTOS SEGUNDO OS 3 EIXOS
J	FX FY FZ	MX MY MZ
1	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 -150.0
9	0.0 0.0 0.0	80.0 0.0 0.0

ESFORÇOS APLICADOS AO MEMBRO CURVO NO. 1 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC	NCDX	NCDY	NCDZ1	NCDZP	NCM	ICCNC
9	0	0	0	0	0	0

PX	PY	FZ	DA	DB
0.0	0.0	8.288	1.394	0.137
0.0	0.0	8.311	2.788	0.244
0.0	0.0	8.335	4.181	0.320
0.0	0.0	8.358	5.575	0.365
0.0	0.0	8.381	6.969	0.380
0.0	0.0	8.404	8.363	0.365
0.0	0.0	8.428	9.757	0.320
0.0	0.0	8.452	11.151	0.244
0.0	0.0	8.474	12.544	0.137

ESFORÇOS APLICADOS AO MEMBRO CURVO NO. 2 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZP NCM ICCMG
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	FZ	DA	DB
0.0	0.0	7.868	1.287	0.116
0.0	0.0	7.890	2.575	0.206
0.0	0.0	7.913	3.862	0.271
0.0	0.0	7.935	5.150	0.309
0.0	0.0	7.957	6.437	0.322
0.0	0.0	7.980	7.725	0.309
0.0	0.0	8.002	9.012	0.271
0.0	0.0	8.024	10.300	0.206
0.0	0.0	8.047	11.587	0.116

ESFORÇOS APLICADOS AO MEMBRO CURVO NO. 3 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZP NCM ICCMG
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	FZ	DA	DB
0.0	0.0	10.138	1.611	0.185
0.0	0.0	10.175	3.223	0.328
0.0	0.0	10.213	4.834	0.430
0.0	0.0	10.251	6.446	0.491
0.0	0.0	10.288	8.057	0.512
0.0	0.0	10.326	9.669	0.491
0.0	0.0	10.363	11.280	0.430
0.0	0.0	10.401	12.892	0.328
0.0	0.0	10.438	14.503	0.185

ESFORÇOS APLICADOS AO MEMBRO CURVO Nº. 4 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZP NCM ICCNC
 8 0 0 0 0 0 0

PX	PY	FZ	DA	DB
0.0	0.0	8.383	1.283	0.116
0.0	0.0	8.416	2.565	0.206
0.0	0.0	8.472	3.848	0.271
0.0	0.0	8.483	5.131	0.309
0.0	0.0	8.516	6.413	0.322
0.0	0.0	8.549	7.696	0.309
0.0	0.0	8.583	8.979	0.271
0.0	0.0	8.616	10.261	0.206

ESFORÇOS APLICADOS AO MEMBRO CURVO Nº. 5 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZP NCM ICCNC
 1 0 0 0 0 0 0

PX	PY	FZ	DA	DB
0.0	0.0	8.649	0.100	0.100

ESFERCAS APLICADAS AO MEMBRO CURVO NO. 6 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZF NCM ICCNC
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	FZ	DA	EE
0.0	0.0	8.809	1.283	0.116
0.0	0.0	8.942	2.565	0.206
0.0	0.0	9.081	3.848	0.271
0.0	0.0	9.207	5.131	0.309
0.0	0.0	9.329	6.413	0.322
0.0	0.0	9.473	7.696	0.309
0.0	0.0	9.606	8.979	0.271
0.0	0.0	9.729	10.261	0.206
0.0	0.0	9.872	11.544	0.116

ESFERCAS APLICADAS AO MEMBRO CURVO NO. 7 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZF NCM ICCNC
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	FZ	DA	DE
0.0	0.0	11.016	1.394	0.137
0.0	0.0	11.162	2.788	0.244
0.0	0.0	11.308	4.181	0.320
0.0	0.0	11.453	5.575	0.365
0.0	0.0	11.599	6.969	0.380
0.0	0.0	11.744	8.363	0.365
0.0	0.0	11.890	9.757	0.320
0.0	0.0	12.037	11.151	0.244
0.0	0.0	12.181	12.544	0.137

ESFORÇOS APLICADOS AO MEMBRO CURVO Nº. 8 SEGUNDO OS EIXOS LOCAIS

NCC NCDX NCDY NCDZT NCDZP NCM ICGNC
 9 0 0 0 0 0 0

PX	PY	PZ	DA	DB
0.0	0.0	12.952	1.449	0.148
0.0	0.0	13.090	2.899	0.264
0.0	0.0	13.228	4.348	0.346
0.0	0.0	13.366	5.798	0.395
0.0	0.0	13.505	7.247	0.411
0.0	0.0	13.643	8.697	0.395
0.0	0.0	13.782	10.146	0.346
0.0	0.0	13.920	11.595	0.264
0.0	0.0	14.058	13.045	0.148

ESFORÇOS	FINAIS	NAS	EXTREMIDADES	DO	MEMBROS	CURVOS		
MB	JUNTA	FORÇA X	FORÇA Y	FORÇA Z	MOMEN X	MOMEN Y	MOMEN Z	
1	1	-5.42	-0.51	33.51	32.46	146.43	0.30	
1	2	-5.18	-1.67	41.93	-5.35	-92.33	15.03	
2	2	-3.62	0.19	39.16	23.52	89.54	-14.66	
2	3	-3.59	-0.53	32.45	-11.17	-135.88	16.91	
3	3	-2.43	0.81	42.54	45.31	128.70	-16.36	
3	4	-2.56	0.18	50.05	-3.61	-76.60	8.34	
4	4	-0.57	0.74	27.07	16.86	74.87	-7.85	
4	5	-0.69	0.63	40.95	6.25	-7.19	0.06	
5	5	-0.15	0.48	-40.98	-6.10	7.39	0.00	
5	6	-0.16	0.48	49.63	7.86	68.98	1.52	
6	6	1.70	0.36	63.07	-21.41	-65.88	-2.77	
6	7	1.59	0.69	21.00	13.12	-214.68	-3.98	
7	7	2.73	-0.03	49.51	33.64	212.51	4.99	
7	8	2.67	0.56	54.88	-1.92	-190.58	-8.71	
8	8	4.94	-1.27	52.34	44.74	185.20	10.14	
8	9	5.10	-0.13	69.20	4.18	-79.89	0.11	

REACAO	NGS	APOIOS			MOMEN X	MOMEN Y	MOMEN Z
JUNT	FORCA X	FORCA Y	FORCA Z				
1	5.93	33.38	-1.75	0.0	0.0	0.0	
2	0.0	81.10	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	0.0	75.00	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	0.0	77.14	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	0.0	112.70	0.0	0.0	0.0	0.0	
7	0.0	70.52	0.0	0.0	0.0	0.0	
8	0.0	107.25	0.0	0.0	0.0	0.0	
9	1.62	69.07	-6.41	0.0	0.0	0.0	

DESLOCAMENTG DAS JUNIAS				ROTACAO X	ROTACAO Y	ROTACAO Z
JUNT	TRANSL. X	TRANSL. Y	TRANSL. Z			
1	0.0	0.0	0.0	-0.77E-03	-0.92E-03	-0.12E-03
2	0.14E-02	0.0	0.12E-01	-0.13E-02	-0.72E-03	0.29E-03
3	0.36E-02	0.0	0.19E-01	-0.15E-02	-0.30E-03	0.62E-03
4	0.48E-02	0.0	0.21E-01	-0.23E-02	0.10E-03	0.15E-02
5	0.39E-02	-0.43E-02	0.20E-01	-0.24E-02	0.20E-03	0.18E-02
6	-0.46E 00	0.0	-0.18E 00	-0.19E-02	-0.12E-01	0.28E-02
7	-0.33E 00	0.0	-0.93E-01	-0.62E-03	-0.12E-01	0.12E-02
8	-0.17E 00	0.0	-0.29E-01	-0.32E-03	-0.12E-01	0.11E-02
9	0.0	0.0	0.0	-0.21E-03	-0.12E-01	0.17E-02

CAPITULO VCONCLUSÕES

Como todo programa, este também, tem sua dimensão em função do computador onde está sendo processado. No /360, da forma como estão atualmente as partições, o programa é rodado na classe G, portanto com o limite de 172K. Nestas condições o programa pode ter no máximo 20 juntas, porque a matriz de rigidez global tem a dimensão de 120x114, e esta matriz tem que ficar na memória, não pode ficar em disco, pois, devido a sua constante utilização aumentaria o tempo de processamento do programa.

Tendo em vista a facilidade de entrada de dados e o curto tempo de processamento necessários para o cálculo dos exemplos pelo programa em comparação com o cálculo feito pelo STRESS, concluímos ter sido válido o nosso trabalho nesta tese.

O programa pode, e deve, ser melhorado. Seria muito útil se os resultados do programa fossem fornecidos não só nos nós, como também, em qualquer secção intermediária, principalmente para os elementos curvos. Não foi previsto no programa a existência de apoios inclinados, com ligeira modificação, estes poderiam ser introduzidos. O fornecimento dos resultados da combinação dos carregamentos, também facilita muito o trabalho de cálculo de uma estrutura.

Tendo em vista a aplicação ao cálculo de pontes, convem fazer uma subrotina para calcular linhas de influência, e nos parece viável a idéia de traçá-las no PLOTTER.

Portanto, com algumas modificações, este programa pode ser muito útil para o cálculo de diversas estruturas tais como: pontes curvas, com curvatura tanto em planta como em perfil, coberturas de projeção circular compostas de elementos unidimensionais que podem ser eixos curvos segundo os paralelos e meridianos, e, até mesmo, estruturas com elementos de eixo reverso, desde que estes sejam subdivididos em vários elementos de eixo curvo contido num plano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

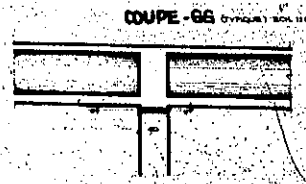
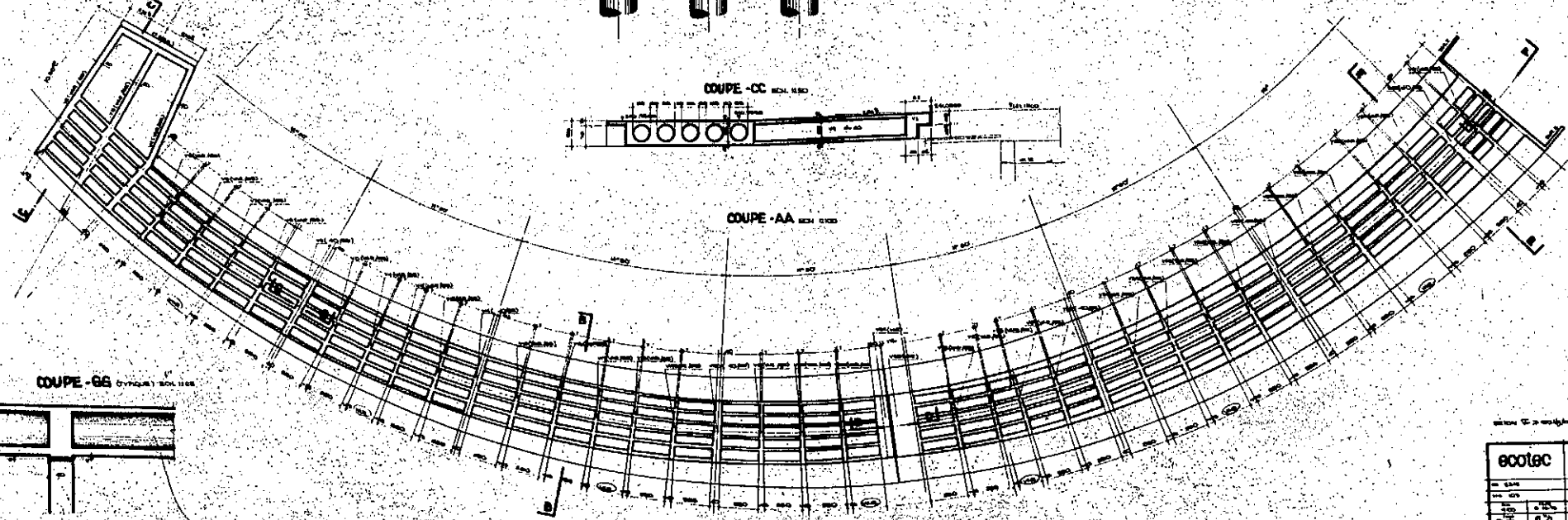
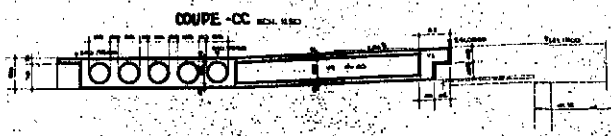
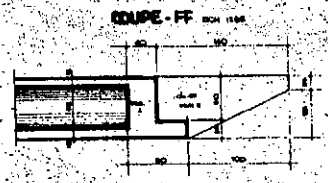
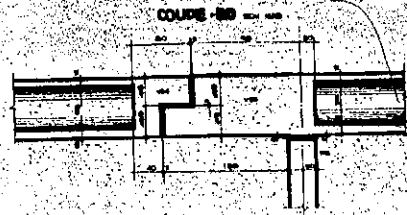
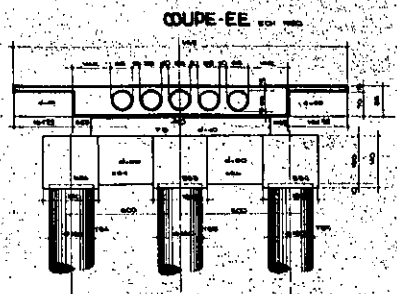
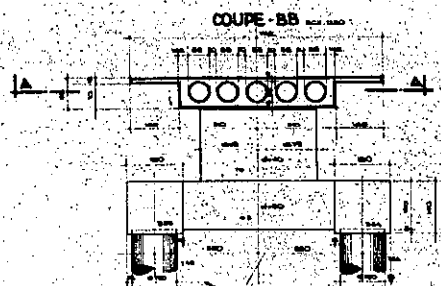
- 1 - LOBO CARNEIRO, F.L. - "Matriz de Flexibilidade e Rigidez dos Elementos" - COPPE-UFRJ-Rio de Janeiro,GB - março,1971.
- 2 - LOBO CARNEIRO, F.L. - "Introdução de Liberação nos Elementos de uma Estrutura" - COPPE-UFRJ-Rio de Janeiro,GB -março,1971.
- 3 - CHARONE FILHO,NAGIB - "Análise por Computadores Digitais de Estruturas Reticuladas no Espaço, com Elementos de Secção Variável" - COPPE-UFRJ-Rio de Janeiro,GB - dezembro,1971.
- 4 - GUIMARÃES SOUZA,NESTOR - "Análise por Computadores de Porticos Planos com Elementos de Eixo Curvo e Secção Variável" COPPE-UFRJ - Rio de Janeiro,GB - setembro,1971.
- 5 - FIGUEIRÔA,JOSÉ DO PATROCÍNIO - "Análise de Grelhas com Eixo Curvo e Secção Variável" - COPPE-UFRJ-Rio de Janeiro,GB - setembro,1972.

- 6 - GERE, J.M. & WEAVER, W.Jr - "Analysis of Framed Structures",
Van Nostrand Company Inc, Princeton - New Jersey, 1965.

- 7 - WEAVER, W.Jr - "Computer Programs for Structural Analysis",
Van Nostrand Company Inc, Princeton - New Jersey, 1967.

- 8 - LEONTOVICH, V. - "Frames and Arches", Mc Graw-Hill Book
Company, Inc., - New York, 1959.

- 9 - PACITTI, T. - "Fortran - Monitor, Principios", Ao Livro
Técnico S.A., Rio de Janeiro, 1968.



ETAT: 0 - 0 - 0

ECOLOC	Centre Olympique d'Alsace
no. 1248	
no. 1975	
no. 1975	COTRAGE DE LA MESSAGERIE 14
no. 1975	COUPE ET DETAILS
no. 1975	PROJETS ARCHITECTURALS 105