

ESCOLA POLITECNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

ESTRUTURA SIMÉTRICA DE SUSTENTAÇÃO

DIMENSIONAMENTO POR COMPUTADOR

Autor: LUCA VITTORIO UBERTI

Orientador: PROF.HILDO PERA

1988

APRESENTAÇÃO

Com a difusão do uso de computadores de pequeno porte no mundo hoje em dia, processos de cálculo que tinham sua aplicação limitada, devido mais à trabalhosidade do que à dificuldade teórica, vem tendo muita aceitação na indústria em geral.

O próprio desenvolvimento dos computadores, vem estimulando a pesquisa de novos métodos, e o adequamento de outros já existentes às possibilidades da informática.

O uso de métodos numéricos na solução de problemas, já é uma constante em problemas de transferência de calor e cálculo estrutural, e também uma técnica consagrada há tempos na solução de equações matemáticas e cálculo integral.

No primeiro caso, o método utilizado consiste em dividir uma peça, ou parte dela, em uma quantidade de pequenos volumes de tal forma que o problema de distribuição geométrica possa ser contornado. Então, a propriedade procurada é a soma das propriedades de cada pequeno volume infinitesimal. Percebe-se daí, que a precisão da resposta do problema está diretamente ligada à quantidade de volumes adotada, a qual, por sua vez, está ligada à capacidade de processamento do sistema, ou então, à qualidade desejada dos resultados.

Uma outra técnica, comum na solução de problemas matemáticos, é aquela em que escolhe-se um sistema de equações que represente

o fenômeno, limitando o espaço das soluções do problema, sem ter contudo, potência suficiente para resolvê-lo. Este sistema de equações pode ser escolhido de forma conveniente, de modo que, resolvido de forma iterativa, convirja para um resultado final correto. Este tipo de abordagem tem, evidentemente, muitas limitações quanto ao campo de aplicações, mas normalmente, em compensa-ção, exige menos capacidade para o sistema de computação.

Tal método se aplica, com ótimos resultados, na solução de estruturas metálicas simétricas de sustentação, compostas apenas por pilares e vigas, formando um esqueleto com simetria poligo-nal. As barras que compõem a estrutura encontram-se em pontos que são denominados nós.

Aplicando equações da estática a cada uma das barras, e impondo a condição de equilíbrio dos nós, obtém-se um sistema de e-quações de recorrência que, com tratamento iterativo, convergem para a solução da estrutura.

O desenvolvimento desta teoria, assim como a aplicação do método para o dimensionamento de uma estrutura de sustentação simétrica com seis colunas, para um gerador de vapor de recupera-ção de licor preto com capacidade de 300 toneladas por dia, constituirão o objetivo principal deste trabalho, que se baseia em u-ma teoria desenvolvida por um estudioso italiano, o professor G. Kani.

Indice:

I. Introdução	1
II. Fundamentos	1
III. Algoritmo para Estrutura com Nós Deslocáveis	14
IV. Estrutura com Carga Horizontal Aplicada Sobre os Nós	27
V. Justificativa da Necessidade	36
VI. Apresentação do Algoritmo	37
VII. Aplicação do Programa ao Exemplo Proposto	65
VIII. Aplicação a Estruturas Simétricas	80
IX. Conclusão	83
Bibliografia	84

I. Introdução:

Para as estruturas metálicas comumente encontradas em indústrias e construções em geral, existe uma grande dificuldade em seu dimensionamento devido ao seu elevado grau de hiperestaticidade. No caso de estruturas simétricas, a complexidade dos cálculos cresce à medida que aumenta o número de nós da estrutura, porque aumenta o número de equações a serem resolvidas.

O método em questão, é um método iterativo que permite atingir resultados satisfatórios com bastante rapidez. Os eventuais erros cometidos no desenvolvimento dos cálculos, são eliminados pela própria convergência do processo.

O ponto fraco do método consiste no fato de que, na presença de cargas horizontais nos nós, como é o caso do impulso causado pelo vento, a resposta do sistema é mais lenta, o que não representa um problema quando se tem disponível um computador.

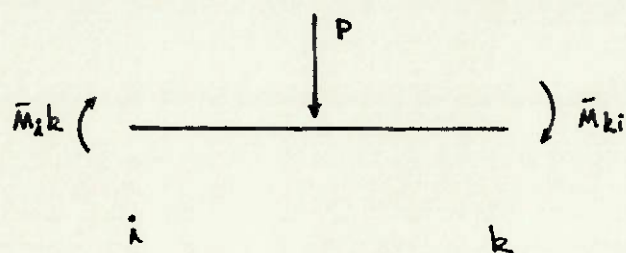
II. Fundamentos:

Consideramos, inicialmente, uma estrutura na qual, possamos admitir que os nós não se desloquem sob a ação do carregamento.

Isolando uma viga ik com nós fixos, podemos escrever uma deformação qualquer como sendo, pelo princípio da superposição, resultante de três situações:

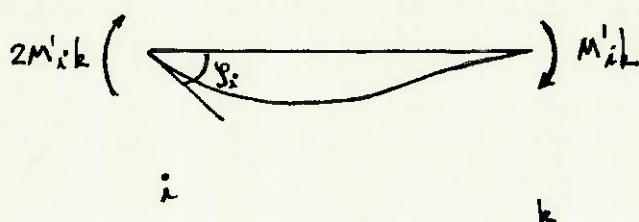
i) Deformação devido ao carregamento supondo a viga engastada em suas duas extremidades. Denominaremos o momento resultante nas

extremidades de $\bar{M}_{ik}$ e $\bar{M}_{ki}$, respectivamente para os engastamentos direito e esquerdo.

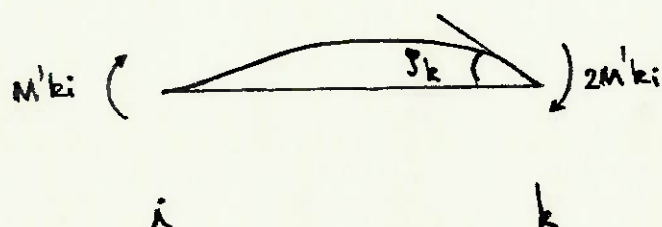


ii) Deformação devido à rotação do nó esquerdo. Denominaremos o momento resultante na extremidade direita de M'_{ik} .

Supomos que a viga esteja engastada na extremidade oposta à a aquela que gira.



iii) Deformação devido à rotação do nó direito. Denominaremos o momento resultante na extremidade direita de M'_{ki} .



Com isto, podemos escrever as seguintes expressões, utilizando o princípio da superposição dos efeitos:

Momento na extremidade i:

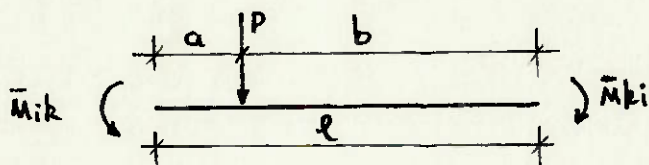
$$M_{ik} = \bar{M}_{ik} + M'_{ki} + 2M'_{ik} \quad (1)$$

Momento na extremidade k:

$$M_{ki} = \bar{M}_{ki} + M'_{ik} + 2M'_{ki} \quad (2)$$

Os momentos $\bar{M}$ podem ser calculados com o auxílio de fórmulas da resistência dos materiais.

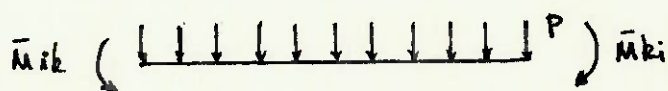
Para carga concentrada temos:



$$\bar{M}_{ik} = -P \cdot a \cdot b / l^2$$

$$\bar{M}_{ki} = P \cdot (2ab^2 + b^3 - l^3 + al^2) / l^2$$

Para carga distribuída temos:



$$-\bar{M}_{ik} = \bar{M}_{ki} = P \cdot l / 8$$

Em um nó i onde chegam n barras, e sendo os momentos M conhecidos, temos:

$$\sum \text{Momentos} = 0$$

Portanto:

$$\sum_k M_{ik} = \sum_k \bar{M}_{ik} + \sum_k 2M'_{ik} + \sum_k M'_{ki} = 0$$

Desenvolvendo:

$$\sum_k M'_{ik} = -1/2 \cdot (\sum_k \bar{M}_{ik} + \sum_k M'_{ki}) \quad (3)$$

Mas:

$$M'_{ik} = 2.E.K_{ik}.\theta_i$$

onde : θ_i = ângulo de rotação da extremidade i

K_{ik} = constante geométrica da viga = J_{ik}/l_{ik}

J_{ik} = momento de inércia da viga

l_{ik} = comprimento da viga

Como θ_i é igual para todas as vigas que chegam em um mesmo nó podemos escrever:

$$M'_{ik} / \sum_k M'_{ik} = (2.E.\theta_i.K_{ik}) / \sum_k (2.E.\theta_i.K_{ik})$$

Desenvolvendo:

$$M'_{ik} / \sum_k M'_{ik} = (-1/2) \cdot (K_{ik} / \sum_k K_{ik}) \quad (4)$$

Multiplicando a expressão (3) por $K_{ik} / \sum_k K_{ik}$ obtemos:

$$M'_{ik} \cdot (K_{ik} / \sum_k K_{ik}) = -(1/2) \cdot (K_{ik} / \sum_k K_{ik}) \cdot (\bar{M}_i + \sum_k M'_{ki}) \quad (5)$$

$$\text{onde: } \bar{M}_i = \sum_k M_{ik}$$

Substituindo a expressão (4) em (5) obtemos:

$$M'_{ik} = u_{ik} \cdot (\bar{M}_i + \sum_k M'_{ki}) \quad (6)$$

$$\text{onde: } u_{ik} = - (1/2) \cdot K_{ik} / \sum_k K_{ik}$$

De posse da expressão (6) podemos iniciar o cálculo para uma estrutura com nós supostamente fixos. Na prática, uma estrutura com nós fixos é aquela cujos nós são impedidos de se deslocar por forças externas que não introduzem momentos. É o caso de estruturas amarradas com tirantes, por exemplo.

A metodologia para a resolução da equação é a seguinte:

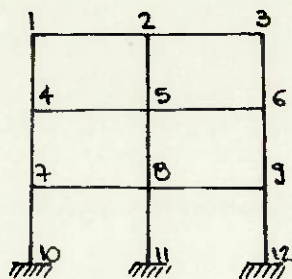
Calculam-se os momentos M devidos ao carregamento. Montam-se as equações para todos os nós da estrutura. Executa-se um cálculo iterativo, começando pelo primeiro nó, estabelecendo-se M'_{ki} igual a zero na equação (6) e passando-se para o próximo nó.

À medida que os M'_{ik} vão sendo encontrados, são substituídos nas equações seguintes. A primeira iteração termina quando atinge-se novamente o primeiro nó. São necessárias um número de iterações de aproximadamente vinte para a convergência do método. Isto significa resolver cerca de 540 equações, para este caso, ou, seja, cerca de 1500 operações.

Substituindo-se os momentos M'_{ki} encontrados em (1), chega-se ao momento desejado M_{ik} , na extremidade i da barra ik .

Vamos ilustrar o que foi descrito acima com um exemplo:

Seja a seguinte estrutura:



A estrutura é composta por 15 vigas de perfil I, padrão americano. Cada uma das vigas tem 6000 mm de comprimento, e seu momento de inércia é 6660 cm⁴.

A numeração dos nós indicada na figura, é aquela que será adotada neste trabalho, e também no algoritmo apresentado no final.

Aplicando inicialmente a relação para o cálculo de u:

$$u_{ik} = \left(-1/2 \right) \cdot k_{ik} / \sum_k K_{ik}$$

$$\text{onde: } K_{ik} = J_{ik} / l_{ik}$$

Como todas as vigas são iguais, temos que K_{ik} é constante.

$$K_{ik} = 6660 / 600 = 11.1 \text{ cm}^3.$$

Para o nó 1:

$$u_{12} = \left(-1/2 \right) \cdot K_{31} / (K_{31} + K_{34} + k_{35})$$

$$u_{12} = \left(-1/2 \right) \cdot \left(1/2 \right)$$

$$u_{12} = -0,25$$

Observando a figura, notamos que:

$$u_{14} = u_{12}$$

Isto ocorre para este caso específico em que K_{ik} é cons -

tante para todas as barras.

Temos também que u_{ik} é igual a $-0,25$ para todas as barras que concorrem em nós para os quais o número de barras incidentes é 2, ou seja, para os nós 1 e 3.

Para o nó 2:

$$u_{23} = \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot \frac{K_{23}}{(k_{23} + K_{21} + K_{25})}$$

$$u_{23} = \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{3} \right) = -\frac{1}{6}$$

$$u_{12} = -0,167$$

Da mesma forma, temos que u_{ik} é $-0,167$ para todos os nós em que concorrem 3 barras. Portanto para os nós 2, 4, 7, 6 e 9.

Para o nó 5:

$$u_{56} = \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot \frac{K_{56}}{(k_{52} + k_{56} + k_{58} + K_{54})}$$

$$u_{56} = \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{4} \right) = -0,125$$

Do mesmo modo, u_{ik} é $-0,125$ para todas as vigas que concorrem em nós nos quais incidem 4 vigas, ou seja, os nós 5 e 8.

Vamos admitir que a estrutura esteja carregada de tal forma que os momentos M_{ik} nas vigas ik , causados pelo carregamento sejam:

$$\bar{M}_{12} = \bar{M}_{21} = \bar{M}_{23} = \bar{M}_{32} = 4000$$

De posse destes valores, podemos escrever as equações de recorrência, usando expressão (6).

$$M'_{ik} = u_{ik} \cdot (\bar{M}_i + \sum M'_{ki})$$

Para o nó 1:

$$M'_{12} = (-0.5) \cdot (4000 + M'_{21} + M'_{14})$$

$$M'_{14} = (-0.5) \cdot (4000 + M'_{21} + M'_{14})$$

Para o nó 2:

$$M'_{21} = -0.167 \cdot (8000 + M'_{12} + M'_{32} + M'_{52})$$

$$M'_{23} = -0.167 \cdot (8000 + M'_{12} + M'_{32} + M'_{52})$$

$$M'_{25} = -0.167 \cdot (8000 + M'_{12} + M'_{32} + M'_{52})$$

Observamos que M'_{12} é igual a M'_{14} , e M'_{21} é igual a M'_{23} e M'_{25} . Isto ocorre porque o deslocamento angular é igual para as barras concorrentes no mesmo nó. Assim desde que elas possuam o mesmo valor de u , os momentos M' serão iguais.

Para o nó 5:

$$M'_{56} = -0.125 \cdot (M'_{25} + M'_{65} + M'_{85} + M'_{45})$$

$$M'_{58} = M'_{54} = M'_{52} = M'_{56}$$

Para efeito do cálculo iterativo, não é necessário considerar os momentos dos nós da base.

O conjunto completo de equações de recorrência é, portanto:

$$M'_{12} = -0.25 \cdot (4000 + M'_{21} + M'_{41})$$

$$M'_{13} = M'_{12}$$

$$M'21 = -0.167. (8000+M'12+M'32+M'52)$$

$$M'25 = M'21$$

$$M'23 = M'21$$

$$M'32 = -0.25. (4000+M'63+M'23)$$

$$M'36 = M'32$$

$$M'65 = -0.167.(M'56+M'36+M'96)$$

$$M'69 = M'65$$

$$M'63 = M'65$$

$$M'54 = -0.125.(M'25+M'65+M'85+M'54)$$

$$M'52 = M'54$$

$$M'56 = M'54$$

$$M'58 = M'54$$

$$M'47 = -0.167.(M'14+M'54+M'74)$$

$$M'45 = M'47$$

$$M'41 = M'47$$

$$M'74 = -0.167.(M'47+M'87)$$

$$M'78 = M'74$$

$$M'710 = M'74$$

$$M'89 = -0.125.(M'58+M'98+M'78)$$

$$M'85 = M'89$$

$$M'87 = M'89$$

$$M'811 = M'89$$

$$M'98 = -0.167.(M'89+M'69)$$

$$M'96 = M'98$$

$$M'912 = M'98$$

Observe que M'107, M'118 e M'129 foram postos iguais a zero já que os nós 10, 11 e 12 não podem girar por serem rígidos.

Na página seguinte, listamos um programa para computador, para resolver especificamente o sistema de equações acima. Nele, os momento M' são denominados MR, por analogia à "Momento de rotação".

Nas páginas subsequentes, listamos o andamento da solução para que se tenha uma idéia do processo de convergência. Observe-se que são necessárias 11 iterações para que o processo convirja totalmente, mas que, logo nos primeiros passos, alcança-se resultados bem próximos dos finais.

```

10 REM INICIO
20 N=1
30 MR12=-.25*(4000+MR21+MR41)
40 MR14=MR12
50 MR21=-.166666667#*(8000+MR12+MR52+MR32)
60 MR25=MR21
70 MR23=MR21
80 MR32=-.25*(4000+MR63+MR23)
90 MR36=MR32
100 MR65=-.166666667#*(MR56+MR36+MR96)
110 MR69=MR65
120 MR63=MR65
130 MR54=-.125*(MR25+MR65+MR85+MR45)
140 MR52=MR54
150 MR56=MR54
160 MR58=MR54
170 MR47=-.166666667#*(MR14+MR54+MR74)
180 MR45=MR47
190 MR41=MR47
200 MR74=-.166666667#*(MR47+MR87)
210 MR78=MR74
220 MR710=MR74
230 MR89=-.125*(MR58+MR98+MR78)
240 MR85=MR89
250 MR87=MR89
260 MR811=MR89
270 MR98=-.166666667#*(MR89+MR69)
280 MR96=MR98
290 MR912=MR98
300 LPRINT "ITERACAO";N
310 LPRINT "MR12=";MR12;" MR23=";MR23;" MR36=";MR36;" MR45=";MR45
320 LPRINT "MR56=";MR56;" MR69=";MR69;" MR78=";MR78;" MR89=";MR89
330 LPRINT "MR98=";MR98
340 LPRINT
350 N=N+1
360 GOTO 30
370 REM FIM

```

ITERACAO 1

MR12=-1000 MR23=-1166.667 MR36=-708.3334 MR45= 144.8206
MR56= 131.0764 MR69= 118.0556 MR78=-24.13677 MR89=-13.36745
MR98=-17.44802

ITERACAO 2

MR12=-744.5385 MR23=-1113.034 MR36=-751.2554 MR45= 109.8769
MR56= 109.4137 MR69= 106.2712 MR78=-16.08491 MR89=-9.485097
MR98=-16.13101

ITERACAO 3

MR12=-749.2107 MR23=-1101.491 MR36=-751.195 MR45= 108.9775
MR56= 111.4309 MR69= 109.652 MR78=-16.58206 MR89=-9.839731
MR98=-16.63539

ITERACAO 4

MR12=-751.8716 MR23=-1101.394 MR36=-752.0645 MR45= 109.4774
MR56= 111.589 MR69= 109.5448 MR78=-16.60629 MR89=-9.793411
MR98=-16.62524

ITERACAO 5

MR12=-752.0209 MR23=-1101.251 MR36=-752.0736 MR45= 109.5202
MR56= 111.506 MR69= 109.5183 MR78=-16.62113 MR89=-9.782459
MR98=-16.62264

ITERACAO 6

MR12=-752.0675 MR23=-1101.227 MR36=-752.0728 MR45= 109.5323
MR56= 111.4948 MR69= 109.5316 MR78=-16.62498 MR89=-9.780893
MR98=-16.62511

ITERACAO 7

MR12=-752.0762 MR23=-1101.224 MR36=-752.0769 MR45= 109.5348
MR56= 111.4923 MR69= 109.5346 MR78=-16.62565 MR89=-9.780189
MR98=-16.62573

ITERACAO 8

MR12=-752.0777 MR23=-1101.223 MR36=-752.0779 MR45= 109.5353
MR56= 111.4917 MR69= 109.5352 MR78=-16.62585 MR89=-9.78001
MR98=-16.62587

ITERACAO 9

MR12=-752.0781	MR23=-1101.223	MR36=-752.0781	MR45= 109.5354
MR56= 111.4915	MR69= 109.5354	MR78=-16.6259	MR89=-9.779966
MR98=-16.6259			

ITERACAO 10

MR12=-752.0782	MR23=-1101.223	MR36=-752.0781	MR45= 109.5354
MR56= 111.4915	MR69= 109.5354	MR78=-16.62591	MR89=-9.779955
MR98=-16.62591			

ITERACAO 11

MR12=-752.0782	MR23=-1101.223	MR36=-752.0781	MR45= 109.5354
MR56= 111.4915	MR69= 109.5354	MR78=-16.62591	MR89=-9.779953
MR98=-16.62591			

ITERACAO 12

MR12=-752.0782	MR23=-1101.223	MR36=-752.0781	MR45= 109.5354
MR56= 111.4915	MR69= 109.5354	MR78=-16.62591	MR89=-9.779953
MR98=-16.62591			

ITERACAO 13

MR12=-752.0782	MR23=-1101.223	MR36=-752.0781	MR45= 109.5354
MR56= 111.4915	MR69= 109.5354	MR78=-16.62591	MR89=-9.779953
MR98=-16.62591			

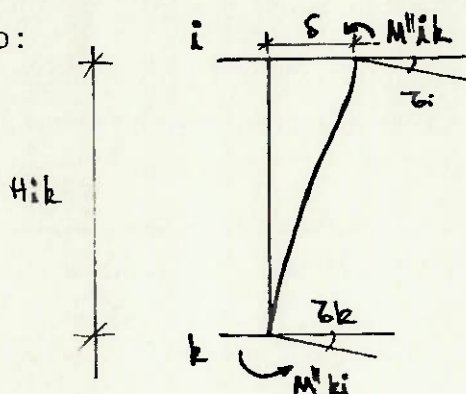
ITERACAO 14

MR12=-752.0782	MR23=-1101.223	MR36=-752.0781	MR45= 109.5354
MR56= 111.4915	MR69= 109.5354	MR78=-16.62591	MR89=-9.779953
MR98=-16.62591			

III. ALGORITMO PARA ESTRUTURA COM NÓS DESLOCÁVEIS:

Dando continuidade ao nosso estudo, vamos agora admitir que os nós da estrutura em questão possam se deslocar horizontalmente. Isto introduzirá um novo momento devido ao desalinhamento dos nós. Admitindo-se que as barras não se deformam por flambagem, percebe-se claramente que somente haverá deslocamento horizontal dos nós. Assim sendo, somente os pilares é que sofrerão o momento devido ao deslocamento, embora seu efeito influencie a estrutura inteira, como veremos adiante.

Tal fato pode ser entendido melhor com o auxílio da figura abaixo:



A figura mostra um pilar submetido ao deslocamento e rotação dos nós.

O momento total que atua na extremidade i de um pilar da estrutura é:

$$M_{ik} = \bar{M}_{ik} + 2M'_{ik} + M''_{ik} \quad (7)$$

Também neste caso, para que o nó esteja em equilíbrio, é necessário:

$$\sum_k M_{ik} = \bar{M}_i + \sum_k 2M'_{ik} + \sum_k M'_{ki} + \sum_k M''_{ik} = 0$$

então:

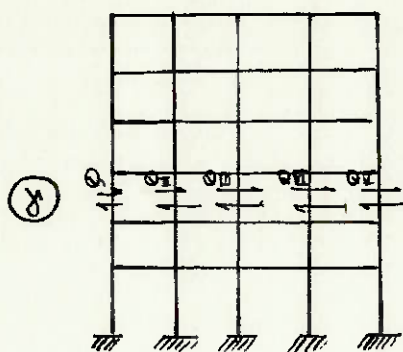
$$\sum_k M'_{ik} = (-1/2) \cdot (\bar{M}_i + \sum_k M'_{ki} + \sum_k M''_{ik})$$

Procedendo análogamente ao caso anterior temos:

$$M'_{ik} = u_{ik} \cdot (\bar{M}_i + \sum_k M'_{ki} + \sum_k M''_{ik}) \quad (8)$$

Podemos notar que esta equação é semelhante àquela já apresentada para o caso dos nós fixos, com exceção do momento M''_{ik} , que representa a ação do deslocamento. Devido ao aparecimento do momento M''_{ik} , será necessário encontrar uma nova equação que nos possibilite determiná-lo.

Se seccionarmos um "andar" da nossa estrutura, conforme a figura, poderemos encontrar esta equação.



Pelo equilíbrio das forças temos, para um pilar genérico:

$$Q_{ik} \cdot H_{ik} + M_{ik} + M_{ki} = 0$$

e

$$Q_{ik} = -(1/H_{ik}) \cdot (M_{ik} + M_{ki})$$

Para o equilíbrio total do andar:

$$\sum Q_{ik} = 0$$

então:

$$\sum Q_{ik} = - \sum (1/H_{ik}).(M_{ik} + M_{ki}) = 0$$

Admitindo H_{ik} constante para todas as vigas do andar, e inserindo (7), temos:

$$-(1/H_{ik}).\sum (\bar{M}_{ik} + 2M'_{ik} + M'_{ki} + M''_{ik} + \bar{M}_{ki} + 2M'_{ki} + M'_{ik} + M''_{ik}) = 0$$

Admitindo, por hipótese, que não haja carga horizontal aplicada nos pilares, podemos fazer:

$$\bar{M}_{ik} = \bar{M}_{ki} = 0$$

Resultando:

$$-(1/H_{ik}).\sum (3M'_{ik} + 3M'_{ki} + 2M''_{ik}) = 0$$

ou

$$\sum (3M'_{ik} + 3M'_{ki} + 2M''_{ik}) = 0$$

Desenvolvendo:

$$\sum (3M'_{ik} + 3M'_{ki}) = \sum (-2M''_{ik})$$

$$\sum M''_{ik} = -3/2.\sum (M'_{ik} + M'_{ki}) \quad (9)$$

Sabendo que:

$$M''_{ik} = 6.E.K_{ik}.\delta / H_{ik}$$

Temos também:

$$M''_{ik} / \sum M''_{ik} = (6.E.K_{ik}.\delta / H_{ik}) / \sum (6.E.K_{ik}.\delta / H_{ik})$$

onde:

$6.E.Kik.\delta/Hik$ são constantes para efeito de somatória, e podem ser cancelados.

Assim obtemos:

$$M''_{ik} = \sum M''_{ik} \cdot (Kik / \sum Kik) \quad (10)$$

Multiplicando a (9) por $Kik / \sum Kik$, temos:

$$\sum M''_{ik} \cdot (Kik / \sum Kik) = (-3/2) \cdot (Kik / \sum Kik) \cdot \sum (M'_{ik} + M'_{ki})$$

O primeiro termo à esquerda pode ser substituído por M''_{ik} , introduzindo a (10). Fazendo:

$$v_{ik} = (-3/2) \cdot (Kik / \sum Kik)$$

Chegamos a:

$$M''_{ik} = v_{ik} \cdot \sum (M'_{ik} + M'_{ki}) \quad (11)$$

É bom frisar que a equação (11) não se refere mais a um nó, mas sim a um andar da estrutura.

A expressão (11) juntamente com a expressão (8) fornece-nos meios para calcular os momentos M' e M'' que atuam nas extremidades das barras.

Introduzindo os momentos M' e M'' na equação (7), com os $\bar{M}$ calculados, chegamos aos momentos finais M_{ik} . É necessário observar aqui, que os momentos M'' são introduzidos na equação (7) somente quando se trata de pilar. Em caso de viga horizontal des-

preza-se o termo M''_{ik} , e a equação (7) se transforma na equação (1).

Retomemos a estrutura utilizada no exemplo anterior, e realizemos os cálculos para o caso dos nós deslocáveis.

As equações em M' são alteradas pela adição do termo M'' . Assim, a equação para o cálculo de M'_{12} fica:

$$M'_{12} = -0.25. (4000 + M'_{21} + M'_{41} + M''_{14})$$

Para o cálculo de M'_{54} temos:

$$M'_{54} = -0.125. (M'_{25} + M'_{65} + M'_{85} + M'_{45} + M''_{58} + M''_{52})$$

As equações para o cálculo de M'' ficam:

Para o nó 1:

$$v_{14} = (-3/2). (K_{14} + K_{25} + K_{36}) = (-3/2). (1/3)$$

$$v_{14} = -0.5$$

v_{ik} é igual para todas as vigas deste andar.

$$M''_{14} = -0.5. (M'_{14} + M'_{41} + M'_{25} + M'_{52} + M'_{36} + M'_{63})$$

$$M''_{41} = M''_{25} = M''_{52} = M''_{36} = M''_{63} = M''_{14}$$

Para o nó 4:

$$v_{47} = -0.5$$

$$M''_{47} = -0.5. (M'_{47} + M'_{74} + M'_{58} + M'_{85} + M'_{69} + M'_{96})$$

$$M''_{74} = M''_{58} = M''_{85} = M''_{69} = M''_{96} = M''_{47}$$

Para o nó 7:

$$v_{710} = -0.5$$

$$M''_{710} = -0.5. (M'_{710} + M'_{107} + M'_{811} + M'_{118} + M'_{912} + M'_{129})$$

$$M''_{107} = M''_{811} = M''_{118} = M''_{912} = M''_{129} = M''_{710}$$

O conjunto completo das equações de recorrência é listado abaixo:

$$M'_{12} = -0.25. (4000 + M'_{21} + M'_{41} + M''_{14})$$

$$M'_{14} = M'_{12}$$

$$M'_{21} = -0.167. (8000 + M'_{12} + M'_{52} + M'_{32} + M''_{25})$$

$$M'_{25} = M'_{21}$$

$$M'_{23} = M'_{21}$$

$$M'_{32} = -0.25. (4000 + M'_{63} + M'_{23} + M''_{36})$$

$$M'_{36} = M'_{32}$$

$$M'_{65} = -0.167. (M'_{56} + M'_{36} + M'_{96} + M''_{69} + M''_{63})$$

$$M'_{69} = M'_{65}$$

$$M'_{63} = M'_{65}$$

$$M'_{54} = -0.125. (M'_{25} + M'_{65} + M'_{85} + M'_{45} + M''_{58} + M''_{52})$$

$$M'_{52} = M'_{54}$$

$$M'_{56} = M'_{54}$$

$$M'_{58} = M'_{54}$$

$$M'_{47} = -0.167. (M'_{14} + M'_{54} + M'_{74} + M''_{47} + M''_{41})$$

$$M'_{45} = M'_{47}$$

$$M'41 = M'47$$

$$M'74 = -0.167. (M'47+M'87+M''710+M''74)$$

$$M'78 = M'74$$

$$M'710 = M'74$$

$$M'89 = -0.125. (M'58+M'98+M'78+M''811+M''85)$$

$$M'85 = M'89$$

$$M'87 = M'89$$

$$M'811 = M'89$$

$$M'98 = -0.167. (M'89+M'69+M''912+M''96)$$

$$M'96 = M'98$$

$$M'912 = M'98$$

$$MD14 = -0.5. (M'14+M'41+M'25+M'52+M'36+M'63)$$

$$M''41 = M''14$$

$$M''25 = M''14$$

$$M''52 = M''14$$

$$M''36 = M''14$$

$$M''63 = M''14$$

$$M''47 = -0.5. (M'47+M'74+M'58+M'85+M'96+M'69)$$

$$M''74 = M''47$$

$$M''58 = M''47$$

$$M''85 = M''47$$

$$M''69 = M''47$$

$$M''96 = M''47$$

$$M''710 = -0.5. (M'710+M'107+M'811+M'118+M'912+M'129)$$

$$M''107 = M''710$$

$$M''811 = M''710$$

$$M''118 = M''710$$

$$M''912 = M''710$$

$$M''129 = M''710$$

Nas páginas seguintes apresentamos um algoritmo que resolve especificamente o conjunto das equações acima. Nele, os momentos "M" são denominados MD por analogia a "Momento de Deslocamento". Os resultados do cálculo, claramente mostram que a convergência é bem mais lenta que para o caso anterior.

```

10 REM INICIO
20 N=1
30 MR12=-.25*(4000+MR21+MR41+MD14)
40 MR14=MR12
50 MR21=-.166666667#*(8000+MR12+MR52+MR32+MD25)
60 MR25=MR21
70 MR23=MR21
80 MR32=-.25*(4000+MR63+MR23+MD36)
90 MR36=MR32
100 MR65=-.166666667#*(MR56+MR36+MR96+MD69+MD63)
110 MR69=MR65
120 MR63=MR65
130 MR54=-.125*(MR25+MR65+MR65+MR45+MD58+MD52)
140 MR52=MR54
150 MR56=MR54
160 MR58=MR54
170 MR47=-.166666667#*(MR14+MR54+MR74+MD47+MD41)
180 MR45=MR47
190 MR41=MR47
200 MR74=-.166666667#*(MR47+MR87+MD710+MD74)
210 MR78=MR74
220 MR710=MR74
230 MR89=-.125*(MR58+MR98+MR78+MD811+MD85)
240 MR85=MR89
250 MR87=MR89
260 MR811=MR89
270 MR98=-.166666667#*(MR89+MR69+MD912+MD96)
280 MR96=MR98
290 MR912=MR98
300 MD14=-.5*(MR14+MR41+MR25+MR52+MR36+MR63)
310 MD41=MD14;MD25=MD14;MD52=MD14;MD36=MD14;MD63=MD14
320 MD47=-.5*(MR47+MR74+MR58+MR85+MR96+MR69)
330 MD74=MD47;MD58=MD47;MD85=MD47;MD69=MD47;MD96=MD47
340 MD710=-.5*(MR710+MR107+MR811+MR118+MR912+MR129)
350 MD107=MD710;MD811=MD710;MD912=MD710;MD129=MD710;MD118=MD710
360 LPRINT "ITERACAO";N
370 LPRINT "MR12=";MR12;" MR23=";MR23;" MR36=";MR36;" MR45=";MR45
380 LPRINT "MR56=";MR56;" MR69=";MR69;" MR78=";MR78;" MR89=";MR89
385 LPRINT "MR98=";MR98
390 LPRINT

```

400 N=N+1
410 GOTO 30
420 REM FIM

RESOLUCAO

ITERACAO 1

MR12=-1000 MR23=-1166.667 MR36=-708.3334 MR45= 144.8206
MR56= 131.0764 MR69= 118.0556 MR78=-24.13677 MR89=-13.36745
MR98=-17.44802

ITERACAO 2

MR12=-1054.669 MR23=-1268.1 MR36=-1022.62 MR45=-.6326498
MR56= 11.57852 MR69=-27.00533 MR78= 26.00402 MR89= 15.23619
MR98= 25.6322

ITERACAO 3

MR12=-1102.998 MR23=-1261.114 MR36=-1098.151 MR45=-89.93429
MR56=-38.71802 MR69=-99.06287 MR78= 22.2568 MR89= 6.208963
MR98= 25.28276

ITERACAO 4

MR12=-1123.485 MR23=-1264.106 MR36=-1120.455 MR45=-129.0589
MR56=-56.39096 MR69=-133.0137 MR78= 10.45681 MR89=-4.932209
MR98= 12.97281

ITERACAO 5

MR12=-1130.023 MR23=-1267.731 MR36=-1128.128 MR45=-146.5933
MR56=-64.11253 MR69=-148.6153 MR78= 1.798518 MR89=-11.42414
MR98= 3.217522

ITERACAO 6

MR12=-1132.069 MR23=-1269.715 MR36=-1131.068 MR45=-154.5711
MR56=-67.76863 MR69=-155.5839 MR78=-3.345579 MR89=-14.7715
MR98=-2.618889

ITERACAO 7

MR12=-1132.775	MR23=-1270.629	MR36=-1132.294	MR45=-158.1812
MR56=-69.5091	MR69=-158.6727	MR78=-6.124166	MR89=-16.4307
MR98=-5.765719			

ITERACAO 8

MR12=-1133.055	MR23=-1271.029	MR36=-1132.832	MR45=-159.8096
MR56=-70.33594	MR69=-160.0442	MR78=-7.54364	MR89=-17.2321
MR98=-7.370959			

ITERACAO 9

MR12=-1133.179	MR23=-1271.201	MR36=-1133.077	MR45=-160.5452
MR56=-70.72778	MR69=-160.6562	MR78=-8.24405	MR89=-17.61235
MR98=-8.162163			

ITERACAO 10

MR12=-1133.237	MR23=-1271.275	MR36=-1133.19	MR45=-160.8789
MR56=-70.91288	MR69=-160.9311	MR78=-8.581986	MR89=-17.79077
MR98=-8.543549			

ITERACAO 11

MR12=-1133.265	MR23=-1271.307	MR36=-1133.243	MR45=-161.0309
MR56=-70.99994	MR69=-161.0554	MR78=-8.742671	MR89=-17.87395
MR98=-8.724736			

ITERACAO 12

MR12=-1133.278	MR23=-1271.322	MR36=-1133.268	MR45=-161.1005
MR56=-71.04079	MR69=-161.1119	MR78=-8.818336	MR89=-17.91258
MR98=-8.809995			

ITERACAO 13

MR12=-1133.285	MR23=-1271.328	MR36=-1133.28	MR45=-161.1325
MR56=-71.05988	MR69=-161.1378	MR78=-8.853744	MR89=-17.93049
MR98=-8.849874			

ITERACAO 14

MR12=-1133.288	MR23=-1271.331	MR36=-1133.286	MR45=-161.1472
MR56=-71.06879	MR69=-161.1496	MR78=-8.87025	MR89=-17.93878
MR98=-8.868457			

ITERACAO 15

MR12=-1133.289	MR23=-1271.332	MR36=-1133.288	MR45=-161.154
MR56=-71.07292	MR69=-161.1551	MR78=-8.877918	MR89=-17.94263
MR98=-8.877088			

ITERACAO 16

MR12=-1133.29	MR23=-1271.332	MR36=-1133.29	MR45=-161.1572
MR56=-71.07486	MR69=-161.1577	MR78=-8.881474	MR89=-17.9444
MR98=-8.881091			

ITERACAO 17

MR12=-1133.29	MR23=-1271.333	MR36=-1133.29	MR45=-161.1586
MR56=-71.07576	MR69=-161.1588	MR78=-8.883141	MR89=-17.94523
MR98=-8.882961			

ITERACAO 18

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.29	MR45=-161.1593
MR56=-71.07618	MR69=-161.1594	MR78=-8.883904	MR89=-17.94561
MR98=-8.883822			

ITERACAO 19

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.291	MR45=-161.1596
MR56=-71.07639	MR69=-161.1597	MR78=-8.884254	MR89=-17.94579
MR98=-8.884216			

ITERACAO 20

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.291	MR45=-161.1598
MR56=-71.07646	MR69=-161.1598	MR78=-8.884422	MR89=-17.94587
MR98=-8.884407			

ITERACAO 21

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.291	MR45=-161.1598
MR56=-71.0765	MR69=-161.1598	MR78=-8.884503	MR89=-17.94591
MR98=-8.884496			

ITERACAO 22

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.291	MR45=-161.1598
MR56=-71.07653	MR69=-161.1598	MR78=-8.884537	MR89=-17.94593
MR98=-8.884534			

ITERACAO 23

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.291	MR45=-161.1598
MR56=-71.07654	MR69=-161.1598	MR78=-8.884557	MR89=-17.94593
MR98=-8.884555			

ITERACAO 24

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.291	MR45=-161.1599
MR56=-71.07656	MR69=-161.1599	MR78=-8.884559	MR89=-17.94594
MR98=-8.884562			

ITERACAO 25

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.291	MR45=-161.1599
MR56=-71.07654	MR69=-161.1599	MR78=-8.884564	MR89=-17.94594
MR98=-8.884568			

ITERACAO

MR12=-1133.291	MR23=-1271.333	MR36=-1133.291	MR45=-161.1599
MR56=-71.07654	MR69=-161.1599	MR78=-8.884568	MR89=-17.94594
MR98=-8.884568			

IV. ESTRUTURA COM CARGA HORIZONTAL APLICADA SOBRE OS NÓS

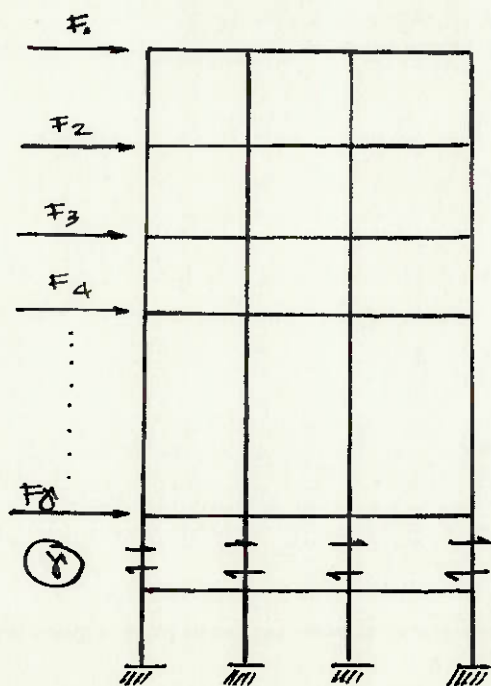
O último caso que iremos abordar, é aquele em que a estrutura está sujeita a forças horizontais. É possível desenvolver um algoritmo para este caso, desde que os esforços horizontais sejam aplicados somente nos nós.

Consegue-se, assim, realizar um cálculo que leve em conta a ação do vento, desde que uma construção mecânica adequada, permita transmitir sua ação exclusivamente aos nós.

Para obter um algoritmo que nos solucione este caso, devemos relembrar o caso anterior, no qual havíamos considerado um andar genérico da estrutura.

Para este andar, podemos estabelecer uma relação de equilíbrio de forças, qual seja:

$$\sum Q_{ik} = \sum_{i=1}^n F_i = Q_{\gamma}$$



Devido à ação das forças externas, a somatória das forças que agem nas barras não é mais igual a zero, como no caso anterior, mas sim, à soma de todas as forças que agem nos nós superiores ao andar genérico considerado.

Retomando o desenvolvimento, podemos escrever:

$$\sum Q_{ik} = \left(-1/H_{ik} \right) \cdot \sum (3M'_{ik} + 3M'_{ki} + 2M''_{ik}) = Q_y$$

ou

$$\sum (3M'_{ik} + 3M'_{ki}) - Q_y H_{ik} = \sum 2M''_{ik}$$

Desenvolvendo análogamente ao caso anterior, chegamos a:

$$M''_{ik} = \left(-3/2 \right) \cdot \left(-K_{ik} / \sum K_{ik} \right) \cdot \sum (M'_{ik} + M'_{ki}) - \left(3/2 \right) \cdot \left(K_{ik} / \sum K_{ik} \right) \cdot \left(Q \cdot H_{ik} / 3 \right)$$

Substituindo:

$$v_{ik} = -3/2 \cdot \left(K_{ik} / \sum K_{ik} \right)$$

Chegamos a:

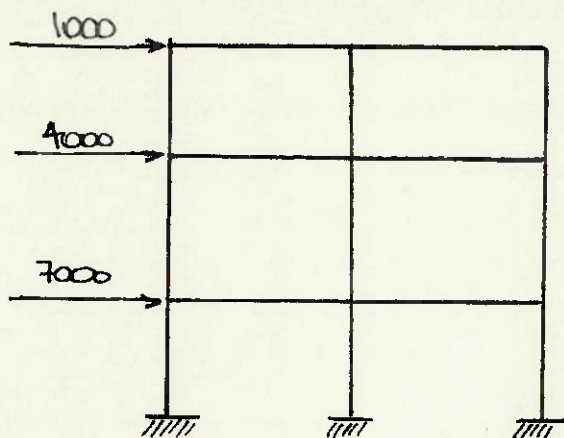
$$M''_{ik} = v_{ik} \cdot \left[\sum (M'_{ik} + M'_{ki}) + M_y \right] \quad (12)$$

onde:

$$M_y = Q \cdot H_{ik} / 3$$

A equação (12), juntamente com a equação (8), permitem, em um processo iterativo nó a nó, convergir para um resultado correto dos momentos M' e M'' que atuam nas barras. Novamente então, aplicando as equações (7) e (1), calculamos os momentos finais nas extremidades das barras.

Retomando o exemplo utilizado nos casos anteriores, com es forcos aplicados nos nós conforme a figura:



As equações em M' não sofrem modificações. Por outro lado, as equações M'' se alteram conforme explanação abaixo.

$$M_1 = F_1 \cdot H_1 / 3$$

$$M_1 = 1000 \times 6 / 3 = 2000$$

$$M''_{14} = -0.5 \times (M'_{13} + M'_{31} + M'_{24} + M'_{42}) - 0.5 \times 2000$$

$$M_2 = (F_1 + F_2) \cdot H_2 / 3$$

$$M_2 = 4000 \times 6 / 3 = 8000$$

$$M''_{47} = -0.5 \times (M'_{35} + M'_{46}) - 0.5 \times 8000$$

$$M_3 = (F_1 + F_2 + F_3) \cdot H_3 / 3$$

$$M_3 = 12000 \times 3 / 6 = 24000$$

$$M''_{710} = -0.5 \times (M'_{710} + M'_{107} + M'_{8811} + M'_{118} + M'_{912} + M'_{129}) - 0.5 \times 24000$$

Na página seguinte transladamos o algoritmo que foi usado pa ra solucionar o sistema de equações da estrutura. Nas páginas posteriores mostramos o andamento da convergência.

```

10 REM INICIO
20 N=1
30 MR12=-.25*(4000+MR21+MR41+MD14)
40 MR14=MR12
50 MR21=-.166666667#*(8000+MR12+MR52+MR32+MD25)
60 MR25=MR21
70 MR23=MR21
80 MR32=-.25*(4000+MR63+MR23+MD36)
90 MR36=MR32
100 MR65=-.166666667#*(MR56+MR36+MR96+MD69+MD63)
110 MR69=MR65
120 MR63=MR65
130 MR54=-.125*(MR25+MR65+MR85+MR45+MD58+MD52)
140 MR52=MR54
150 MR56=MR54
160 MR58=MR54
170 MR47=-.166666667#*(MR14+MR54+MR74+MD47+MD41)
180 MR45=MR47
190 MR41=MR47
200 MR74=-.166666667#*(MR47+MR87+MD710+MD74)
210 MR78=MR74
220 MR710=MR74
230 MR89=-.125*(MR58+MR98+MR78+MD811+MD85)
240 MR85=MR89
250 MR87=MR89
260 MR811=MR89
270 MR98=-.166666667#*(MR89+MR69+MD912+MD96)
280 MR96=MR98
290 MR912=MR98
300 MD14=-.5*(MR14+MR41+MR25+MR52+MR36+MR63)-.5*2000
310 MD41=MD14;MD25=MD14;MD52=MD14;MD36=MD14;MD63=MD14
320 MD47=-.5*(MR47+MR74+MR58+MR85+MR96+MR69)-.5*10000
330 MD74=MD47;MD58=MD47;MD85=MD47;MD69=MD47;MD96=MD47
340 MD710=-.5*(MR710+MR107+MR811+MR118+MR912+MR129)-.5*24000
350 MD107=MD710;MD811=MD710;MD912=MD710;MD129=MD710;MD118=MD710
360 LPRINT "ITERACAO";N
370 LPRINT "MR12=";MR12;" MR23=";MR23;" MR36=";MR36;" MR45=";MR45
380 LPRINT "MR56=";MR56;" MR69=";MR69;" MR78=";MR78;" MR89=";MR89
390 LPRINT "MR98=";MR98
400 LPRINT

```

410 N=N+1
420 GOTO 30
430 REM FIM

RESOLUCAO

ITERACAO 1.

MR12=-1000 MR23= 0 MR36=-708.3334 MR45= 144.8206
MR56 131.0764 MR69= 118.0556 MR78=-24.13677 MR89=-13.36745
MR98=-17.44802

ITERACAO 2

MR12=-804.6695 MR23= 0 MR36=-803.87 MR45= 855.3786
MR56 625.5108 MR69= 936.5363 MR78= 2716.669 MR89= 1727.162
MR98= 2413.055

ITERACAO 3

MR12=-719.8465 MR23= 0 MR36=-764.7065 MR45= 1254.573
MR56 945.7868 MR69= 1366.032 MR78= 3680.644 MR89= 2253.264
MR98= 3574.384

ITERACAO 4

MR12=-672.8113 MR23= 0 MR36=-712.307 MR45= 1487.066
MR56 1125.622 MR69= 1541.332 MR78= 4091.86 MR89= 2437.453
MR98= 4052.117

ITERACAO 5

MR12=-650.8673 MR23= 0 MR36=-669.1258 MR45= 1600.257
MR56 1210.496 MR69= 1624.069 MR78= 4270.122 MR89= 2515.713
MR98= 4253.11

ITERACAO 6

MR12=-638.2701 MR23= 0 MR36=-645.9606 MR45= 1653.85
MR56 1249.582 MR69= 1664.482 MR78= 4347.799 MR89= 2550.733
MR98= 4340.19

ITERACAO 7

MR12=-631.4303 MR23= 0 MR36=-634.872 MR45= 1679.173
MR56 1267.467 MR69= 1683.996 MR78= 4382.129 MR89= 2566.612
MR98= 4378.679

ITERACAO 8

MR12=-628.0716 MR23= 0 MR36=-629.6757 MR45= 1691.128
MR56 1275.65 MR69= 1693.334 MR78= 4397.5 MR89= 2573.864
MR98= 4395.924

ITERACAO 9

MR12=-626.5056 MR23= 0 MR36=-627.2599 MR45= 1696.76
MR56 1279.404 MR69= 1697.774 MR78= 4404.453 MR89= 2577.196
MR98= 4403.729

ITERACAO 10

MR12=-625.7891 MR23= 0 MR36=-626.1436 MR45= 1699.406
MR56 1281.129 MR69= 1699.873 MR78= 4407.624 MR89= 2578.733
MR98= 4407.29

ITERACAO 11

MR12=-625.4631 MR23= 0 MR36=-625.6294 MR45= 1700.644
MR56 1281.923 MR69= 1700.86 MR78= 4409.079 MR89= 2579.445
MR98= 4408.925

ITERACAO 12

MR12=-625.3151 MR23= 0 MR36=-625.3928 MR45= 1701.223
MR56 1282.289 MR69= 1701.322 MR78= 4409.749 MR89= 2579.775
MR98= 4409.677

ITERACAO 13

MR12=-625.2476 MR23= 0 MR36=-625.284 MR45= 1701.492
MR56 1282.459 MR69= 1701.538 MR78= 4410.059 MR89= 2579.928
MR98= 4410.026

ITERACAO 14

MR12=-625.2168 MR23= 0 MR36=-625.2338 MR45= 1701.617
MR56 1282.537 MR69= 1701.639 MR78= 4410.202 MR89= 2579.999
MR98= 4410.186

ITERACAO 15

MR12=-625.2026 MR23= 0 MR36=-625.2106 MR45= 1701.675
MR56 1282.573 MR69= 1701.686 MR78= 4410.268 MR89= 2580.032
MR98= 4410.261

ITERACAO 16

MR12=-625.1962 MR23= 0 MR36=-625.2 MR45= 1701.703
MR56 1282.59 MR69= 1701.707 MR78= 4410.3 MR89= 2580.047
MR98= 4410.296

ITERACAO 17

MR12=-625.1933 MR23= 0 MR36=-625.195 MR45= 1701.715
MR56 1282.598 MR69= 1701.717 MR78= 4410.313 MR89= 2580.054
MR98= 4410.312

ITERACAO 18

MR12=-625.1918 MR23= 0 MR36=-625.1926 MR45= 1701.721
MR56 1282.601 MR69= 1701.722 MR78= 4410.32 MR89= 2580.058
MR98= 4410.319

ITERACAO 19

MR12=-625.1912 MR23= 0 MR36=-625.1915 MR45= 1701.724
MR56 1282.603 MR69= 1701.724 MR78= 4410.323 MR89= 2580.059
MR98= 4410.323

ITERACAO 20

MR12=-625.191 MR23= 0 MR36=-625.1911 MR45= 1701.725
MR56 1282.604 MR69= 1701.725 MR78= 4410.324 MR89= 2580.06
MR98= 4410.324

ITERACAO 21

MR12=-625.1908 MR23= 0 MR36=-625.1909 MR45= 1701.726
MR56 1282.604 MR69= 1701.726 MR78= 4410.325 MR89= 2580.06
MR98= 4410.325

ITERACAO 22

MR12=-625.1907 MR23= 0 MR36=-625.1907 MR45= 1701.726
MR56 1282.604 MR69= 1701.726 MR78= 4410.326 MR89= 2580.061
MR98= 4410.325

ITERACAO 23

MR12=-625.1907 MR23= 0 MR36=-625.1907 MR45= 1701.726
MR56 1282.604 MR69= 1701.726 MR78= 4410.326 MR89= 2580.061
MR98= 4410.326

ITERACAO 24

MR12=-625.1907 MR23= 0 MR36=-625.1907 MR45= 1701.726
MR56 1282.605 MR69= 1701.726 MR78= 4410.326 MR89= 2580.061
MR98= 4410.326

ITERACAO 25

MR12=-625.1906 MR23= 0 MR36=-625.1906 MR45= 1701.726
MR56 1282.605 MR69= 1701.726 MR78= 4410.326 MR89= 2580.061
MR98= 4410.326

ITERACAO 26

V. Justificativa da Necessidade:

O leitor que acompanhou o desenvolvimento da teoria até este ponto, já deve ter se dado conta do potencial do método abordado, como também de sua trabalhosidade. De fato, além dos cálculos algébricos simples necessários, existe também o trabalho para se montarem as equações que nos permitirão os cálculos.

No caso de serem cometidos erros algébricos no decorrer dos cálculos, eles serão eliminados pela própria convergência do processo, mas, caso sejam feitos erros na montagem das equações, seja por descuido, seja por erro, não haverá meios de se chegar a um resultado correto.

Além disto, o tempo dispendido com o cálculo, sendo muito dilatado, desencoraja qualquer tentativa para sua utilização. O exemplo abordado nas páginas anteriores nos deu uma noção de quão complexo é o trabalho, para sua realização manual. Na prática, podem ser encontradas estruturas com maior número de barras de que aquele encontrado no exemplo desenvolvido. Isto aumenta a extensão dos cálculos.

Percebe-se facilmente, portanto, a necessidade de uma ferramenta que facilite o cálculo destas estruturas. Esta ferramenta é o computador.

É necessário, pois, elaborar um programa que monte as equações, receba os dados, elabore os cálculos e apresente os resultados corretos.

VI. Apresentação do algoritmo:

Como parte do objetivo final deste trabalho, foi elaborado um programa para computador, apresentado nas páginas seguintes em uma linguagem, poderia se dizer, de domínio popular, o basic.

Este algoritmo realiza os seguintes funções:

(1) Recebe os dados relativos ao problema a ser resolvido, pela ordem:

- número de colunas;
- número de vigas horizontais;
- precisão desejada dos cálculos;
- momentos que atuam nas extremidades das barras devido ao carregamento.
- características geométricas das barras, ou seja, comprimento, momento de inércia, distância da fibra mais afastada até a linha neutra.
- forças atuantes nos nós, no caso do cálculo dos momentos para estrutura com nós móveis e cargas nos nós.

OBS: Os dados devem ser inseridos em unidades compatíveis.

(2) Permite escolha do tipo de cálculo desejado, dentro das três possibilidades existentes, ou seja:

- nós fixos;
- nós móveis;
- nós móveis com carga;

(3) Realiza o cálculo dos momentos atuantes nas extremidades de

cada barra da estrutura.

(4) Realiza, para cada extremidade de cada barra, um cálculo das tensões normais máximas, para que o projetista tenha uma idéia da solicitação mecânica das barras.

(5) Apresenta os resultados alcançados.

As limitações impostas pelo método apresentado, também se aplicam ao programa. Assim:

- todos os pilares que formam um andar da estrutura devem ter o mesmo comprimento.
- não pode haver cargas horizontais aplicadas nos pilares, apenas nos nós.

Pelo que foi exposto até aqui, percebe-se que o programa visa mais a verificação de uma estrutura, do que propriamente o seu dimensionamento.

Assim, determinadas as condições de carregamento, escolhidas as dimensões básicas das barras, "roda-se" o programa para a verificação das tensões nas vigas. Caso elas sejam elevadas demais, escolhe-se um perfil de bitola maior e roda-se o programa novamente. Pode-se também variar o número de colunas e de vigas horizontais e demais características para conseguir uma solução mais adequada.

Calculando-se o peso da estrutura, pode-se também realizar um dimensionamento levando em conta a máxima economia do material.

Nas páginas seguintes apresentamos uma listagem completa do programa, imprimida pelo computador.

```

10 REM INICIO DO PROGAMA
20 GOSUB 2280
30 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
40 PRINT SPC(23)"NUMERO DE COLUNAS ";:INPUT COL$
50 COL=VAL(COL$)
60 PRINT
70 PRINT SPC(23)"NUMERO DE VIGAS HORIZONTAIS";:INPUT VIG$
80 VIG=VAL(VIG$)
90 PRINT
100 PRINT SPC(23)"PRECISAO DESEJADA";:INPUT PREC$
110 PREC=VAL(PREC$)
120 IF COL<=0 OR VIG<=0 OR PREC<=0 THEN GOTO 20
130 IF COL<2 OR VIG<2 THEN PRINT CHR$(12):PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SP
C(18)"NUMERO DE COLUNAS OU VIGAS MENOR QUE DOIS":GOSUB 2840:PRINT CHR$(12):RUN
140 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
150 PRINT SPC(23)"DADOS CORRETOS ? (SIM TECLE 1/NAO TECLE 2)"
160 ON VAL(INKEY$) GOTO 180,20
170 GOTO 160
180 GOSUB 2370
190 A=(VIG+1)*COL
200 DIM MCI#(A,A):DIM MC#(A)
210 REM INTR.DADOS-MOMENTOS
220 N=1
230 FOR I=1 TO VIG*COL
240 PRINT CHR$(12):GOSUB 2280:PRINT:PRINT SPC(23)"MOMENTOS NAS BARRAS"
250 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"NO'";I
260 VD=N*COL
270 VE=COL*(N-1)+1
280 IF N>1 GOTO 320
290 IF I=VE THEN S=1:GOTO 390
300 IF I>VE AND I<VD GOTO 390
310 IF I=VD THEN S=2:GOTO 390
320 IF N=VIG GOTO 360
330 IF I=VE THEN S=1:GOTO 390
340 IF I>VE AND I<VD GOTO 390
350 IF I=VD THEN S=2:GOTO 390
360 IF I=VE THEN S=1:GOTO 390
370 IF I>VE AND I<VD GOTO 390
380 IF I=VD THEN S=2:GOTO 390

```

```

390 IF S=2 GOTO 410
400 PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"MOMENTO NA EXTR. ESQ. DA BARRA";I;I+1;;INPUT MCI#(
I,I+1)
410 IF S=1 GOTO 430
420 PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"MOMENTO NA EXTR. DIR. DA BARRA";I;I-1;;INPUT MCI#(
I,I-1)
430 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"DADOS CORRETOS ? (SIM TECLE 1/NAO TECLE 2)"

440 ON VAL(INKEY$) GOTO 460,240
450 GOTO 440
460 IF I=VD THEN N=N+1
470 IF S=0 THEN MC#(I)=MCI#(I,I+1)+MCI#(I,I-1)
480 IF S=1 THEN MC#(I)=MCI#(I,I+1)
490 IF S=2 THEN MC#(I)=MCI#(I,I-1)
500 S=0
510 NEXT I
520 DIM K#(A,A)
530 DIM MANT#(A,A)
540 DIM MR#(A,A)
550 DIM MY#(A,A)
560 DIM J#(A,A)
570 DIM L#(A,A)
580 DIM Y#(A,A)
590 DIM SIG(A,A)
600 DIM MD#(A,A)
610 DIM NY#(A,A)
620 REM INTR.DADOS-BARRAS
630 PRINT
640 N=1
650 FOR I=1 TO VIG*COL
660 VD=N*COL:GOSUB 2280:PRINT:PRINT SPC(23)"CARACTERISTICAS GEOMTRICAS DAS BARRA

S":PRINT:PRINT
670 IF I=VD GOTO 730
680 PRINT SPC(23)"BARRA" I;I+1
690 PRINT SPC(23)"COMPRIMENTO";:INPUT L#(I,I+1)
700 PRINT SPC(23)"MOMENTO DE INERCIA";:INPUT J#(I,I+1)
710 PRINT SPC(23)"DISTANCIA ATE LINHA NEUTRA";:INPUT Y#(I,I+1)

```

```

720 IF L#(I,I+1)=0 OR J#(I,I+1)=0 THEN GOSUB 9030
730 PRINT
740 PRINT SPC(23)"BARRA";I;I+COL
750 PRINT SPC(23)"COMPRIMENTO";:INPUT L#(I,I+COL)
760 PRINT SPC(23)"MOMENTO DE INERCIA";:INPUT J#(I,I+COL)
770 PRINT SPC(23)"DISTANCIA ATE LINHA NEUTRA";:INPUT Y#(I,I+COL)
780 PRINT
790 IF L#(I,I+COL)=0 OR J#(I,I+COL)=0 THEN GOSUB 9030
800 PRINT:PRINT SPC(23)"DADOS CORRETOS? (SIM TECLE 1/NAO TECLE 2)"
810 ON VAL(INKEY$) GOTO 830,860
820 GOTO 810
830 NEXT I
840 GOSUB 2280:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"PROCESSANDO"
850 FOR I=1 TO A
860 FOR J=1 TO A
870 L#(J,I)=L#(I,J)
880 J#(J,I)=J#(I,J)
890 Y#(J,I)=Y#(I,J)
900 IF L#(I,J)=0 GOTO 920
910 K#(I,J)=J#(I,J)/L#(I,J)
920 NEXT J
930 NEXT I
940 REM MENU
950 GOSUB 2280
960 PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"SELECIONE O TIPO DE CALCULO DESEJADO:"
970 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"1 - NOS FIXOS "
980 PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"2 - NOS MOVEIS SEM CARGAS HORIZONTAIS"
990 PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"3 - NOS MOVEIS COM CARGAS HORIZONTAIS NOS NOS"
1000 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"TECLE A FUNCAO DESEJADA"
1010 IF VAL(G$)>0 AND VAL(G$)<4 GOTO 1030
1020 G$=INKEY$:GOTO 1010
1030 ON VAL(G$) GOSUB 1040,2890,4470
1040 GOSUB 2280:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"PROCESSANDO NOS FIXOS"
1050 REM CALCULO ITERATIVO PARA NOS FIXOS
1060 N=1
1070 FOR I=1 TO A
1080 FOR J=1 TO A
1090 MANT#(I,J)=MR#(I,J)
1100 NEXT J
1110 NEXT I

```

```

1120 FOR I=1 TO COL*VIG
1130 VD=N*COL
1140 VE=COL*(N-1)+1
1150 IF N>1 GOTO 1190
1160 IF I=VE GOTO 1270
1170 IF I>VE AND I<VD GOTO 1350
1180 IF I=VD GOTO 1450
1190 IF N=VIG GOTO 1230
1200 IF I=VE GOTO 1640
1210 IF I>VE AND I<VD GOTO 1530
1220 IF I=VD GOTO 1750
1230 IF I=VE GOTO 1850
1240 IF I>VE AND I<VD GOTO 2050
1250 IF I=VD GOTO 1950
1260 REM SUPERIOR ESQUERDO
1270 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)
1280 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I+COL,I)
1290 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
1300 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
1310 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
1320 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
1330 GOTO 2150
1340 REM SUPERIOR
1350 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)
1360 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I+COL,I)
1370 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
1380 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
1390 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
1400 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
1410 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
1420 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
1430 GOTO 2150
1440 REM SUPERIOR DIREITO
1450 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+COL)
1460 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+COL,I)
1470 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
1480 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
1490 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
1500 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
1510 GOTO 2150

```

```

1520 REM INTERIOR
1530 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)+K#(I,I-COL)
1540 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)
1550 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
1560 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
1570 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
1580 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
1590 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
1600 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
1610 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
1620 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
1630 GOTO 2150
1640 REM LAT.ESQ.
1650 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
1660 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)
1670 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
1680 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
1690 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
1700 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
1710 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
1720 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
1730 GOTO 2150
1740 REM LAT.DIR.
1750 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
1760 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)
1770 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
1780 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
1790 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
1800 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
1810 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
1820 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
1830 GOTO 2150
1840 REM INF.ESQ.
1850 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
1860 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)
1870 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
1880 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
1890 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
1900 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
1910 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#

```

```

1920 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
1930 GOTO 2150
1940 REM INF.DIR.
1950 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
1960 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I-COL,I)
1970 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
1980 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
1990 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
2000 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
2010 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
2020 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
2030 GOTO 2150
2040 REM INFERIOR
2050 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)+K#(I,I-COL)
2060 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)
2070 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
2080 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
2090 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
2100 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
2110 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
2120 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
2130 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
2140 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
2150 IF I=VD THEN N=N+1
2160 NEXT I
2170 FOR I=1 TO A
2180 FOR J=1 TO A
2190 IF ABS(MANT#(I,J)-MR#(I,J))>PREC GOTO 1060
2200 NEXT J
2210 NEXT I
2220 GOSUB 6270
2230 GOSUB 6940
2240 GOSUB 7880
2250 GOSUB 8070
2260 END
2270 REM SUBROTINA CABECALHO
2280 PRINT CHR$(12)
2290 AST$=STRING$(77,42)
2300 PRINT " ";AST$
2310 PRINT " |"SPC(75)"| "

```

```

2320 PRINT "  I"SPC(20)"PROGRAMA DE CALCULO ESTRUTURAL"SPC(25)"I"
2330 PRINT "  I"SPC(75)"I"
2340 PRINT "  ";AST$
2350 RETURN
2360 REM SUBROTINA DESENHO
2370 PRINT CHR$(12)
2380 IF VIG<5 THEN M=2 ELSE M=1
2390 IF VIG>6 THEN M=0
2400 IF VIG>10 OR COL>12 THEN PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PR

INT SPC(25)"IMPOSSIVEL REPRESENTAR ESTRUTURA NA TELA":GOSUB 2850:RETURN
2410 Z=M
2420 PRINT CHR$(12):PRINT:PRINT
2430 FOR I=1 TO COL
2440 PRINT "  ";
2450 PRINT USING "##";I;
2460 NEXT I
2470 PRINT ""
2480 B=COL+1
2490 FOR I=1 TO VIG
2500 H=1:IF S=0 THEN PRINT "  ";
2510 IF H<COL THEN PRINT "*-----";ELSE GOTO 2530
2520 H=H+1:S=S+1:GOTO 2510
2530 PRINT "*";S=0
2540 REM
2550 H=1:IF S=0 THEN PRINT "  ";
2560 IF M=0 GOTO 2590
2570 IF H<COL THEN PRINT"I  ";ELSE GOTO 2600
2580 H=H+1:S=S+1:GOTO 2570
2590 IF M=0 THEN GOSUB 2680
2600 IF M<>0 THEN PRINT "I":S=0
2610 IF M<>0 THEN M=M-1:GOTO 2540
2620 M=Z:B=B+1
2630 NEXT I
2640 PRINT "  *****

*****"
2650 PRINT "  CONFIGURACAO DOS NOS DA ESTRUTURA  -  PARA CONTINUAR TECLE 'C'

```

```

2660 IF INKEY$="C" THEN RETURN
2670 GOTO 2660
2680 X=1:FOR K=1 TO COL-1
2690 IF X<COL THEN PRINT "I";
2700 IF B<10 THEN PRINT USING "#";B;
2710 IF B>9 AND B<100 THEN PRINT USING "##";B;
2720 IF B>99 THEN PRINT USING "###";B;
2730 B=B+1
2740 IF B<11 THEN PRINT " ";
2750 IF B>10 AND B<101 THEN PRINT " ";
2760 IF B>100 THEN PRINT " ";
2770 X=X+1
2780 NEXT K
2790 PRINT "I";
2800 IF B<10 THEN PRINT USING "#";B
2810 IF B>9 AND B<100 THEN PRINT USING "##";B
2820 IF B>99 THEN PRINT USING "###";B
2830 RETURN
2840 REM SUBROTINA DELAY
2850 FOR I=1 TO 1500
2860 REM
2870 NEXT I
2880 RETURN
2890 REM CALCULO ITERATIVO PARA NO MOVEL SEM CARGA
2900 GOSUB 2280:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"PROCESSANDO NO MOVEL
SEM CARGA"
2910 GOSUB 4220
2920 N=1
2930 FOR I=1 TO A
2940 FOR J=1 TO A
2950 MANT#(I,J)=MR#(I,J)
2960 NEXT J
2970 NEXT I
2980 FOR I=1 TO COL*VIG
2990 VD=N*COL
3000 VE=COL*(N-1)+1
3010 IF N>1 GOTO 3050
3020 IF I=VE GOTO 3130
3030 IF I>VE AND I<VD GOTO 3220

```

```

3040 IF I=VD GOTO 3330
3050 IF N=VIG GOTO 3090
3060 IF I=VE GOTO 3540
3070 IF I>VE AND I<VD GOTO 3420
3080 IF I=VD GOTO 3660
3090 IF I=VE GOTO 3770
3100 IF I>VE AND I<VD GOTO 3990
3110 IF I=VD GOTO 3880
3120 REM SUPERIOR ESQUERDO
3130 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)
3140 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
3150 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
3160 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
3170 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
3180 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
3190 GOSUB 4390
3200 GOTO 4100
3210 REM SUPERIOR
3220 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)
3230 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
3240 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
3250 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
3260 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
3270 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
3280 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
3290 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
3300 GOSUB 4390
3310 GOTO 4100
3320 REM SUPERIOR DIREITO
3330 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+COL)
3340 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
3350 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
3360 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
3370 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
3380 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
3390 GOSUB 4390
3400 GOTO 4100
3410 REM INTERIOR
3420 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)+K#(I,I-COL)
3430 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I-COL)+M

```

```

D#(I,I+COL)
3440 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
3450 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
3460 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
3470 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
3480 MY#(I,I-COL)=(-1/2)* K#(I,I-COL)/KTIP#
3490 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
3500 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
3510 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
3520 GOSUB 4390
3530 GOTO 4100
3540 REM LAT.ESQ.
3550 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
3560 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I-COL)+MD#(I,I+COL)

3570 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
3580 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
3590 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
3600 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
3610 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
3620 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
3630 GOSUB 4390
3640 GOTO 4100
3650 REM LAT.DIR.
3660 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
3670 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)+MD#(I,I-COL)

3680 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
3690 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
3700 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
3710 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
3720 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
3730 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
3740 GOSUB 4390
3750 GOTO 4100
3760 REM INF.ESQ.
3770 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
3780 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I+COL)+MD#(I,I-COL)
3790 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#

```

```

3800 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
3810 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
3820 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
3830 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
3840 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
3850 GOSUB 4390
3860 GOTO 4100
3870 REM INF.DIR.
3880 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
3890 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I+COL)+MD#(I,I-COL)
3900 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
3910 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
3920 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
3930 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
3940 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
3950 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
3960 GOSUB 4390
3970 GOTO 4100
3980 REM INFERIOR
3990 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)+K#(I,I-COL)
4000 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I+COL)+MD#(I,I-COL)
4010 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
4020 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
4030 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
4040 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
4050 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
4060 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
4070 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
4080 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
4090 GOSUB 4390
4100 IF I=VD THEN N=N+1
4110 NEXT I
4120 FOR I=1 TO A
4130 FOR J=1 TO A
4140 IF ABS(MANT#(I,J)-MR#(I,J))>PREC GOTO 2920
4150 NEXT J
4160 NEXT I
4170 GOSUB 6270
4180 GOSUB 6940
4190 GOSUB 7880

```

```

4200 GOSUB 8070
4210 END
4220 REM SUBROTINA NY
4230 N=0
4240 FOR I=1 TO VIG*COL
4250 VD=(N+1)*COL
4260 VE=COL*N+1
4270 IF I<>VE GOTO 4310
4280 FOR J=VE TO VD
4290 KAU# = K#(J, J+COL) + KAU#
4300 NEXT J
4310 NY#(I, I+COL) = (-3/2)*K#(I, I+COL)/KAU#
4320 IF I<>VD GOTO 4370
4330 N=N+1;KAU# = 0
4340 FOR B=VE TO VD
4350 NY#(B+COL, B) = NY#(B, B+COL)
4360 NEXT B
4370 NEXT I
4380 RETURN
4390 REM SUBROTINA MD
4400 MDAU# = 0
4410 FOR J=VE TO VD
4420 MDAU# = MDAU# + MR#(J, J+COL) + MR#(J+COL, J)
4430 NEXT J
4440 MD#(I, I+COL) = NY#(I, I+COL)*MDAU#
4450 MD#(I+COL, I) = MD#(I, I+COL)
4460 RETURN
4470 REM CALCULO ITERATIVO PARA NO MOVEL COM CARGA
4480 DIM F#(A)
4490 FOR I=1 TO VIG*COL
4500 GOSUB 2280:PRINT
4510 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"CARGA NO NO'";I;
4520 INPUT F#(I)
4530 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"DADOS CORRETOS ? (SIM TECLE 1/NAO TECLE 2)

"
4540 ON VAL(INKEY$) GOTO 4560,4500
4550 GOTO 4540
4560 NEXT I
4570 GOSUB 2280:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(23)"PROCESSANDO NO' MOVEL COM

```

```

CARGA*
4580 GOSUB 5930
4590 N=1:SF#=0
4600 FOR J=1 TO COL
4610 SF#=SF#+F#(J)
4620 NEXT J
4630 MGAMA#=SF#*L#(1,1+COL)/3
4640 VD=N*COL:VE=COL*(N-1)+1
4650 FOR I=1 TO A
4660 FOR J=1 TO A
4670 MANT#(I,J)=MR#(I,J)
4680 NEXT J
4690 NEXT I
4700 FOR I=1 TO COL*VIG
4710 IF N>1 GOTO 4750
4720 IF I=VE GOTO 4830
4730 IF I>VE AND I<VD GOTO 4920
4740 IF I=VD GOTO 5030
4750 IF N=VIG GOTO 4790
4760 IF I=VE GOTO 5240
4770 IF I>VE AND I<VD GOTO 5120
4780 IF I=VD GOTO 5360
4790 IF I=VE GOTO 5470
4800 IF I>VE AND I<VD GOTO 5700
4810 IF I=VD GOTO 5580
4820 REM SUPERIOR ESQUERDO
4830 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)
4840 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
4850 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
4860 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
4870 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
4880 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
4890 GOSUB 6100
4900 GOTO 5810
4910 REM SUPERIOR
4920 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)
4930 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
4940 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
4950 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#

```

```

4960 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
4970 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
4980 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
4990 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
5000 GOSUB 6100
5010 GOTO 5810
5020 REM SUPERIOR DIREITO
5030 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+COL)
5040 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
5050 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
5060 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
5070 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
5080 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
5090 GOSUB 6100
5100 GOTO 5810
5110 REM INTERIOR
5120 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)+K#(I,I-COL)
5130 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I-COL)+M

D#(I,I+COL)
5140 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
5150 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
5160 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
5170 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
5180 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
5190 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
5200 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
5210 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
5220 GOSUB 6100
5230 GOTO 5810
5240 REM LAT.ESQ.
5250 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
5260 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I-COL)+MD#(I,I+COL)

5270 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
5280 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
5290 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
5300 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
5310 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
5320 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#

```

```

5330 GOSUB 6100
5340 GOTO 5810
5350 REM LAT.DIR.
5360 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
5370 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I-COL,I)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)+MD#(I,I-COL)

5380 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
5390 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
5400 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
5410 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
5420 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
5430 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
5440 GOSUB 6100
5450 GOTO 5810
5460 REM INF.ESQ.
5470 KTIP#=K#(I,I+1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
5480 MTIP#=MC#(I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I+COL)+MD#(I,I-COL)
5490 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
5500 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
5510 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
5520 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
5530 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
5540 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
5550 GOSUB 6100
5560 GOTO 5810
5570 REM INF.DIR.
5580 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I-COL)+K#(I,I+COL)
5590 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I+COL)+MD#(I,I-COL)
5600 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
5610 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
5620 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
5630 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
5640 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
5650 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
5660 GOSUB 6100
5670 S=1
5680 GOTO 5810
5690 REM INFERIOR
5700 KTIP#=K#(I,I-1)+K#(I,I+1)+K#(I,I+COL)+K#(I,I-COL)
5710 MTIP#=MC#(I)+MR#(I-1,I)+MR#(I+1,I)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I+COL)+MD#(I,I-COL)

```

```

5720 MY#(I,I-1)=(-1/2)*K#(I,I-1)/KTIP#
5730 MR#(I,I-1)=MY#(I,I-1)*MTIP#
5740 MY#(I,I+1)=(-1/2)*K#(I,I+1)/KTIP#
5750 MR#(I,I+1)=MY#(I,I+1)*MTIP#
5760 MY#(I,I-COL)=(-1/2)*K#(I,I-COL)/KTIP#
5770 MR#(I,I-COL)=MY#(I,I-COL)*MTIP#
5780 MY#(I,I+COL)=(-1/2)*K#(I,I+COL)/KTIP#
5790 MR#(I,I+COL)=MY#(I,I+COL)*MTIP#
5800 GOSUB 6100
5810 IF I=VD THEN GOSUB 6180
5820 NEXT I
5830 FOR I=1 TO A
5840 FOR J=1 TO A
5850 IF ABS(MANT#(I,J)-MR#(I,J))>PREC GOTO 4590
5860 NEXT J
5870 NEXT I
5880 GOSUB 6270
5890 GOSUB 6940
5900 GOSUB 7880
5910 GOSUB 8070
5920 END
5930 REM SUBROTINA NY
5940 N=0
5950 FOR I=1 TO VIG*COL
5960 VD=(N+1)*COL
5970 VE=COL*N+1
5980 IF I<>VE GOTO 6020
5990 FOR J=VE TO VD
6000 KAUX#=K#(J,J+COL)+KAUX#
6010 NEXT J
6020 NY#(I,I+COL)=(-3/2)*K#(I,I+COL)/KAUX#
6030 IF I<>VD GOTO 6080
6040 N=N+1;KAUX#=0
6050 FOR B=VE TO VD
6060 NY#(B+COL,B)=NY#(B,B+COL)
6070 NEXT B
6080 NEXT I
6090 RETURN
6100 REM SUBROTINA MD
6110 MDAUX#=0

```

```

6120 FOR J=VE TO VD
6130 MDAUX#=MDAUX#+MR#(J,J+COL)+MR#(J+COL,J)
6140 NEXT J
6150 MD#(I,I+COL)=NY#(I,I+COL)*(MDAUX#+MGAMA#)
6160 MD#(I+COL,I)=MD#(I,I+COL)
6170 RETURN
6180 REM SUBROTINA CARGA
6190 N=N+1:IF S=1 GOTO 6250
6200 VD=N*COL:VE=COL*(N-1)+1
6210 FOR J=VE TO VD
6220 SF#=SF#+F#(J)
6230 NEXT J
6240 MGAMA#=SF#*L#(I+1,I+1+COL)/3
6250 S=0
6260 RETURN
6270 REM SUBROTINA MOMENTOS FINAIS
6280 N=1:DIM MF#(A,A)
6290 FOR I=1 TO COL*VIG
6300 VD=N*COL
6310 VE=COL*(N-1)+1
6320 IF N>1 GOTO 6360
6330 IF I=VE GOTO 6430
6340 IF I>VE AND I<VD GOTO 6470
6350 IF I=VD GOTO 6520
6360 IF N=VIG GOTO 6400
6370 IF I=VE GOTO 6560
6380 IF I>VE AND I<VD GOTO 6610
6390 IF I=VD GOTO 6670
6400 IF I=VE GOTO 6720
6410 IF I>VE AND I<VD GOTO 6770
6420 IF I=VD GOTO 6830
6430 REM SUP.E5Q.
6440 MF#(I,I+1)=MCI#(I,I+1)+2*MR#(I,I+1)+MR#(I+1,I)
6450 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6460 GOTO 6870
6470 REM SUPERIOR
6480 MF#(I,I-1)=MCI#(I,I-1)+2*MR#(I,I-1)+MR#(I-1,I)
6490 MF#(I,I+1)=MCI#(I,I+1)+2*MR#(I,I+1)+MR#(I+1,I)
6500 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6510 GOTO 6870

```

```

6520 REM SUP.DIR.
6530 MF#(I,I-1)=MCI#(I,I-1)+2*MR#(I,I-1)+MR#(I-1,I)
6540 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6550 GOTO 6870
6560 REM LAT.ESQ.
6570 MF#(I,I+1)=MCI#(I,I+1)+2*MR#(I,I+1)+MR#(I+1,I)
6580 MF#(I,I-COL)=2*MR#(I,I-COL)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I-COL)
6590 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6600 GOTO 6870
6610 REM INTERIOR
6620 MF#(I,I-1)=MCI#(I,I-1)+2*MR#(I,I-1)+MR#(I-1,I)
6630 MF#(I,I+1)=MCI#(I,I+1)+2*MR#(I,I+1)+MR#(I+1,I)
6640 MF#(I,I-COL)=2*MR#(I,I-COL)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I-COL)
6650 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6660 GOTO 6870
6670 REM LAT.DIR.
6680 MF#(I,I-1)=MCI#(I,I-1)+2*MR#(I,I-1)+MR#(I-1,I)
6690 MF#(I,I-COL)=2*MR#(I,I-COL)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I-COL)
6700 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6710 GOTO 6870
6720 REM INF.ESQ.
6730 MF#(I,I+1)=MCI#(I,I+1)+2*MR#(I,I+1)+MR#(I+1,I)
6740 MF#(I,I-COL)=2*MR#(I,I-COL)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I-COL)
6750 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6760 GOTO 6870
6770 REM INFERIOR
6780 MF#(I,I-1)=MCI#(I,I-1)+2*MR#(I,I-1)+MR#(I-1,I)
6790 MF#(I,I+1)=MCI#(I,I+1)+2*MR#(I,I+1)+MR#(I+1,I)
6800 MF#(I,I-COL)=2*MR#(I,I-COL)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I-COL)
6810 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6820 GOTO 6870
6830 REM INF.DIR.
6840 MF#(I,I-1)=MCI#(I,I-1)+2*MR#(I,I-1)+MR#(I-1,I)
6850 MF#(I,I-COL)=2*MR#(I,I-COL)+MR#(I-COL,I)+MD#(I,I-COL)
6860 MF#(I,I+COL)=2*MR#(I,I+COL)+MR#(I+COL,I)+MD#(I,I+COL)
6870 IF I=VD THEN N=N+1
6880 NEXT I
6890 REM BASE
6900 FOR I=COL*VIG+1 TO COL*(VIG+1)
6910 MF#(I,I-COL)=MR#(I-COL,I)+MD#(I,I-COL)

```

```

6920 NEXT I
6930 RETURN
6940 REM IMPRESSAO
6950 FRA$=" MOMENTOS FINAIS NA ESTRUTURA"
6960 PRINT CHR$(12):N=1:PRINT:PRINT FRA$
6970 FOR I=1 TO COL*VIG
6980 IND=IND+1
6990 IF IND=8 THEN GOSUB 8980
7000 PRINT
7010 PRINT " NO' ";I;
7020 VD=N*COL
7030 VE=COL*(N-1)+1
7040 IF N>1 GOTO 7080
7050 IF I=VE GOTO 7150
7060 IF I>VE AND I<VD GOTO 7200
7070 IF I=VD GOTO 7270
7080 IF N=VIG GOTO 7120
7090 IF I=VE GOTO 7320
7100 IF I>VE AND I<VD GOTO 7390
7110 IF I=VD GOTO 7480
7120 IF I=VE GOTO 7550
7130 IF I>VE AND I<VD GOTO 7620
7140 IF I=VD GOTO 7710
7150 PRINT "M";I;I+1;"=";
7160 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+1);
7170 PRINT "M";I;I+COL;"=";
7180 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7190 GOTO 7770
7200 PRINT "M";I;I-1;"=";
7210 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-1);
7220 PRINT "M";I;I+1;"=";
7230 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+1);
7240 PRINT "M";I;I+COL;"=";
7250 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7260 GOTO 7770
7270 PRINT "M";I;I-1;"=";
7280 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-1);
7290 PRINT "M";I;I+COL;"=";
7300 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7310 GOTO 7770

```

```

7320 PRINT "M";I;I+1;"=";
7330 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+1);
7340 PRINT "M";I;I-COL;"=";
7350 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-COL);
7360 PRINT "M";I;I+COL;"=";
7370 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7380 GOTO 7770
7390 PRINT "M";I;I-1;"=";
7400 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-1);
7410 PRINT "M";I;I+1;"=";
7420 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+1);
7430 PRINT "M";I;I-COL;"=";
7440 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-COL)
7450 PRINT:PRINT "      M";I;I+COL;"=";
7460 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7470 GOTO 7770
7480 PRINT "M";I;I-1;"=";
7490 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-1);
7500 PRINT "M";I;I-COL;"=";
7510 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-COL);
7520 PRINT "M";I;I+COL;"=";
7530 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7540 GOTO 7770
7550 PRINT "M";I;I+1;"=";
7560 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+1);
7570 PRINT "M";I;I-COL;"=";
7580 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-COL);
7590 PRINT "M";I;I+COL;"=";
7600 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7610 GOTO 7770
7620 PRINT "M";I;I-1;"=";
7630 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-1);
7640 PRINT "M";I;I+1;"=";
7650 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+1);
7660 PRINT "M";I;I-COL;"=";
7670 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-COL)
7680 PRINT:PRINT "      M";I;I+COL;"=";
7690 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7700 GOTO 7770
7710 PRINT "M";I;I-1;"=";

```

```

7720 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-1);
7730 PRINT "M";I;I-COL;"=";
7740 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-COL);
7750 PRINT "M";I;I+COL;"=";
7760 PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I+COL)
7770 IF I=VD THEN N=N+1
7780 NEXT I
7790 PRINT
7800 FOR I=COL*VIG+1 TO COL*(VIG+1)
7810 PRINT " NO' ";I;;PRINT "M";I;I-COL;"=";;PRINT USING "#####.## ";MF#(I,I-
COL)
7820 PRINT
7830 NEXT I
7840 PRINT:PRINT SPC(23)"PARA CONTINUAR TECLE 'C' "
7850 IF INKEY$="C" THEN PRINT CHR$(12);GOTO 7870
7860 GOTO 7850
7870 RETURN
7880 REM SUBROTINA TENSDES
7890 N=1
7900 FOR I=1 TO COL*VIG
7910 VD=N*COL
7920 VE=COL*(N-1)+1
7930 IF N>1 GOTO 7980
7940 IF I=VE THEN SIG(I,I+1)=MF#(I,I+1)*Y#(I,I+1)/J#(I,I+1);SIG(I,I+COL)=MF#(I,I
+COL)*Y#(I,I+COL)/J#(I,I+COL)
7950 IF I>VE AND I<VD THEN SIG(I,I+1)=MF#(I,I+1)*Y#(I,I+1)/J#(I,I+1);SIG(I,I-1)=
MF#(I,I-1)*Y#(I,I-1)/J#(I,I-1);SIG(I,I+COL)=MF#(I,I+COL)*Y#(I,I+COL)/J#(I,I+COL)
7960 IF I=VD THEN SIG(I,I-1)=MF#(I,I-1)*Y#(I,I-1)/J#(I,I-1);SIG(I,I+COL)=MF#(I,I
+COL)*Y#(I,I+COL)/J#(I,I+COL)
7970 GOTO 8010
7980 IF I=VE THEN SIG(I,I+1)=MF#(I,I+1)*Y#(I,I+1)/J#(I,I+1);SIG(I,I-COL)=MF#(I,I
-COL)*Y#(I,I-COL)/J#(I,I-COL);SIG(I,I+COL)=MF#(I,I+COL)*Y#(I,I+COL)/J#(I,I+COL)
7990 IF I>VE AND I<VD THEN SIG(I,I+1)=MF#(I,I+1)*Y#(I,I+1)/J#(I,I+1);SIG(I,I-1)=

```

```

MF#(I,I-1)*Y#(I,I-1)/J#(I,I-1):SIG(I,I-COL)=MF#(I,I-COL)*Y#(I,I-COL)/J#(I,I-COL)

:SIG(I,I+COL)=MF#(I,I+COL)*Y#(I,I+COL)/J#(I,I+COL)
8000 IF I=VD THEN SIG(I,I-1)=MF#(I,I-1)*Y#(I,I-1)/J#(I,I-1):SIG(I,I-COL)=MF#(I,I
-COL)*Y#(I,I-COL)/J#(I,I-COL):SIG(I,I+COL)=MF#(I,I+COL)*Y#(I,I+COL)/J#(I,I+COL)
8010 IF I=VD THEN N=N+1
8020 NEXT I
8030 FOR I=COL*VIG+1 TO COL*(VIG+1)
8040 SIG(I,I-COL)=MF#(I,I-COL)*Y#(I,I-COL)/J#(I,I-COL)
8050 NEXT I
8060 RETURN
8070 REM IMPRESSAO TENSOES
8080 FRA$=" TENSOES NORMAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS"
8090 PRINT CHR$(12):N=1:PRINT:PRINT FRA$
8100 FOR I=1 TO COL*VIG
8110 IND=IND+1
8120 IF IND=8 THEN GOSUB 8980
8130 PRINT
8140 PRINT " NO' ";I;
8150 VD=N*COL
8160 VE=COL*(N-1)+1
8170 IF N>1 GOTO 8210
8180 IF I=VE GOTO 8280
8190 IF I>VE AND I<VD GOTO 8330
8200 IF I=VD GOTO 8400
8210 IF N=VIG GOTO 8250
8220 IF I=VE GOTO 8450
8230 IF I>VE AND I<VD GOTO 8520
8240 IF I=VD GOTO 8610
8250 IF I=VE GOTO 8680
8260 IF I>VE AND I<VD GOTO 8750
8270 IF I=VD GOTO 8840
8280 PRINT "SIGMA";I;I+1;"=";
8290 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+1);
8300 PRINT "SIGMA";I;I+COL;"=";
8310 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8320 GOTO 8900
8330 PRINT "SIGMA";I;I-1;"=";
8340 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-1);

```

```

8350 PRINT "SIGMA";I;I+1;"=";
8360 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+1);
8370 PRINT "SIGMA";I;I+COL;"=";
8380 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8390 GOTO 8900
8400 PRINT "SIGMA";I;I-1;"=";
8410 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-1);
8420 PRINT "SIGMA";I;I+COL;"=";
8430 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8440 GOTO 8900
8450 PRINT "SIGMA";I;I+1;"=";
8460 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+1);
8470 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";
8480 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL);
8490 PRINT "SIGMA";I;I+COL;"=";
8500 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8510 GOTO 8900
8520 PRINT "SIGMA";I;I-1;"=";
8530 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-1);
8540 PRINT "SIGMA";I;I+1;"=";
8550 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+1);
8560 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";
8570 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL)
8580 PRINT:PRINT "      SIGMA";I;I+COL;"=";
8590 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8600 GOTO 8900
8610 PRINT "SIGMA";I;I-1;"=";
8620 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-1);
8630 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";
8640 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL);
8650 PRINT "SIGMA";I;I+COL;"=";
8660 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8670 GOTO 8900
8680 PRINT "SIGMA";I;I+1;"=";
8690 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+1);
8700 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";
8710 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL);
8720 PRINT "SIGMA";I;I+COL;"=";
8730 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8740 GOTO 8900

```

```

8750 PRINT "SIGMA";I;I-1;"=";
8760 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-1);
8770 PRINT "SIGMA";I;I+1;"=";
8780 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+1);
8790 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";
8800 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL)
8810 PRINT:PRINT "          SIGMA";I;I+COL;"=";
8820 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8830 GOTO 8900
8840 PRINT "SIGMA";I;I-1;"=";
8850 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-1);
8860 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";
8870 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL);
8880 PRINT "SIGMA";I;I+COL;"=";
8890 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8900 IF I=VD THEN N=N+1
8910 NEXT I
8920 FOR I=COL*VIG+1 TO COL*(VIG+1)
8930 PRINT
8940 PRINT " NO' ";I;
8950 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";:PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL)
8960 NEXT I
8970 RETURN
8980 REM SUBROTINA CONTINUE
8990 PRINT:PRINT SPC(20)"TECLE 'C' PARA CONTINUAR "
9000 IF INKEY$="C" THEN GOTO 9020
9010 GOTO 9000
9020 IND=0:PRINT CHR$(12):PRINT:PRINT FRA$:RETURN
9030 PRINT CHR$(12):PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(35)"***

ERRO ***" :PRINT
9040 PRINT SPC(18)"COMPRIMENTO OU MOMENTO DE INERCIA DA BARRA NULO"
9050 GOSUB 2840:GOTO 850

```

```

8750 PRINT "SIGMA";I;I-1;"=";
8760 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-1);
8770 PRINT "SIGMA";I;I+1;"=";
8780 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+1);
8790 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";
8800 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL)
8810 PRINT:PRINT "          SIGMA";I;I+COL;"=";
8820 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8830 GOTO 8900
8840 PRINT "SIGMA";I;I-1;"=";
8850 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-1);
8860 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";
8870 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL);
8880 PRINT "SIGMA";I;I+COL;"=";
8890 PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I+COL)
8900 IF I=VD THEN N=N+1
8910 NEXT I
8920 FOR I=COL*VIG+1 TO COL*(VIG+1)
8930 PRINT
8940 PRINT " NO' ";I;
8950 PRINT "SIGMA";I;I-COL;"=";:PRINT USING "#####.## ";SIG(I,I-COL)
8960 NEXT I
8970 RETURN
8980 REM SUBROTINA CONTINUE
8990 PRINT:PRINT SPC(20)"TECLE 'C' PARA CONTINUAR "
9000 IF INKEY$="C" THEN GOTO 9020
9010 GOTO 9000
9020 IND=0:PRINT CHR$(12):PRINT:PRINT FRA$:RETURN
9030 PRINT CHR$(12):PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT SPC(35)"***

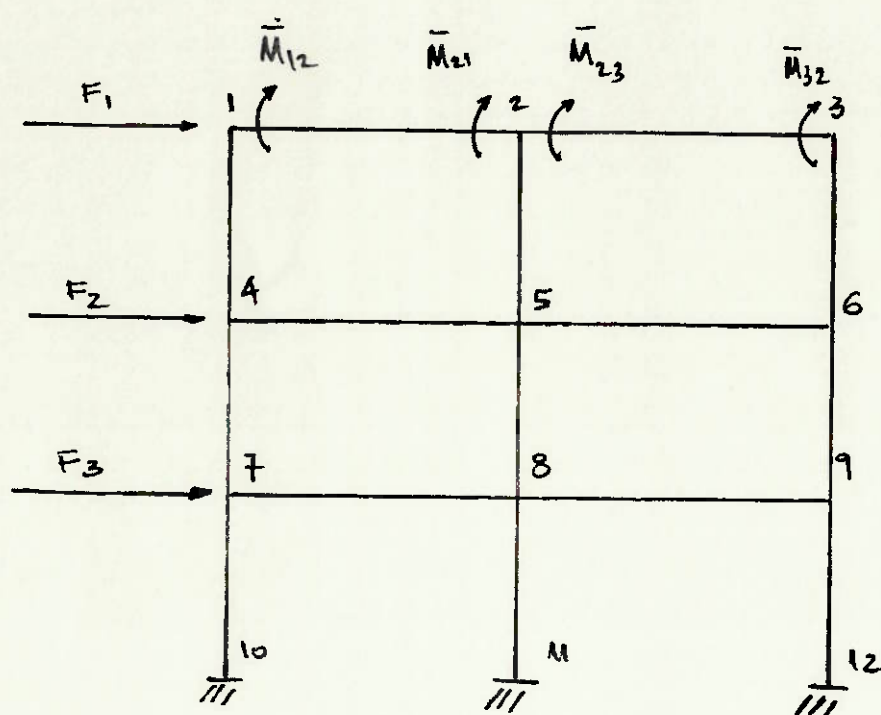
ERRO ***" :PRINT
9040 PRINT SPC(18)"COMPRIMENTO OU MOMENTO DE INERCIA DA BARRA NULO"
9050 GOSUB 2840:GOTO 650
9060 REM FIM DO PROGRAMA

```

VII. Aplicação do Programa ao Exemplo Proposto:

Vamos agora apresentar a solução final da estrutura de 3 co_lunas e 3 vigas horizontais, apresentada como exemplo nos ítems an_teriores.

O desenho abaixo nos mostra a estrutura com todo o carrega-mento:



Temos que:

$$F1 = 1000$$

$$F2 = 4000$$

$$F3 = 7000$$

$$M12 = 4000$$

$$M21 = 4000$$

$$M23 = 4000$$

$$M32 = 4000$$

Verificação da solução:

Para efeito de comparação, vamos elaborar a solução final do problema para nós fixos, manualmente, para os nós 1. 2. e 3.

Sabendo que:

$$M_{ik} = M_{ik} + 2M'_{ik} + M'_{ki}$$

Temos para o nó 1:

$$M'_{12} = -752.08$$

$$M'_{21} = -1101.22$$

Então:

$$M_{12} = 4000 + 2x(-752.08) + (-1101.22)$$

$$M_{12} = 1394.62$$

Para o nó 2:

$$M_{21} = 4000 - 2x1101.22 - 752.08$$

$$M_{21} = 1045.48$$

$$M'_{23} = -1101.22$$

$$M'_{32} = -752.08$$

$$M_{23} = 4000 - 2 \times 1101.22 - 752.08$$

$$M_{23} = 1045.48$$

Para o nó 3:

$$M_{32} = 4000 - 2 \times 752.08 - 1101.22$$

$$M_{32} = 1394.62$$

Nas páginas seguintes, apresentamos fac-símiles das telas de apresentação dos resultados do programa elaborado.

Os dados apresentados representam a resolução do exemplo em questão para os três casos abordados, respectivamente, nós fixos, móveis, e móveis com carga.

Além dos momentos finais, são apresentados as tensões normais para os três casos.

a) Nós Fixos sem Carga:

MOMENTOS FINAIS NA ESTRUTURA

$$NO' \quad 1 \quad M \quad 1 \quad 2 = \quad 1394.62 \quad M \quad 1 \quad 4 = \quad -1394.62$$

$$NO' \quad 2 \quad M \quad 2 \quad 1 = \quad 1045.48 \quad M \quad 2 \quad 3 = \quad 1045.48 \quad M \quad 2 \quad 5 = \quad -2090.95$$

$$NO' \quad 3 \quad M \quad 3 \quad 2 = \quad 1394.62 \quad M \quad 3 \quad 6 = \quad -1394.62$$

$$NO' \quad 4 \quad M \quad 4 \quad 5 = \quad 330.56 \quad M \quad 4 \quad 1 = \quad -533.01 \quad M \quad 4 \quad 7 = \quad 202.44$$

$$NO' \quad 5 \quad M \quad 5 \quad 4 = \quad 332.52 \quad M \quad 5 \quad 6 = \quad 332.52 \quad M \quad 5 \quad 2 = \quad -878.24$$

$$M \quad 5 \quad 8 = \quad 213.20$$

$$NO' \quad 6 \quad M \quad 6 \quad 5 = \quad 330.56 \quad M \quad 6 \quad 3 = \quad -533.01 \quad M \quad 6 \quad 9 = \quad 202.44$$

$$NO' \quad 7 \quad M \quad 7 \quad 8 = \quad -43.03 \quad M \quad 7 \quad 4 = \quad 76.28 \quad M \quad 7 \quad 10 = \quad -33.25$$

MOMENTOS FINAIS NA ESTRUTURA

NO' 8 M 8 7 = -36.19 M 8 9 = -36.19 M 8 5 = 91.93

M 8 11 = -19.56

NO' 9 M 9 8 = -43.03 M 9 6 = 76.28 M 9 12 = -33.25

NO' 10 M 10 7 = -16.63

NO' 11 M 11 8 = -9.78

NO' 12 M 12 9 = -16.63

PARA CONTINUAR TECLE 'C'

TENSOES NORMAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS

NO' 1 SIGMA 1 2 = 1.26 SIGMA 1 4 = -1.26

NO' 2 SIGMA 2 1 = 0.94 SIGMA 2 3 = 0.94 SIGMA 2 5 = -1.88

NO' 3 SIGMA 3 2 = 1.26 SIGMA 3 6 = -1.26

NO' 4 SIGMA 4 5 = 0.30 SIGMA 4 1 = -0.48 SIGMA 4 7 = 0.18

NO' 5 SIGMA 5 4 = 0.30 SIGMA 5 6 = 0.30 SIGMA 5 2 = -0.79

SIGMA 5 8 = 0.19

NO' 6 SIGMA 6 5 = 0.30 SIGMA 6 3 = -0.48 SIGMA 6 9 = 0.18

TECLE 'C' PARA CONTINUAR

TENSOES NORMAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS

NO' 7 SIGMA 7 8 = -0.04 SIGMA 7 4 = 0.07 SIGMA 7 10 = -0.03

NO' 8 SIGMA 8 7 = -0.03 SIGMA 8 9 = -0.03 SIGMA 8 5 = 0.08

SIGMA 8 11 = -0.02

NO' 9 SIGMA 9 8 = -0.04 SIGMA 9 6 = 0.07 SIGMA 9 12 = -0.03

NO' 10 SIGMA 10 7 = -0.01

NO' 11 SIGMA 11 8 = -0.01

NO' 12 SIGMA 12 9 = -0.01

Ok

b) Nós Móveis sem Carga:

MOMENTOS FINAIS NA ESTRUTURA

$$NO' \quad 1 \quad M \quad 1 \quad 2 = \quad 462.10 \quad M \quad 1 \quad 4 = \quad -462.09$$

$$NO' \quad 2 \quad M \quad 2 \quad 1 = \quad 324.06 \quad M \quad 2 \quad 3 = \quad 324.06 \quad M \quad 2 \quad 5 = \quad -648.10$$

$$NO' \quad 3 \quad M \quad 3 \quad 2 = \quad 462.10 \quad M \quad 3 \quad 6 = \quad -462.09$$

$$NO' \quad 4 \quad M \quad 4 \quad 5 = \quad -393.38 \quad M \quad 4 \quad 1 = \quad 510.04 \quad M \quad 4 \quad 7 = \quad -116.65$$

$$NO' \quad 5 \quad M \quad 5 \quad 4 = \quad -303.30 \quad M \quad 5 \quad 6 = \quad -303.30 \quad M \quad 5 \quad 2 = \quad 552.15$$

$$M \quad 5 \quad 8 = \quad 54.45$$

$$NO' \quad 6 \quad M \quad 6 \quad 5 = \quad -393.38 \quad M \quad 6 \quad 3 = \quad 510.04 \quad M \quad 6 \quad 9 = \quad -116.65$$

$$NO' \quad 7 \quad M \quad 7 \quad 8 = \quad -35.71 \quad M \quad 7 \quad 4 = \quad 35.62 \quad M \quad 7 \quad 10 = \quad 0.09$$

MOMENTOS FINAIS NA ESTRUTURA

NO' 8 M 8 7 = -44.77 M 8 9 = -44.77 M 8 5 = 107.58

M 8 11 = -18.04

NO' 9 M 9 8 = -35.71 M 9 6 = 35.62 M 9 12 = 0.09

NO' 10 M 10 7 = 8.97

NO' 11 M 11 8 = -0.09

NO' 12 M 12 9 = 8.97

PARA CONTINUAR TECLE 'C'

TENSOES NORMAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS

NO' 1 SIGMA 1 2 = 0.42 SIGMA 1 4 = -0.42

NO' 2 SIGMA 2 1 = 0.29 SIGMA 2 3 = 0.29 SIGMA 2 5 = -0.58

NO' 3 SIGMA 3 2 = 0.42 SIGMA 3 6 = -0.42

NO' 4 SIGMA 4 5 = -0.35 SIGMA 4 1 = 0.46 SIGMA 4 7 = -0.11

NO' 5 SIGMA 5 4 = -0.27 SIGMA 5 6 = -0.27 SIGMA 5 2 = 0.50

SIGMA 5 8 = 0.05

NO' 6 SIGMA 6 5 = -0.35 SIGMA 6 3 = 0.46 SIGMA 6 9 = -0.11

TECLE 'C' PARA CONTINUAR

TENSOES NORMAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS

NO' 7 SIGMA 7 8 = -0.03 SIGMA 7 4 = 0.03 SIGMA 7 10 = 0.00

NO' 8 SIGMA 8 7 = -0.04 SIGMA 8 9 = -0.04 SIGMA 8 5 = 0.10

SIGMA 8 11 = -0.02

NO' 9 SIGMA 9 8 = -0.03 SIGMA 9 6 = 0.03 SIGMA 9 12 = 0.00

NO' 10 SIGMA 10 7 = 0.01

NO' 11 SIGMA 11 8 = -0.00

NO' 12 SIGMA 12 9 = 0.01

Ok

c) Nós móveis com carga:

MOMENTOS FINAIS NA ESTRUTURA

$$NO' \quad 1 \quad M \quad 1 \quad 2 = 1783.35 \quad M \quad 1 \quad 4 = -1783.36$$

$$NO' \quad 2 \quad M \quad 2 \quad 1 = 1442.29 \quad M \quad 2 \quad 3 = 1442.29 \quad M \quad 2 \quad 5 = -2884.60$$

$$NO' \quad 3 \quad M \quad 3 \quad 2 = 1783.35 \quad M \quad 3 \quad 6 = -1783.36$$

$$NO' \quad 4 \quad M \quad 4 \quad 5 = 4686.04 \quad M \quad 4 \quad 1 = 543.56 \quad M \quad 4 \quad 7 = -5229.60$$

$$NO' \quad 5 \quad M \quad 5 \quad 4 = 4266.92 \quad M \quad 5 \quad 6 = 4266.92 \quad M \quad 5 \quad 2 = -635.74$$

$$M \quad 5 \quad 8 = -7898.11$$

$$NO' \quad 6 \quad M \quad 6 \quad 5 = 4686.04 \quad M \quad 6 \quad 3 = 543.55 \quad M \quad 6 \quad 9 = -5229.61$$

$$NO' \quad 7 \quad M \quad 7 \quad 8 = 11400.71 \quad M \quad 7 \quad 4 = -2521.00 \quad M \quad 7 \quad 10 = -8879.71$$

MOMENTOS FINAIS NA ESTRUTURA

NO' 8 M 8 7 = 9570.44 M 8 9 = 9570.44 M 8 5 = -6600.65

M 8 11 = -12540.23

NO' 9 M 9 8 = 11400.71 M 9 6 = -2521.00 M 9 12 = -8879.71

NO' 10 M 10 7 = -13290.03

NO' 11 M 11 8 = -15120.29

NO' 12 M 12 9 = -13290.03

PARA CONTINUAR TECLE 'C'

TENSOES NORMAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS

NO' 1 SIGMA 1 2 = 1.61 SIGMA 1 4 = -1.61

NO' 2 SIGMA 2 1 = 1.30 SIGMA 2 3 = 1.30 SIGMA 2 5 = -2.60

NO' 3 SIGMA 3 2 = 1.61 SIGMA 3 6 = -1.61

NO' 4 SIGMA 4 5 = 4.22 SIGMA 4 1 = 0.49 SIGMA 4 7 = -4.71

NO' 5 SIGMA 5 4 = 3.84 SIGMA 5 6 = 3.84 SIGMA 5 2 = -0.57

SIGMA 5 8 = -7.12

NO' 6 SIGMA 6 5 = 4.22 SIGMA 6 3 = 0.49 SIGMA 6 9 = -4.71

TECLE 'C' PARA CONTINUAR

TENSOES NORMAIS NAS EXTREMIDADES DAS BARRAS

NO' 7 SIGMA 7 8 = 10.27 SIGMA 7 4 = -2.27 SIGMA 7 10 = -8.00

NO' 8 SIGMA 8 7 = 8.62 SIGMA 8 9 = 8.62 SIGMA 8 5 = -5.95

SIGMA 8 11 = -11.30

NO' 9 SIGMA 9 8 = 10.27 SIGMA 9 6 = -2.27 SIGMA 9 12 = -8.00

NO' 10 SIGMA 10 7 = -11.97

NO' 11 SIGMA 11 8 = -13.62

NO' 12 SIGMA 12 9 = -11.97

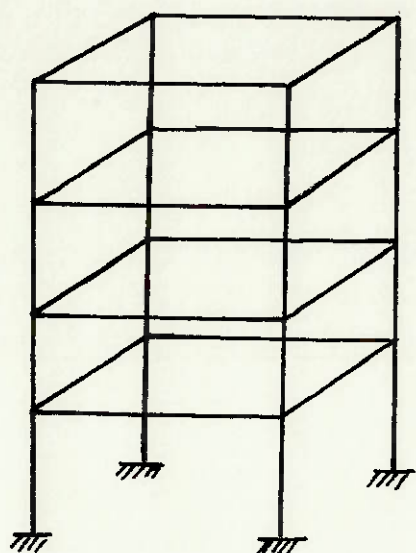
Ok

VIII: Aplicação a Estruturas Simétricas:

A grande aplicação do método acima, está no dimensionamento de estruturas simétricas de sustentação.

Essas estruturas são utilizadas como suporte para geradores de vapor, além de outras aplicações.

Podemos ver um esquema da estrutura em questão na figura abaixo.



Como podemos ver, a estrutura consiste de quatro estruturas planas, como as estudadas nos itens anteriores, montadas uma adjacente à outra, de modo a formar um paralelepípedo.

As colunas que compõem as arestas do paralelepípedo, são comuns a duas estruturas ortogonais entre si. Para efeito de cálculo

lo, devemos nos lembrar portanto, que as colunas que compõem as arestas, recebem solicitações das duas partes ortogonais entre si.

Normalmente, este tipo de gerador de vapor, está suspenso no ar, sustentado por cabos de aço, os quais estão presos a um vigamento superior, que se apoia na estrutura, transmitindo esforços apenas às vigas superiores da estrutura, as quais, distribuem a carga para a estrutura inteira.

Os andares inferiores são necessários para conferir estabilidade à estrutura, mas têm também como função, servir de plataforma para possibilitar inspeção e manutenção da caldeira. Devido a este fato, normalmente os andares possuem um espaçamento entre si de 2.40 metros, medida compatível com as dimensões humanas. Por isso, o número de andares é definido pela altura necessária para sustentar adequadamente o equipamento.

Sendo a estrutura composta de quatro planos esbeltos, é natural se esperar que cada um deles sozinho, não tenha condições de se auto sustentar sem o auxílio dos outros. De fato, percebemos que esforços perpendiculares ao plano de cada lado da estruturas serão transmitidos aos nós dos lados adjacentes, ocasionando nestes esforços em direção paralela ao seu plano, recaindo portanto, nas condições estabelecidas para o terceiro caso estudado neste trabalho.

As forças realizadas pelo vento na estrutura, são exemplo de forças horizontais transmitidas a ela. De fato, sendo estas, construções razoavelmente altas, estão expostas à cargas bastante elevadas cansadas por este agente. As normas da ABNT, fornecem dados para se calcularem as forças pela ação do vento.

Por outro lado, tensões induzidas durante a montagem da estrutura, provocam cargas não desprezíveis nestas, de intensidade difícil de avaliar.

Sendo as estruturas em questão, montagem de elevado peso, é preciso considerar a ação da gravidade em seu cálculo. Também, devido ao seu peso, estas estruturas costumam ser de custo elevado, e sua ruína, provoca prejuízos de elevado valor.

Isto obriga a utilização de elevados coeficientes de segurança que embora encarecendo o custo do produto, previnem contra maiores prejuízos no futuro.

Pelos motivos expostos acima, percebemos que uma estrutura do porte da que estamos tratando, demanda para o seu dimensionamento, muito mais que simples cálculos, mas a experiência de uma pessoa habituada a trabalhar com este produto, com muita experiência no ramo.

IX. Conclusão:

O método do cálculo apresentado, sozinho, não é suficiente, para o dimensionamento completo de uma estrutura de sustentação simétrica.

A intenção deste trabalho é fundamentalmente, fornecer uma ferramenta auxiliar para o engenheiro, no estudo das seções críticas, fornecendo valores instantaneamente, em respostas às condições de carregamento do problema.

O papel do engenheiro, pudemos perceber é fundamental na determinação do carregamento da estrutura.. Não no carregamento explícito, determinada pelas forças diretamente aplicadas ,mas nas cargas intangíveis de difícil ponderação, de cuja avaliação exata, dependem o sucesso e o baixo custo de projeto.

Bibliografia:

1. G. Kani - Calcolo dei Telai Simmetrici - Publicação interna da Società Elettromeccanica Breda; Itália.
2. Nash, William - Resistência dos Materiais; Ed. McGraw Hill do Brasil;
3. Manual do Projetista Mecânico - Escola Pro-Tec.