

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

INFLUÊNCIA DA DEFORMABILIDADE DAS LAJES  
NOS EFEITOS DA AÇÃO DO VENTO

ENGO JOSÉ LUIZ F. DE ARRUDA SERRA

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

Orientador:

Dr. Ronaldo Garcia de Figueiredo.

Comissão examinadora:

Dr. Ronaldo Garcia de Figueiredo

Dr. Tioeturo Yagui

Dr. Mário Franco

DEDALUS - Acervo - EESC



31100036476

Dezembro de 1974



Class.	<i>Inte. EESC</i>
Curr.	<i>5539</i>
Time	<i>00/6/74</i>

*0737391*

A meus pais e minha esposa.

AGRADECIMENTOS

Queremos expressar nosso reconhecimento ao saudoso Professor Dr. Miguel Carlos Stamato, não apenas pela orientação inicial dada para a realização deste trabalho, mas sobretudo pelos exemplos de dedicação ao trabalho que sempre deu em sua vida profissional.

Agradecemos ao Professor Dr. Ronaldo Garcia de Figueiredo pela constante orientação dada na execução do presente trabalho.

Agradecemos à CAPES (Coordenação do Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de estudos que muito nos auxiliou.

Agradecemos à FEL (Faculdade de Engenharia de Limeira) pelo apoio recebido, e ao CCUEC (Centro de Computação da Universidade Estadual de Campinas) pelo uso que fizemos de seus equipamentos.

Finalmente, queremos agradecer à Senhorita Maria Helena Gomes de Oliveira, pelos trabalhos de datilografia, e ao Senhor Vanderlei Serenotti pelo capricho na realização das figuras.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é estudar a distri  
buição dos esforços internos produzidos pelo vento, em estrutu  
ras de edifícios constituídas de painéis verticais (pórticos e  
pilares-paredes) todos paralelos, e lajes, para as quais a de  
formação em seu próprio plano também é considerada.

Na solução apresentada, o conjunto de painéis e la  
jes é tratado como se fosse uma grelha vertical, de elementos  
sem rigidez à torção, engastada em sua base.

O desenvolvimento teórico é feito em forma matrici  
al, visando a programação automática, apresentada no fim do tra  
balho. Os resultados obtidos são comparados com os encontrados  
por outros autores, e também com os que se obtêm considerando a  
laje indeformável em seu plano.

ABSTRACT

The purpose of the present paper is the study of the load distribution in building structures under wind load, consisting of vertical parallel panels (frames and shear walls) and floor slabs, in which the deformation in their own planes are considered. This type of structure has a behaviour similar to a vertical grid, in which the torsional stiffness is not considered.

The theoretical development is made in matrix form. The computer program is included in the end of this paper. The results are compared with those obtained by other authors and with those obtained considering that the floor slabs are rigid in their own planes.

Í N D I C E

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO ..... 1

CAPÍTULO II

ANÁLISE DAS SUBESTRUTURAS

2.1 - INTRODUÇÃO ..... 4

2.2 - ANÁLISE DA SUBESTRUTURA PAINEL ..... 4

    2.2.1 - Numeração dos nós e dos deslocamentos ..... 4

    2.2.2 - Matriz de rigidez do painel ..... 6

    2.2.3 - Cálculo de  $[S^P]$  ..... 7

    2.2.4 - Matriz de rigidez reduzida do Painel ..... 11

    2.2.5 - Deslocamentos e forças horizontais no painel ..... 12

    2.2.6 - Esforços internos no painel ..... 16

        2.2.6.1 - Momentos e forças cortantes ..... 16

        2.2.6.2 - Forças normais ..... 18

        2.2.6.3 - Esforços solicitantes nas barras ausentes ..... 23

2.3 - ANÁLISE DA SUBESTRUTURA LAJE ..... 24

    2.3.1 - Numeração dos nós e dos deslocamentos ..... 24

    2.3.2 - Matriz de rigidez da laje ..... 25

    2.3.3 - Geração da matriz  $[S^L]$  ..... 26

    2.3.4 - Matriz de rigidez reduzida da laje ..... 26

    2.3.5 - Deslocamentos e forças horizontais na laje ..... 27

    2.3.6 - Esforços internos na laje ..... 28

CAPÍTULO III

ANÁLISE DA ESTRUTURA

3.1 - INTRODUÇÃO ..... 29

3.2 - NUMERAÇÃO DOS PAINÉIS, LAJES E DESLOCAMENTOS DA ESTRUTURA.. 29

3.3 - MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA ..... 30

    3.3.1 - Contribuição dos painéis ..... 31

    3.3.2 - Contribuição das lajes ..... 34

3.4 - DESLOCAMENTOS NO SISTEMA ..... 35

3.5 - DESLOCAMENTOS NOS PAINÉIS ..... 36

3.6 - DESLOCAMENTOS NAS LAJES ..... 36

3.7 - ESFORÇOS SOLICITANTES NOS PAINÉIS E LAJES ..... 37

3.8 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÓDULO DE RIGIDEZ DO SISTEMA .....37  
3.9 - ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS DE FORMA IRREGULAR .....39

CAPÍTULO IV

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

4.1 - INTRODUÇÃO.....42  
4.2 - PRIMEIRO EXEMPLO .....42  
4.3 - SEGUNDO EXEMPLO .....49

CAPÍTULO V

PROGRAMA PARA O CÁLCULO AUTOMÁTICO

5.1 - INTRODUÇÃO .....58  
5.2 - ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA .....58  
5.3 - IDENTIFICADORES DE VARIÁVEIS .....60  
5.4 - PREPARAÇÃO DOS DADOS EM CARTÕES .....61  
5.5 - SAIDA DOS RESULTADOS DOS CÁLCULOS .....67  
5.6 - PROGRAMA DE CÁLCULO EM LINGUAGEM FORTRAN .....67  
    5.6.1 - Programa principal .....76  
    5.6.2 - Sub-rotina LPANL .....77  
    5.6.3 - Sub-rotina LLAJE .....77  
    5.6.4 - Sub-rotina RPANL (N1,N2,N3,N4) .....78  
    5.6.5 - Sub-rotina RSIST .....79  
    5.6.6 - Sub-rotina DECOB (N, LSB, S) .....80  
    5.6.7 - Sub-rotina SOLVB (N, LSB, S, AS, DS) .....80  
    5.6.8 - Sub-rotina SAREP .....80  
    5.6.9 - Sub-rotina SAREM .....81  
    5.6.10- Sub-rotina SAREL .....82  
    5.6.11- Sub-rotina INVGJ .....83

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES .....84  
BIBLIOGRAFIA .....86



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Diversas hipóteses e métodos de cálculo têm sido formulados para a análise dos efeitos do vento em estruturas de edifícios. Conforme mostra STAMATO<sup>1</sup> (os números que aparecem como expoentes referem-se à bibliografia dada no fim do trabalho), estes métodos podem ser classificados segundo dois diferentes critérios: o primeiro refere-se à consideração da rigidez (transversal e no plano) das lajes, e o segundo critério diz respeito ao tratamento por processos contínuos ou discretos.

A maioria dos processos usuais, considera a rigidez das lajes nula transversalmente e infinita no próprio plano (comportamento de diafragma). Esta hipótese simplificadora não introduz erros sérios, notadamente quando as lajes apresentam comprimento e largura da mesma ordem de grandeza. Entretanto, em edifícios onde as lajes possuem uma dimensão preponderante, e nos quais os painéis verticais tem rigidez bastante diferentes entre si, justifica-se um estudo que leve em consideração as deformações das lajes na distribuição dos esforços entre os painéis de contraventamento.

A finalidade do presente trabalho é apresentar um procedimento para a análise de estruturas de edifícios com lajes deformáveis, sob ação do vento, usando o processo dos deslocamentos. Admite-se que a estrutura tem um comportamento semelhante ao de uma grelha vertical, constituída de elementos sem rigidez à torção, e na qual são consideradas as deformações por flexão e cisalhamento de seus elementos.

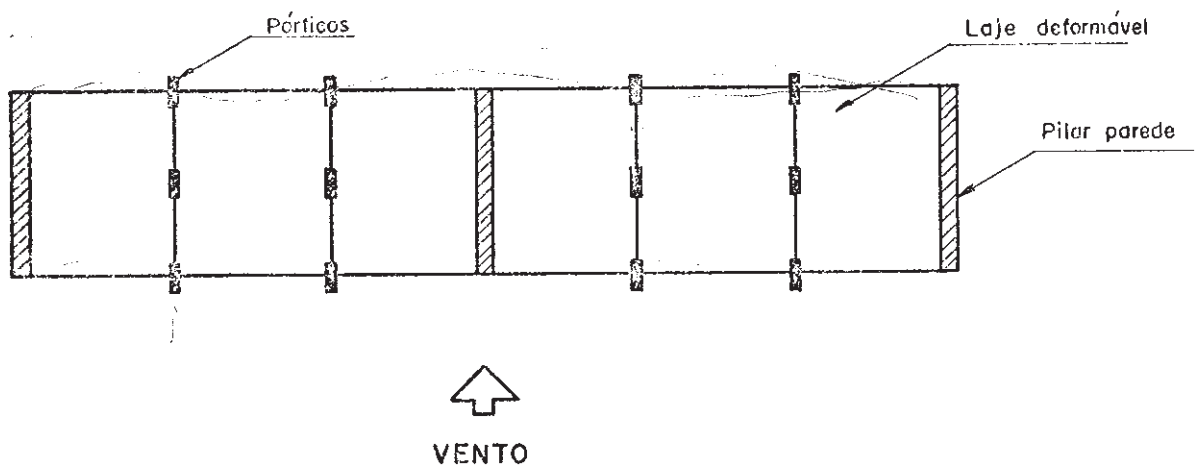
Em todos os membros da estrutura serão desprezadas as deformações devido às forças normais. O efeito desta simplificação em um pórtico, equivale a superestimar sua rigidez lateral, não apresentando no entanto diferenças significativas em edifícios não muito elevados.

Neste trabalho é desenvolvido também um programa automático de cálculo, em linguagem FORTRAN, que possibilita a análise de estruturas, cujo comportamento se enquadra nas hipóteses acima descritas, de painéis e lajes deformáveis trabalhando como grelha. Para aproveitar as simplificações que se tornam possíveis devido a hipótese de indeformabilidade axial das barras, são considerados

como painéis verticais somente pilares-paredes e pórticos retangulares.

Deve-se notar que as lajes, deformáveis no seu plano, tem um comportamento muito semelhante ao de pilar parede, com a única diferença que estas não possuem engastamento, mas isto não impede que a parte do programa que obtém a matriz de rigidez do pórtico, obtenha também a matriz de rigidez da laje, que existe, mesmo que ela seja encarada como um corpo livre, sem engastamento. Assim, as lajes recebem tratamento análogo ao dos painéis.

A figura 1.1 mostra a planta de um edifício que pode ser resolvido pelo programa desenvolvido, constituído de painéis verticais paralelos, submetido à carga do vento que atua paralelamente ao plano dos painéis.



**FIG.1.1** — Planta de edifício constituído de painéis verticais paralelos e lajes deformáveis.

O programa desenvolvido neste trabalho resolve também estruturas de forma mais geral. Assim, as lajes não poderão possuir orifícios, podendo entretanto haver ausência de segmentos de laje que conectariam painéis vizinhos. Também para os painéis, é permitido um arranjo não simétrico de paredes e pórticos paralelos, de largura e altura arbitrária, não havendo necessidade nem destes elementos possuírem a mesma largura, como estão representados na figura 1.1, ou nem de os painéis estenderem-se por toda a altura do edifício.

Quanto a este aspecto de generalidade, acredita-se ter dado alguma contribuição ao conhecimento do efeito da ação do vento em estruturas de edifícios.

GOLDBERG<sup>2</sup> e MAJID e CROXTON<sup>3</sup> em seus trabalhos, analisam estruturas como a mostrada na figura 1.1, obtendo resultados muito semelhantes aos obtidos pelo programa aqui desenvolvido. No capítulo IV um mesmo exemplo de estruturas resolvido por GOLDBERG<sup>2</sup> e pelo autor, tem os resultados comparados entre si e também com aqueles que se obtêm admitindo-se a laje indeformável no seu plano (hipótese de diafragmas horizontais).

No capítulo II é estudado o comportamento dos painéis (pórticos e pilares-paredes) e das lajes, da maneira que interessam ao desenvolvimento deste trabalho, como subestruturas do sistema principal (edifício). A análise da estrutura total é feita no capítulo III. Alguns exemplos são resolvidos e discutidos no capítulo IV. Finalmente, no capítulo V, é apresentado o programa em linguagem FORTRAN utilizado no cálculo dos exemplares, assim como explanações para a utilização do mesmo.

## CAPÍTULO II

### ANÁLISE DAS SUBESTRUTURAS

#### 2.1 - INTRODUÇÃO

Conforme foi dito no capítulo I, a análise da ação do vento em estruturas de edifícios com lajes deformáveis, será feita admitindo-se as lajes e painéis como subestruturas do sistema principal. Neste capítulo, cada subestrutura será estudada separadamente, mostrando-se os deslocamentos de conexão com o sistema principal, a matriz de rigidez correspondente, e como é feito o cálculo dos esforços solicitantes nessas subestruturas.

#### 2.2 - ANÁLISE DA SUBESTRUTURA PAINEL

##### 2.2.1 - Numeração dos nós e dos deslocamentos

Seja o pórtico plano retangular da figura 2.1. Se forem consideradas as deformações axiais das vigas, mas não a das colunas, e adotando-se um sistema global de coordenadas retangulares  $Oxyz$ , com  $x$  horizontal e  $y$  vertical pertencentes ao plano do pórtico, tem-se em cada nó  $J$  dois deslocamentos:  $D_{Jx}$  e  $D_{Jz}$ , respectivamente translação horizontal e rotação, ambas no plano do pórtico.

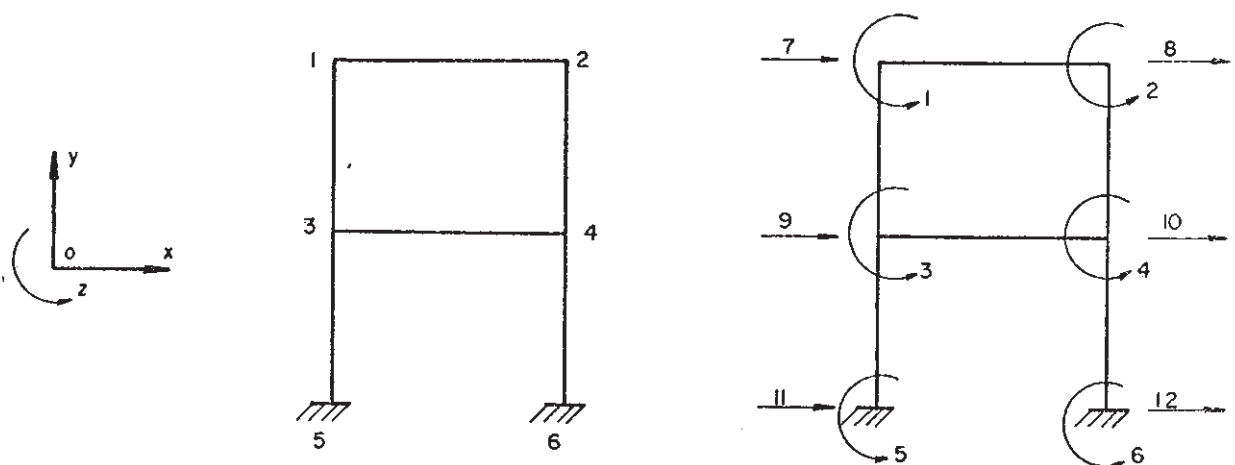


FIG. 2.1 — Pórtico plano — numeração dos nós e dos deslocamentos quando se despreza a deformação axial das colunas.

Os nós serão numerados sequencialmente por andares, da esquerda para a direita em cada andar a partir do mais elevado. De início será admitido para os deslocamentos a seguinte numeração: as rotações serão numeradas primeiramente, em ordem crescente, com a mesma numeração dos nós; em seguida são numeradas as translações horizontais, na mesma sequência dos nós. Desta maneira, o pórtico da figura 2.1, com seis nós, possui doze deslocamentos possíveis: seis rotações e seis translações. Desses doze deslocamentos, quatro (duas rotações e duas translações) são impedidos, por corresponderem ao engastamento na base.

Os painéis verticais serão admitidos sempre engastados na base, hipótese esta usual na análise de edifícios. Com a numeração adotada, a análise do pórtico de base engastada por métodos matriciais, fica facilitada evitando rearranjo de linhas e colunas das matrizes.

Desprezando-se também a deformação axial das vigas, existirá igualdade entre as translações horizontais dos nós de um mesmo andar. Assim, tomando como exemplo o pórtico da figura 2.1, pode-se estabelecer para os deslocamentos livres independentes, uma outra numeração conforme mostra a figura 2.2.

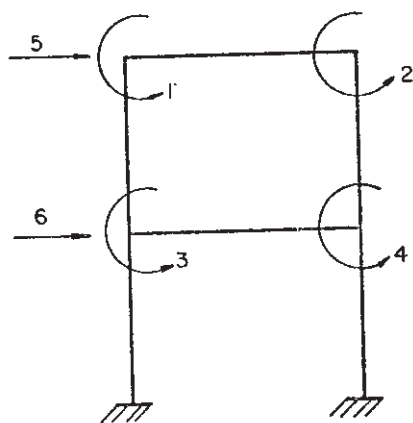


FIG. 2.2 — numeração dos deslocamentos livres independentes em um pórtico com vigas e colunas indeformáveis axialmente.

Nesta nova ordenação dos deslocamentos, são numeradas primeiramente as rotações na ordem crescente dos nós livres, e depois as translações sequencialmente por andares, a partir do mais elevado.

2.2.2 - Matriz de rigidez do painel

A matriz de rigidez correspondente aos deslocamentos no painel, numerados conforme  $\bar{e}$  indicado na figura 2.2, ser $\bar{a}$  denominada neste trabalho como matriz de rigidez do painel. Como j $\bar{a}$  foi visto, tanto p $\bar{o}$ rticos planos como pilares-paredes s $\bar{a}$ o enquadrados como pain $\bar{e}$ is verticais. O pilar-parede pode ser pensado como o caso particular de um p $\bar{o}$ rtico plano de apenas uma prumada de pilares, recebendo ent $\bar{a}$ o o mesmo tratamento dado ao painel tipo p $\bar{o}$ rtico plano.

Para o c $\bar{a}$ lculo dos esfor $\bar{c}$ os solicitantes no painel, h $\bar{a}$  necessidade de se determinar todos os deslocamentos numerados conforme a figura 2.2. A matriz de rigidez do painel correspondente aos mesmos deslocamentos, ser $\bar{a}$  determinada somente como passo intermedi $\bar{a}$ rio para a obten $\bar{c}$ o da matriz de rigidez reduzida do painel, sendo esta relativa apenas  $\bar{a}$ s transla $\bar{c}$ o $\bar{e}$ s horizontais (deslocamentos 5 e 6 da figura 2.2). A matriz de rigidez reduzida ser $\bar{a}$  estudada no item 2.2.4.

Seja um p $\bar{o}$ rtico de  $n_c$  prumadas de pilares (o  $\bar{i}$ ndice  $c$  lembra colunas) e  $n_a$  andares. Os deslocamentos  $\{D^P\}$ , numerados como na figura 2.2, est $\bar{a}$ o relacionados com os esfor $\bar{c}$ os correspondentes  $\{A^P\}$  (momentos aplicados nos n $\bar{o}$ s e for $\bar{c}$ as horizontais nos andares), atrav $\bar{e}$ s de:

$$\{A^P\} = [S^P] \{D^P\} \dots\dots\dots(2.1)$$

onde  $[S^P]$   $\bar{e}$  a matriz de rigidez do painel, j $\bar{a}$  referida, de ordem  $n_a(n_c + 1) \times n_a(n_c + 1)$ ,

$\{D^P\}$   $\bar{e}$  o vetor dos deslocamentos livres, de ordem  $n_a(n_c + 1) \times 1$

e  $\{A^P\}$   $\bar{e}$  o vetor das cargas correspondentes  $\bar{a}$   $\{D^P\}$ .

A equa $\bar{c}$ o $\bar{~}$  2.1 pode ser escrita, partindo-se as matrizes:

$$\begin{Bmatrix} \{A^P_{\theta}\} \\ \{A^P_H\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [S^P_{\theta\theta}] & [S^P_{\theta H}] \\ [S^P_{H\theta}] & [S^P_{HH}] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{D^P_{\theta}\} \\ \{D^P_H\} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.2)$$

Nesta expressão, a matriz  $[S^P]$  é partida separando os coeficientes relativos às rotações, dos relativos às translações, resultando na forma:

$$[S^P] = \begin{bmatrix} [S_{\theta\theta}^P] & [S_{\theta H}^P] \\ [S_{H\theta}^P] & [S_{HH}^P] \end{bmatrix} \begin{matrix} n_a \cdot n_c \text{ linhas} \\ n_a \text{ linhas} \end{matrix} \dots\dots(2.3)$$

As outras submatrizes da expressão 2.2 tem o seguinte significado:

$\{D_{\theta}^P\}$  é o vetor das rotações dos nós, de ordem  $(n_a n_c \times 1)$ ,

$\{D_H^P\}$  é o vetor das translações dos andares, numeradas a partir do topo, de ordem  $(n_a \times 1)$ ,

$\{\Lambda_{\theta}^P\}$  é o vetor dos momentos concentrados nos nós, correspondentes a  $\{D_{\theta}^P\}$

e  $\{\Lambda_H^P\}$  é o vetor das forças horizontais nos andares, correspondentes a  $\{D_H^P\}$ .

### 2.2.3 - Cálculo de $[S^P]$

Em cálculos automáticos, a forma mais prática de obtenção da matriz  $[S^P]$  é considerar-se a contribuição dos elementos da matriz de rigidez de cada barra, na posição adequada das linhas e colunas de  $[S^P]$ . Para a execução deste objetivo, foi aproveitado o procedimento sugerido por FIGUEIREDO<sup>4</sup>.

Seja a barra J-K de um painel, onde J é a extremidade início, e K a extremidade fim da barra, com  $J < K$ , o que convencionamos serem orientadas da esquerda para a direita as barras horizontais, e de cima para baixo as barras verticais, em coerência com a numeração adotada para os nós do painel (figura 2.1).

Seja  $[S_{MD}]$  a matriz de rigidez de uma barra, calculada para os deslocamentos numerados como nas figuras 2.3a e 2.3b:

$$S_{MD} = \begin{bmatrix} S_{MD11} & S_{MD12} & S_{MD13} & S_{MD14} \\ S_{MD21} & S_{MD22} & S_{MD23} & S_{MD24} \\ S_{MD31} & S_{MD32} & S_{MD33} & S_{MD34} \\ S_{MD41} & S_{MD42} & S_{MD43} & S_{MD44} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.4)$$

(4x4)

ou, em termos mais explícitos ( conforme GERE e WEAVER<sup>5</sup>)

$$[S_{MD}] = \begin{bmatrix} \frac{EI_z(4+2g)}{L(1+2g)} & \frac{EI_z(2-2g)}{L(1+2g)} & \frac{-6EI_z}{L^2(1+2g)} C_y & \frac{6EI_z}{L^2(1+2g)} C_y \\ \frac{EI_z(4+2g)}{L(1+2g)} & \frac{-6EI_z}{L^2(1+2g)} C_y & \frac{6EI_z}{L^2(1+2g)} C_y & \dots \\ \left( \frac{EA_x}{L} C_x^2 + \frac{12EI_z}{L^3(1+2g)} C_y^2 \right) & - \left( \frac{EA_x}{L} C_x^2 + \frac{12EI_z}{L^3(1+2g)} C_y^2 \right) & & \\ \text{SIMÉTRICO} & & \left( \frac{EA_x}{L} C_x^2 + \frac{12EI_z}{L^3(1+2g)} C_y^2 \right) & \end{bmatrix} \dots (2.5)$$

onde:

E : módulo de elasticidade longitudinal

I<sub>z</sub> : momento de inércia da seção em relação ao eixo passando pelo centro de gravidade da seção.

L : comprimento da barra

g : parâmetro de deformação por cortante, calculado através da expressão:

$$g = \frac{6fEI_z}{GA_x L^2} \dots\dots\dots (2.6)$$



na qual:

$A_x$  : área da seção transversal

$G$  : módulo de elasticidade transversal

$f$  : fator que depende da forma da seção transversal da barra, e para os casos usuais da prática, assume os valores:

$f = \frac{6}{5}$  para seções retangulares

$f = \frac{10}{9}$  para seções circulares .....(2.7)

$f = \frac{A_{total}}{A_{alma}}$  para perfis I

Na expressão 2.5 , tem-se ainda:

$C_x = \frac{x_k - x_j}{L}$  ;  $C_y = \frac{y_k - y_j}{L}$  .....(2.8)

sendo  $x_j$  ,  $y_j$  e  $x_k$  ,  $y_k$  as coordenadas dos nós J e K do pórtico.

Os números dos deslocamentos do pórtico correspondentes aos deslocamentos 1,2,3 e 4 da barra (figuras 2.3a e 2.3b), podem ser calculados por:

$j_1 = J$

$j_2 = K$

.....(2.9)

$j_3 = n_a \cdot n_c + 1 + \text{parte inteira de } \frac{J-1}{n_c}$

$j_4 = n_a \cdot n_c + 1 + \text{parte inteira de } \frac{K-1}{n_c}$

Como os deslocamentos do painel são numerados de maneira que as  $n_a \cdot n_c$  rotações precedem as  $n_a$  translações nos andares , tem-se a relação de ordem:

$j_1 < j_2 < j_3 \leq j_4$  .....(2.10)

valendo o sinal de igualdade para as barras horizontais. Esta relação conduz aos dois casos:

a)  $j_3 < j_4$

A barra é vertical. As contribuições dos elementos da

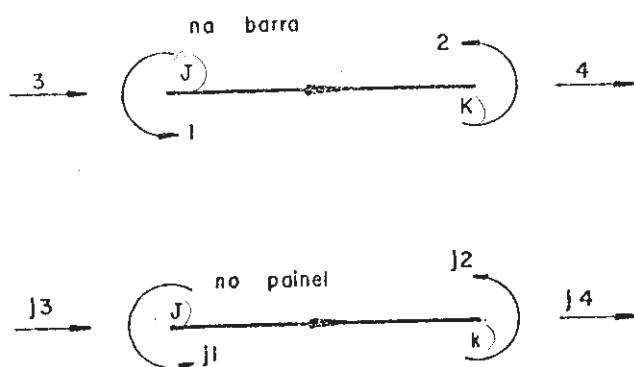


FIG. 2.3a — Deslocamentos possíveis nas barras horizontais e deslocamentos correspondentes no painel.

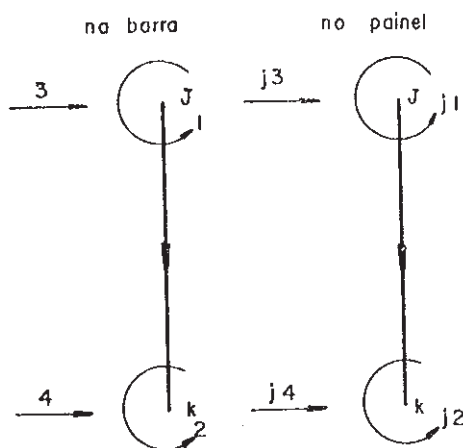


FIG. 2.3b — Deslocamentos possíveis nas barras verticais e deslocamentos correspondentes no painel.

mátriz  $[S_{MD}]$  para a formação da parte triangular superior da mátriz  $[S^P]$  são:

$$\begin{aligned}
 S_{j_1, j_1}^P &= S_{MD11} + \text{contribuição das outras barras} \\
 S_{j_1, j_2}^P &= S_{MD12} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \\
 S_{j_1, j_3}^P &= S_{MD13} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \\
 S_{j_1, j_4}^P &= S_{MD14} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \\
 S_{j_2, j_2}^P &= S_{MD22} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \\
 S_{j_2, j_3}^P &= S_{MD23} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \\
 S_{j_2, j_4}^P &= S_{MD24} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \\
 S_{j_3, j_3}^P &= S_{MD33} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \\
 S_{j_3, j_4}^P &= S_{MD34} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \\
 S_{j_4, j_4}^P &= S_{MD44} + \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"} \quad \quad \quad \text{"}
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$



Portanto, os deslocamentos horizontais no painel estão relacionados com as forças horizontais aplicadas, através de:

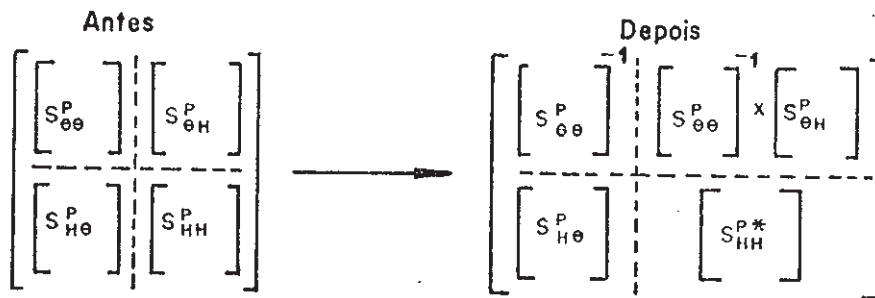
$$\{A_H^P\} = [S_{HH}^{P*}] \{D_H^P\} \dots \dots \dots (2.16)$$

onde,

$$[S_{HH}^{P*}] = [S_{HH}^P] - [S_{H\theta}^P] [S_{\theta\theta}^P]^{-1} [S_{\theta H}^P] \dots \dots \dots (2.17)$$

A matriz  $[S_{HH}^{P*}]$  (equação 2.17), é denominada matriz de rigidez reduzida do painel, e já foi citada no item 2.2.2.

Na programação automática usada no trabalho, as submatrizes e produtos matriciais envolvidos no cálculo de  $[S_{HH}^{P*}]$ , ficarão armazenados na memória do computador, nas posições anteriormente ocupadas pelas submatrizes de  $[S^P]$ , como mostra a figura 2.4.



**FIG. 2.4** — Armazenamento das submatrizes e produtos matriciais na memória do computador.

2.2.5 - Deslocamentos e forças horizontais no painel

Quando se analisa um painel como estrutura plana isolada, o vetor  $\{A_H^P\}$  das forças horizontais é suposto conhecido. Neste caso os deslocamentos horizontais no painel podem ser calculados:

$$\{D_H^P\} = [S_{HH}^{P*}]^{-1} \{A_H^P\} \dots \dots \dots (2.18)$$

A seguir, o vetor  $\{D_0^P\}$  das rotações nos nós pode ser determinado, em função de  $\{D_H^P\}$ , através de:

$$\{D_0^P\} = - [S_{\theta\theta}^P]^{-1} \cdot [S_{\theta H}^P] \{D_H^P\} \dots\dots\dots(2.19)$$

Esta expressão é deduzida da equação (2.14a) pré multiplicada por  $[S_{\theta\theta}^P]^{-1}$ . O fator  $[S_{\theta\theta}^P]^{-1} \cdot [S_{\theta H}^P]$  necessário ao produto matricial da expressão (2.19) estará armazenado na área da matriz  $[S^P]$ , conforme mostra a figura 2.4.

Quando o painel é apenas uma subestrutura do sistema principal, a análise do sistema se conduz de maneira que as primeiras grandezas a serem conhecidas, relativas ao painel, são os deslocamentos  $\{D_H^P\}$ . Neste caso, usa-se também a equação 2.19 para se determinar as rotações  $\{D_0^P\}$  em função de  $\{D_H^P\}$ .

As forças horizontais  $\{A_H^P\}$  são agora resultados a obter por:

$$\{A_H^P\} = [S_{HH}^{P*}] \{D_H^P\} \dots\dots\dots(2.20)$$

Os valores das forças horizontais encontradas são resultados que ajudam a compreender o comportamento do painel como elemento resistente à carga do vento no sistema.

Para se alcançar uma boa automatização, o programa de cálculo foi escrito considerando que em cada painel as  $n_c$  prumadas de pilares se estendem da base até o topo do edifício. O programa supõe também que todos os painéis possuem o mesmo número de andares, igual ao número de lajes do edifício. Esta geometria regular dos painéis é adotada apenas para facilitar a automatização do programa.

Embora tenha sido escrito com estas características, o programa resolve painéis de geometria mais variável. Assim, painéis semelhantes ao mostrado na figura 2.5 podem também ser resolvidos.

Para os painéis deste tipo, poderá haver ausência de barras, desde que sejam satisfeitas as condições:

- a) quando um pilar é ausente, todos acima dele, pertencentes a sua prumada são ausentes.
- b) não há ausência de vigas e pilares internos à linha de contorno do painel (figura 2.5).

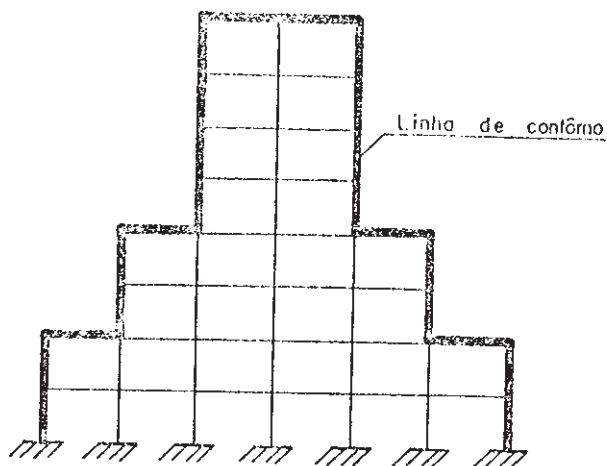


FIG.2.5 Painel com ausência de pilares nas prumadas externas

Com as condições a) e b), permanecem nulos os deslocamentos verticais nos nós do painel, como é admitido em decorrência da hipótese adotada de indeformabilidade axial das barras.

Os dados de um painel como o da figura 2.5, serão fornecidos ao computador supondo que o painel tenha contorno regular, com  $n_c$  prumadas de pilares ( $n_c$  = número de prumadas na base), mas atribuindo valores nulos para os momentos de inércia das seções das barras ausentes. Este artifício é mostrado na figura 2.6, onde as barras indicadas por traço interrompido tem coeficientes de rigidez nulos.

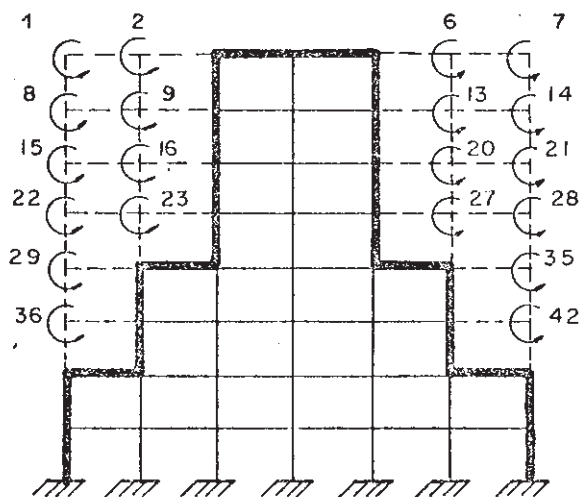


FIG.2.6 Artifício para tratar painéis com ausência de barras

A adoção de barras com rigidez nula, faz com que na matriz  $[S^P]$  (equação 2.3), as linhas e colunas correspondentes às rotações numeradas na figura 2.6 tenham todos os elementos nulos. Este fato torna singular a submatriz  $[S_{\theta\theta}^P]$  (equação 2.3), cuja inversa precisa ser calculada e usada nas equações (2.17) e (2.19).

Para superar esta dificuldade, as linhas e colunas correspondentes às rotações indicadas na figura 2.6 poderiam ser eliminadas de  $[S^P]$ , resultando uma redução na ordem das submatrizes  $[S_{H\theta}^P]$ ,  $[S_{\theta\theta}^P]$  e  $[S_{\theta H}^P]$  (equação 2.3). Esta redução não afeta o resultado da equação (2.17), deixando porém indeterminadas na equação (2.19) as rotações indicadas na figura 2.6. Os valores indefinidos destas rotações não influenciam nos esforços solicitantes das barras representadas com traço interrompido na figura 2.6, pois os mesmos são calculados com coeficientes de rigidez nulos.

Um fato interessante, devido as características dos sistemas de computação, é que esta eliminação de linhas e colunas pode ser evitada. Usando-se o método de GAUSS-JORDAN para inversão da matriz  $[S_{\theta\theta}^P]$ , quando se divide por zero as linhas correspondentes as rotações indicadas na figura 2.6, aparecem números sem significado. Na sequência de cálculo, estas linhas são então multiplicadas por zero e subtraídas das outras linhas da matriz  $[S_{\theta\theta}^P]$ , não influenciando nos resultados obtidos para os coeficientes relativos às rotações não numeradas na figura 2.6. Estas operações levam ao mesmo resultado de  $[S_{HH}^{P*}]$  (equação 2.17) que seriam obtidos com a eliminação das linhas e colunas nulas, e na equação (2.19) levam a resultados sem significado para as rotações numeradas na figura 2.6. Entretanto, como se viu, os valores destas rotações não influem nos esforços solicitantes das barras.

Neste trabalho adotou-se este último procedimento, que facilita a programação automática, e permite a solução de painéis como o da figura 2.5.

Como foi salientado, não deve haver ausência de vigas e pilares internos a linha de contorno do painel (figura 2.5). Porém, em alguns casos particulares, a ausência de vigas poderá ser admitida, desde que as lajes ao redor imponham igualdade de deslocamentos horizontais nos nós do mesmo andar.

A ausência de pilares internos à linha de contorno poderá ocorrer em certos pórticos particulares, como os mostrados na figura 2.7.

No pórtico da figura 2.7a, pode-se garantir a nulidade dos deslocamentos verticais nos nós da prumada central, por ser o pórtico simétrico.

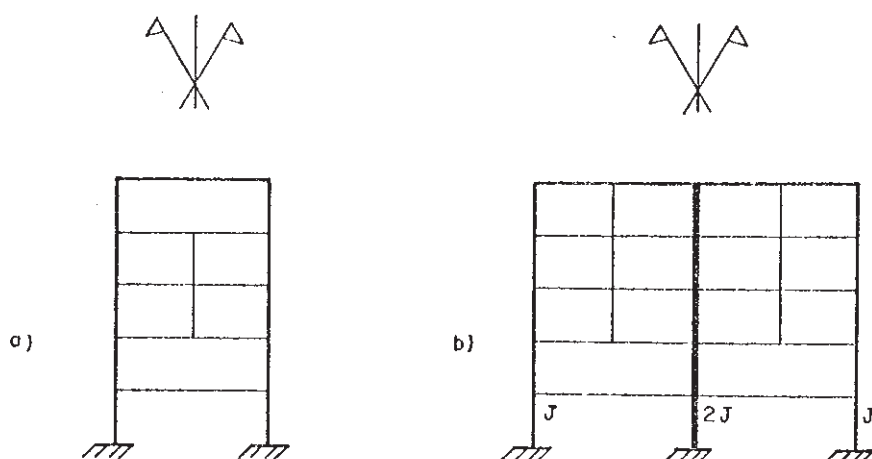


FIG. 2.7— Pórticos para os quais pode haver ausência de pilares internos.

O pórtico da figura 2.7b, simétrico, pode ser decomposto em dois pórticos iguais, cada um com tres prumadas de pilares, satisfazendo o "princípio dos múltiplos" de LIGHTFOOT<sup>6</sup>. Note-se que os pilares da prumada central devem possuir momentos de inércia da seção igual ao dobro dos momentos de inércia das seções dos pilares das prumadas externas.

Se houver ausência de pilares do painel logo abaixo de viga de transição bastante rígida, pode-se aceitar os resultados obtidos pelo programa como uma boa aproximação.

2.2.6 - Esforços internos no painel

2.2.6.1 - Momentos e forças cortantes

Uma vez conhecidos  $\{D_H^P\}$  e  $\{D_\theta^P\}$ , o vetor dos deslocamentos do painel, numerados como na figura 2.2, toma a forma:

$$\{D^P\} = \left\{ \begin{array}{c} \{D_\theta^P\} \\ \{D_H^P\} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2.21)$$



Os momentos fletores nas extremidades de cada barra, assim como o esforço cortante (constante em cada barra), são os esforços  $A_{M1}$ ,  $A_{M2}$  e  $A_{M3}$  (ou  $A_{M1}$ ,  $A_{M2}$  e  $-A_{M4}$ ), da figura 2.8.

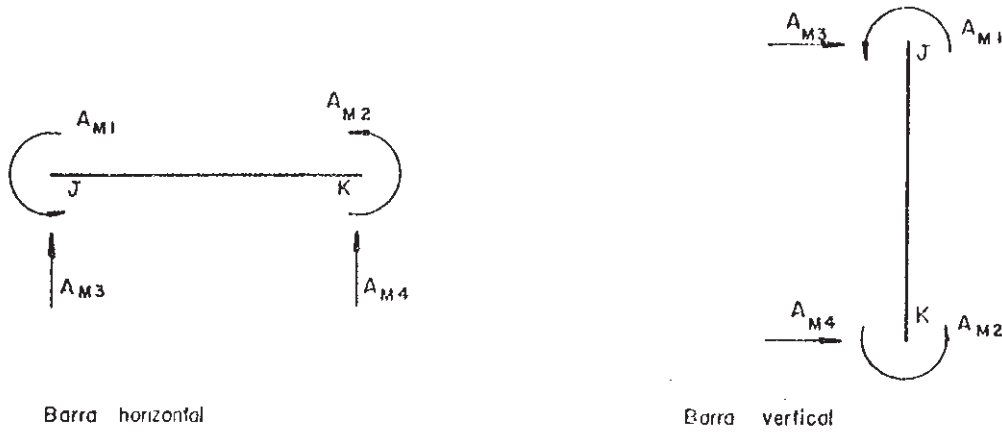


FIG.2:8 — Momentos fletores e esforços cortantes nas barras do painel

Para determinar os esforços internos, o programa de cálculo deve tratar diferentemente as barras horizontais e verticais. Assim, são calculados os índices  $j_3$  e  $j_4$  (expressões 2.9), para cada barra, e verificado se

$$j_3 \leq j_4$$

correspondendo a desigualdade à barra vertical, e a igualdade à barra horizontal.

Tratando-se de barra horizontal, o vetor  $\{D_M\}$  dos deslocamentos da barra será:

$$\{D_M\} = \begin{Bmatrix} D_{M1} \\ D_{M2} \\ D_{M3} \\ D_{M4} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} D_{j1}^P \\ D_{j2}^P \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \dots \dots \dots (2.22)$$

Os valores  $D_{j_1}^P$  e  $D_{j_2}^P$  são deslocamentos no painel contidos no vetor da equação (2.21), com os índices  $j_1$  e  $j_2$  calculados pelas expressões (2.9). Os deslocamentos nulos do segundo membro da equação (2.22) são consequência da hipótese admitida de serem nulos os deslocamentos verticais dos nós no painel.

Se a barra é vertical, o vetor  $\{D_M\}$  tem a forma:

$$\{D_M\} = \begin{Bmatrix} D_{M1} \\ D_{M2} \\ D_{M3} \\ D_{M4} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} D_{j_1}^P \\ D_{j_2}^P \\ D_{j_3}^P \\ D_{j_4}^P \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.23)$$

sendo  $D_{j_i}^P$  ( $i=1,2,3,4$ ), os elementos de  $\{D^P\}$  (equação 2.21) com os índices  $j_i$  ( $i=1,2,3,4$ ) calculados pelas expressões (2.9).

Tanto para barra horizontal como para barra vertical, os momentos fletores e esforços cortantes são calculados por:

$$\begin{Bmatrix} A_{M1} \\ A_{M2} \\ A_{M3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{MD11} & S_{MD12} & S_{MD13} & S_{MD14} \\ S_{MD21} & S_{MD22} & S_{MD23} & S_{MD24} \\ S_{MD31} & S_{MD32} & S_{MD33} & S_{MD34} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_{M1} \\ D_{M2} \\ D_{M3} \\ D_{M4} \end{Bmatrix} \dots(2.24)$$

Na equação (2.24),  $A_{M1}$  é o momento fletor na extremidade início da barra,  $A_{M2}$  o momento fletor na extremidade fim, e  $A_{M3}$  o esforço cortante. O pré-multiplicando do segundo membro é uma matriz retangular de ordem (3x4) que contém as tres primeiras linhas da matriz de rigidez da barra (equação 2.4). Quando a barra é horizontal, o pós-multiplicando terá  $D_{M3}=D_{M4}=0$ .

2.2.6.2 - Forças normais

Uma vez determinados os momentos fletores e o esforço cortante em cada barra, os esforços normais nas mesmas são determinados com equações de equilíbrio de forças para os nós do painel. O cálculo manual dos esforços normais das barras de pórticos retangu

lares, não apresenta grandes dificuldades quando são conhecidos os esforços cortantes em todas as barras. Porém, o cálculo automático apresenta certas peculiaridades que convém serem explanadas aqui.

Suponha-se então que ao iniciar esta etapa do cálculo, os esforços  $\{A_M\}$  (equação 2.24) estejam determinados para todas as barras, e disponíveis na memória rápida do computador.

Os esforços normais das  $m$  barras (positivos quando de tração) são colecionados no vetor:

$$\{F\} = \left\{ \begin{array}{c} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ F_m \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2.25)$$

sendo  $m$  o número de barras do painel.

Para facilitar o cálculo automático, as barras do panel são numeradas seguindo uma certa regra: primeiramente são numeradas as vigas da esquerda para a direita, andar por andar, a partir do mais elevado. Em seguida são numerados os pilares, também da esquerda para a direita, sequencialmente por andares. Esta numeração é vista na figura 2.9, para um painel com quatro andares e quatro prumadas de pilares. Como já foi visto no item 2.2.3, as barras horizontais são orientadas da esquerda para a direita, e as verticais de cima para baixo.

Para a determinação dos esforços normais nas colunas, é suficiente o conhecimento das forças cortantes nas vigas, porém, para se determinar as forças normais nas vigas, seria necessário conhecer a distribuição ao longo do andar, da força horizontal trocada entre laje e painel. Esta distribuição da força horizontal é um outro aspecto do problema que não é abordado aqui. Neste trabalho, é admitido que a força horizontal que a laje transmite ao painel em um certo andar, é concentrada no nó da prumada externa a barlavento, como mostra a figura 2.9.

Os elementos do vetor  $\{F\}$  (equação 2.25) serão calculados nas seguintes etapas:

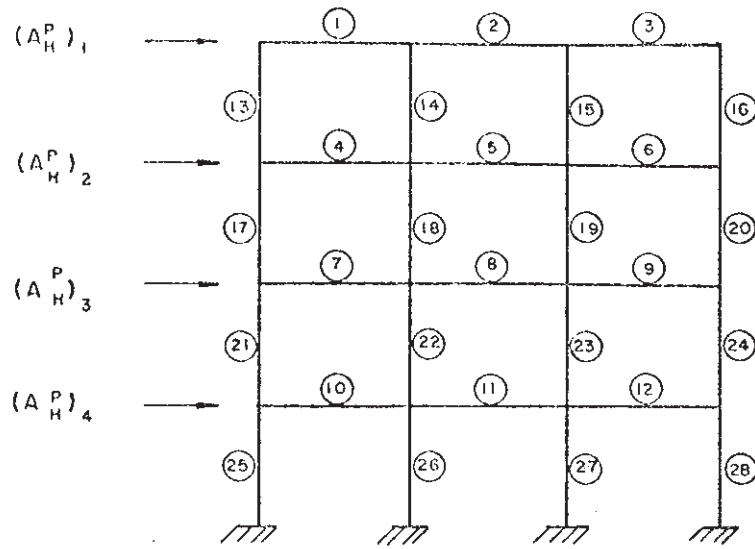


FIG. 2.9.—Numeração das barras de um painel com quatro prumadas de pilares e quatro andares

a) Pilares da prumada mais à direita

Os esforços normais (elementos da  $\{F\}$ ) são calculados andar por andar, a partir do mais elevado.

Chamando  $\underline{n}$  o número do andar, tem-se:

$$F_p = F_{ps} + (A_{M3})_{ve} \dots \dots \dots (2.26)$$

onde:

- $p = n_a(n_c - 1) + n \cdot n_c$  é o número da barra do pilar, onde se determina o esforço normal.
- $ps = p - n_c$  é o número da barra do pilar situada imediatamente acima da barra  $p$ .
- $ve = n(n_c - 1)$  é o número da barra da viga que concorre à esquerda da extremidade superior da barra  $p$ .

Os símbolos  $n_a$  e  $n_c$  têm os mesmos significados dados no item 2.2.2.

Quando a barra do pilar pertencer ao andar mais elevado ( $p = n_a \cdot (n_c - 1) + n_c$ ), o valor de  $F_{ps}$  na equação (2.26) deve ser tomado igual a zero.

b) Pilares da prumada mais a esquerda

Os elementos de {F} são determinados também andar por andar, a partir do mais elevado.

No andar  $n$  tem-se:

$$F_p = F_{ps} - (A_{M3})_{vd} \dots \dots \dots (2.27)$$

onde:

$p = n_a (n_c - 1) + (n - 1)n_c + 1$  é o número da barra do pilar onde se determina o esforço normal.

$ps = p - n_c$  é o número da barra do pilar situada imediatamente acima da barra p.

$vd = (n-1) (n_c - 1) + 1$  é o número da barra da viga que concorre a direita da extremidade superior da barra p.

Se a barra do pilar pertence ao primeiro andar ( $p = n_a (n_c - 1) + 1$ ), o valor de  $F_{ps}$  na equação (2.27) é igual a zero.

c) Pilares das prumadas internas

Admitindo que as prumadas de pilares estão numeradas da esquerda para a direita, com a mesma numeração dos nós do topo do edifício, os esforços normais nos pilares de uma prumada interna ( $2 \leq i \leq n_c - 1$ ), podem ser determinados também andar por andar, a partir do mais elevado.

Assim, no andar  $n$ , tem-se:

$$F_p = F_{ps} + (A_{M3})_{ve} - (A_{M3})_{vd} \dots \dots \dots (2.28)$$

onde:

$$p = n_a (n_c - 1) + (n - 1) n_c + i$$

é o número da barra do pilar, onde se determina o esforço normal.

$$ps = p - n_c$$

é o número da barra do pilar situada imediatamente acima da barra p.

$$ve = (n - 1) (n_c - 1) + i - 1$$

é o número da barra da viga que concorre a esquerda da extremidade superior da barra p.

$$vd = ve + 1$$

é o número da barra da viga que concorre a direita da extremidade superior da barra p.

Se a barra do pilar pertence ao primeiro andar,  $F_{ps}$  é igual a zero na equação 2.28.

d) Vigas do topo do painel

As forças normais podem ser determinadas viga por viga, a partir do tramo mais à direita. Numerando-se os tramos com a mesma numeração das vigas do topo do edifício, tem-se para a viga de um tramo  $t$  ( $1 \leq t \leq n_c - 1$ ):

$$F_v = F_{vd} - (A_{M3})_{pi} \dots \dots \dots (2.29)$$

onde:

$$v = t$$

é o número da barra da viga onde se determina o esforço normal.

$$vd = v + 1$$

é o número da barra da viga situada imediatamente à direita da viga v.

$$pi = n_a (n_c - 1) + t + 1$$

é o número da barra do pilar que concorre abaixo da extremidade direita da viga v.

Caso da viga pertença ao tramo mais a direita  $v = n_c - 1$  o valor de  $F_{vd}$  na equação (2.29) é zero.

e) Vigas dos andares abaixo do topo do painel

Como no caso anterior, as forças normais podem ser determinadas viga por viga, a partir do tramo mais à direita. Assim, em cada andar  $n$  ( $2 \leq n \leq n_a$ ), para a viga do tramo  $t$  ( $1 \leq t \leq n_c - 1$ ) tem-se:

$$F_v = F_{vd} + (A_{M3})_{ps} - (A_{M3})_{pi} \dots\dots\dots(2.30)$$

onde:

$v = (n-1)(n_c - 1) + t$  é o número da barra da viga onde se determina o esforço normal.

$vd = v + 1$  é o número da barra da viga situada imediatamente à direita da viga  $v$ .

$pi = n_a(n_c - 1) + (n-1)n_c + t + 1$  é o número da barra do pilar que corre abaixo da extremidade direita da viga  $v$ .

$ps = pi - n_c$  é o número da barra do pilar que corre acima da extremidade direita da viga  $v$ .

Como no caso anterior, se a viga pertencer ao tramo mais a direita,  $v = n(n_c - 1)$  o valor de  $F_{vd}$  na equação (2.30) é nulo.

2.2.6.3 - Esforços solicitantes nas barras fictícias

Para as barras fictícias, nas quais se adotou momento de inércia nulo das seções, serão encontrados sempre momentos fletores e forças cortantes nulos.

Os esforços normais, calculados com equações de equilíbrio, como explanado no item anterior, serão nulos para todas as barras fictícias, excepto para as vigas a barlavento, que num mesmo andar terão esforço normal igual a força horizontal trocada entre o painel e laje no andar. Convém observar que a adoção de barras fictícias não altera os esforços solicitantes nas barras reais.

### 2.3 - ANÁLISE DA SUBESTRUTURA DA LAJE

Procurar-se-á estabelecer para as lajes, uma seqüência de cálculo que seja a mais semelhante possível à seguida para os painéis. Adotando esse procedimento, a mesma parte do programa de cálculo que é usada para a análise do painel servirá também para a análise da laje, facilitando o cálculo automático.

#### 2.3.1 - Numeração dos nós e dos deslocamentos

A numeração dos nós (interseções da laje com os painéis) e dos deslocamentos (rotação e translação em cada nó), será feita imaginando-se o observador situado acima do plano da laje, com a pressão do vento atuando da esquerda para a direita.

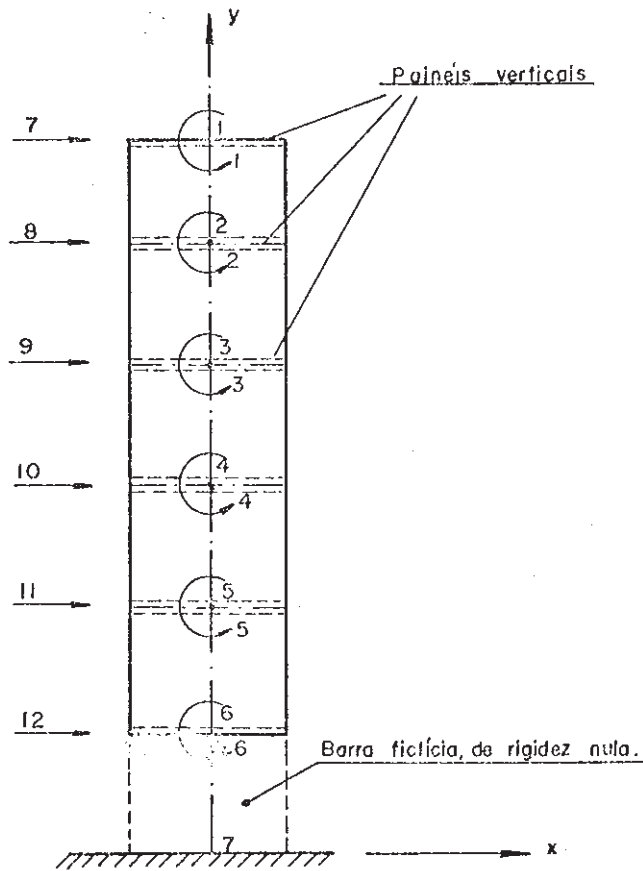


FIG. 2.10—Numeração dos nós e dos deslocamentos da laje. Analogia com um pilar parado.



Desta maneira, vista pelo observador, a laje com os respectivos nós e deslocamentos apresenta aspecto e comportamento semelhante ao de um pilar parede cuja coluna do andar inferior tem rigidez nula. Essa idealização é mostrada na figura 2.10, onde se vê também a numeração dos nós e dos deslocamentos. Analogamente ao caso dos painéis, em primeiro lugar são numeradas as rotações dos nós "de cima para baixo", e em seguida os deslocamentos horizontais na mesma ordem.

Tanto a barra fictícia como o nó 7, da figura 2.10, foram imaginados apenas para evidenciar a semelhança entre a laje e o pilar parede. O programa elaborado neste trabalho não considera a existência nem da barra fictícia nem do nó 7, adotando para a laje um número de nós  $n_j$ , igual ao número de painéis da estrutura ( $n_j=6$  na figura 2.10).

2.3.2 - Matriz de rigidez da laje

A matriz de rigidez correspondente aos deslocamentos numerados como na figura 2.10, será chamada matriz de rigidez da laje. Para se encontrar os esforços solicitantes na laje, é necessário encontrar todos os deslocamentos numerados na mesma figura.

Sendo  $n_p$  o número de painéis (igual ao número de nós da laje), os deslocamentos  $\{D^L\}$ , numerados como na figura 2.10, estão relacionados com os esforços  $\{A^L\}$  (momentos e forças horizontais) através de:

$$\{A^L\} = [S^L] \{D^L\} \dots\dots\dots(2.31)$$

onde  $[S^L]$  é a matriz de rigidez da laje, definida nesse item, de ordem  $(2n_p \times 2n_p)$

e  $\{A^L\}$  é o vetor das cargas correspondentes a  $\{D^L\}$ .

A equação (2.31) também pode ser escrita na forma:

$$\begin{Bmatrix} \{A_{\theta}^L\} \\ \{A_H^L\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [S_{\theta\theta}^L] & [S_{\theta H}^L] \\ [S_{H\theta}^L] & [S_{HH}^L] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D_{\theta}^L\} \\ \{D_H^L\} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.32)$$

O significado das submatrizes da equação (2.32), referentes agora à laje, pode ser obtido nas explicações do item 2.2.2, trocando-se a palavra painel por laje, o índice P por L e os valores n<sub>a</sub> e n<sub>c</sub> respectivamente por n<sub>p</sub> e 1.

2.3.3 - Geração da matriz [S<sup>L</sup>]

Com o observador situado na posição estabelecida no item 2.3.1, a laje possui apenas barras verticais. Desta maneira, o que foi explanado no item 2.2.3 pode ser aproveitado para a geração da matriz [S<sup>L</sup>].

Os índices j<sub>3</sub> e j<sub>4</sub> calculados pelas expressões (2.9) (adotando-se n<sub>a</sub> = n<sub>p</sub> e n<sub>c</sub> = 1), no caso da laje, serão sempre tais que j<sub>3</sub> < j<sub>4</sub>. As matrizes de rigidez [S<sub>MD</sub>]<sup>L</sup> das barras da laje, serão obtidas de (2.5), e as contribuições dos coeficientes de [S<sub>MD</sub>]<sup>L</sup> na matriz [S<sup>L</sup>] são calculados segundo as expressões (2.11).

As seções das vigas perpendiculares aos planos dos painéis, podem ser consideradas como fazendo parte da seção da laje no cálculo dos elementos de [S<sub>MD</sub>]<sup>L</sup> (equação 2.5).

2.3.4 - Matriz de rigidez reduzida da laje

Como não há momentos externos aplicados nas lajes, analogamente ao que foi feito para os painéis, pode-se obter uma expressão semelhante a equação (2.13), trocando-se o índice P por L:

$$\begin{Bmatrix} \{0\} \\ \{A_H^L\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [S_{\theta\theta}^L] & [S_{\theta H}^L] \\ [S_{H\theta}^L] & [S_{HH}^L] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{D_\theta^L\} \\ \{D_H^L\} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.33)$$

A partir dessa equação, obtêm-se ainda:

$$\{A_H^L\} = [S_{HH}^{L*}] \cdot \{D_H^L\} \dots\dots\dots(2.34)$$

na qual,

$$[S_{HH}^{L*}] = [S_{HH}^L] - [S_{H\theta}^L] [S_{\theta\theta}^L]^{-1} [S_{\theta H}^L] \dots\dots\dots(2.35)$$

A matriz  $[S_{HH}^{L*}]$  (equação 2.35) é denominada matriz de rigidez reduzida da laje, e corresponde aos deslocamentos de conexão da laje com o sistema principal.

O armazenamento das submatrizes e produtos matriciais envolvidos no cálculo, é idêntico ao mostrado na figura 2.4, apenas trocando o índice P por L.

### 2.3.5 - Deslocamentos e forças horizontais na laje

Após a análise do sistema (constituído de painéis e lajes), o primeiro resultado obtido para a laje é o vetor  $\{D_H^L\}$  dos deslocamentos horizontais. A partir de  $\{D_H^L\}$ , determina-se  $\{D_\theta^L\}$  por uma expressão semelhante à 2.19:

$$\{D_\theta^L\} = - [S_{\theta\theta}^L]^{-1} [S_{\theta H}^L] \{D_H^L\} \dots\dots\dots(2.36)$$

As forças horizontais na laje são obtidas por:

$$\{A^L\} = [S_{HH}^{L*}] \{D_H^L\} \dots\dots\dots(2.37)$$

O programa automático usado neste trabalho, supõe para as lajes  $n_p$  nós e  $(n_p - 1)$  barras ( $n_p$  = número de painéis da estrutura). Entretanto, também as lajes podem apresentar ausência de barras que conectariam painéis vizinhos. Para fornecer ao computador os dados de uma laje com tais características, adotam-se valores nulos para os momentos de inércia das seções das barras ausentes.

Pelo mesmos motivos explicados no item 2.2.5, este artifício não afeta a obtenção de  $[S_{III}^{I,*}]$  e nem introduz erros no cálculo dos esforços solicitantes nas barras da laje.

### 2.3.6 - Esforços internos na laje

Em cada barra da laje, os esforços internos, com a nomenclatura da figura 2.8, podem ser determinados através da equação (2.24), onde o vetor  $\{D_M\}$  é calculado pela equação (2.23).

## CAPÍTULO III

### ANÁLISE DA ESTRUTURA

#### 3.1 - INTRODUÇÃO

As estruturas que este trabalho se propõe analisar, podem ser assimiladas a um conjunto de painéis verticais e lajes horizontais interligando os painéis. As cargas que atuam na estrutura, são forças horizontais, supostas concentradas, atuando nas interseções entre painéis e lajes, e contidas nesta interseção. Assim, o comportamento das subestruturas e do sistema principal, pode ser caracterizado apenas pelas translações em cada interseção, e a estrutura terá um comportamento similar ao de grelha sem rigidez à torção, na qual os painéis e lajes trabalham como longarinas e transversinas.

#### 3.2 - NUMERAÇÃO DOS PAINÉIS, LAJES E DESLOCAMENTOS DA ESTRUTURA

Seja uma estrutura de edifício, constituída de três painéis e duas lajes, como mostra a figura 3.1.

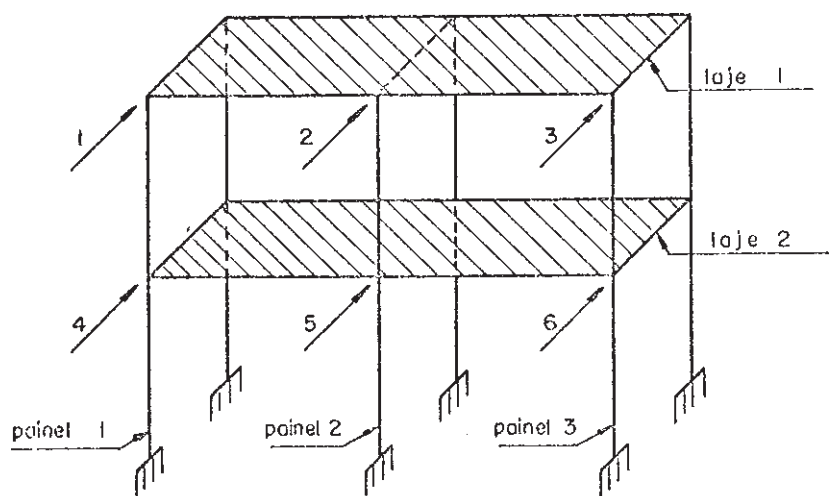


FIG. 3.1 — Estrutura numeração dos painéis, lajes e deslocamentos.

Considerando-se um observador de costas para barlavento, os  $n_p$  painéis da estrutura serão numerados sequencialmente da esquerda para a direita, e as  $n_a$  lajes de cima para baixo. Os nós da estrutura (interseção painel-laje), assim como os correspondentes deslocamentos horizontais, serão numerados laje por laje, a partir da primeira (topo do edifício), na sequência de numeração dos painéis (da esquerda para a direita).

Agrupando-se ordenadamente os deslocamentos translacionais nos nós, tem-se o vetor deslocamento do sistema.

$$\{D_s\} = \begin{Bmatrix} \{D_H^L\}_1 \\ \{D_H^L\}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \{D_H^L\}_{n_a} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (3.1)$$

onde  $\{D_s\}$  é o vetor deslocamento no sistema, de ordem  $(n_a \cdot n_p \times 1)$

e  $\{D_H^L\}_i$  é o vetor dos deslocamentos horizontais na laje  $i$ , de ordem  $(n_p \times 1)$ , ordenados na mesma sequência em que são numerados os painéis.

### 3.3 - MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA

Será chamada matriz de rigidez do sistema, a matriz  $[S_s]$  de ordem  $(n_a \cdot n_p \times n_a \cdot n_p)$ , que relaciona as forças horizontais  $\{A_s\}$  concentradas nas linhas de interseção painel-laje, com os deslocamentos horizontais correspondentes  $\{D_s\}$ , através de:

$$\begin{matrix} \{A_s\} & = & [S_s] & \{D_s\} & \dots\dots\dots (3.2) \\ (n_a \cdot n_p \times 1) & & (n_a \cdot n_p \times n_a \cdot n_p) & (n_a \cdot n_p \times 1) & \end{matrix}$$

O comportamento de grelha sem rigidez à torção idealizado para o sistema, facilita o cálculo da contribuição dos painéis e lajes na matriz  $[S_s]$ . Chamando  $[S_s^p]$  a contribuição do painel  $p$  e  $[S_s^\ell]$  a contribuição da laje  $\ell$  na matriz de rigidez do sistema, esta será determinada pela soma de todas as contribuições:

$$[S_s] = \sum_{p=1}^{n_p} [S_s^p] + \sum_{\ell=1}^{n_a} [S_s^\ell] \dots\dots\dots(3.3)$$

Para o cálculo das contribuições  $[S_s^p]$  e  $[S_s^\ell]$ , utiliza-se as matrizes de rigidez reduzidas  $[S_{HH}^{P*}]$  e  $[S_{HH}^{L*}]$  dos painéis e lajes, como foram definidas no capítulo anterior.

### 3.3.1 - Contribuição dos painéis

A posição de um painel  $p$  ( $p = 1, 2, \dots, n_p$ ) na estrutura, pode ser dada por uma matriz  $[t^p]$ , tal que:

$$[t^1] = [1, 0, 0, \dots, 0] \text{ para o painel 1}$$

$$[t^2] = [0, 1, 0, \dots, 0] \text{ para o painel 2}$$

$$[t^{n_p}] = [0, 0, 0, \dots, 1] \text{ para o painel } n_p$$

onde  $[t^p]$  ( $p = 1, \dots, n_p$ ) é de ordem  $(1 \times n_p)$ .

Como os  $n_a$  deslocamentos  $\{D_H^p\}$  no painel  $p$  são numerados por andares, e os  $n_a \cdot n_p$  deslocamentos  $\{D_s\}$  no sistema numerados também por andares ( $n_p$  em cada andar), estes deslocamentos podem ser relacionados por:

$$\{D_H^p\} = [T^p] \{D_s\} \dots\dots\dots(3.4)$$

ou de forma explicita:

$$\begin{Bmatrix} (d_H^p)_1 \\ (d_H^p)_2 \\ \vdots \\ (d_H^p)_{n_a} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [t^p] & [0] & \dots & [0] \\ [0] & [t^p] & \dots & [0] \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ [0] & [0] & \dots & [t^p] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D_H^L\}_1 \\ \{D_H^L\}_2 \\ \vdots \\ \{D_H^L\}_{n_a} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.5)$$

sendo  $[T^p]$  a matriz de transformação definida por:

$$\begin{matrix} [T^p] \\ (n_a \times n_a \cdot n_p) \end{matrix} = \begin{bmatrix} [t^p] & [0] & \dots & [0] \\ [0] & [t^p] & \dots & [0] \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ [0] & [0] & & [t^p] \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.6)$$

e ainda:

$(d_H^p)_i$  é o i-ésimo deslocamento horizontal no painel  $p$ .

$[t^p]$  é a matriz de posição do painel  $p$ .

$$\begin{Bmatrix} \{D_H^L\}_1 \\ \{D_H^L\}_2 \\ \vdots \\ \{D_H^L\}_{n_a} \end{Bmatrix} \text{ é o vetor deslocamento no sistema ( equação 3.1)}$$



A contribuição  $[S_s^p]$  de cada painel na matriz de rigidez do sistema vale:

$$[S_s^p] = [T^p]^T [S_{HH}^{p*}] [T^p] \dots\dots\dots(3.7)$$

onde  $[S_s^p]$  é de ordem  $(n_a \cdot n_p \times n_a \cdot n_p)$ .

$[T^p]^T$  é a matriz transposta de  $[T^p]$ , de ordem  $(n_a \cdot n_p \times n_a)$ .

$[S_{HH}^{p*}]$  é a matriz de rigidez reduzida do painel  $p$ , de ordem  $(n_a \times n_a)$

No caso da estrutura da figura 3.1 (três painéis e duas lajes), a contribuição do primeiro painel na matriz de rigidez do sistema, calculada pela expressão 3.7, tem a forma:

$$[S_s^1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{11}^{1*} & \delta_{12}^{1*} \\ \delta_{21}^{1*} & \delta_{22}^{1*} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 & 000 \\ 000 & 100 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.8)$$

sendo  $\delta_{ij}^{1*}$  os elementos da matriz  $[S_{HH}^{1*}]$ .

Efetuando-se os produtos matriciais de 3.8, chega-se a:

$$[S_s^1] = \begin{bmatrix} \delta_{11}^{1*} & 0 & 0 & \delta_{12}^{1*} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \delta_{21}^{1*} & 0 & 0 & \delta_{22}^{1*} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \uparrow \\ \\ \\ \uparrow \\ \\ \uparrow \end{matrix} \begin{matrix} n_p = 3 \\ \\ \\ n_p = 3 \\ \\ \end{matrix} \dots\dots\dots(3.9)$$

$n_a \cdot n_p = 6$

Como pode ser observado, os produtos matriciais para o cálculo de  $[S_s^p]$  (equação 3.7) envolvem matrizes de grandes dimensões para as estruturas usuais, despendendo muita memória e tempo do computador. O fato de a matriz  $[T^p]$  possuir apenas alguns elementos unitários e grande quantidade de zeros, sugere que se calcule somente a contribuição dos elementos de  $[S_{HH}^{p*}]$  nas posições adequadas de linhas e colunas da matriz  $[S_s^p]$ . Assim, a contribuição dos elementos da matriz de rigidez reduzida do painel  $(\delta_{HH}^{p*})_{i,j}$ , nos elementos  $(\delta_s^p)_{i_s, j_s}$  da matriz de rigidez do sistema, são calculados através da expressão:

$$(\delta_s^p)_{i_s, j_s} = (\delta_{HH}^{p*})_{i, j} \dots\dots\dots (3.10)$$

onde:

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, \dots n_a \\ j &= 1, 2, \dots n_a \\ i_s &= p + (i-1)n_p \\ j_s &= p + (j-1)n_p \end{aligned} \dots\dots\dots (3.11)$$

Para se compreender o significado das equações (3.11), pode-se fazer apelo à correspondência entre os deslocamentos no painel e no sistema na figura 3.1, ou então procurar estabelecer os números de índices correspondentes na equação (3.9), lembrando que esta foi escrita para o painel número 1 da mesma figura 3.1.

### 3.3.2 - Contribuição das lajes

As matrizes  $[T^l]$ , de ordem  $(n_p \times n_a \cdot n_p)$ , que transforma os deslocamentos no sistema  $\{D_s\}$  nos deslocamentos em uma laje  $l$ , são:

$$\begin{aligned} [T^1] &= \begin{bmatrix} [I] & [0] & [0] & \dots\dots\dots & [0] \end{bmatrix} \text{ para a laje 1} \\ [T^2] &= \begin{bmatrix} [0] & [I] & [0] & \dots\dots\dots & [0] \end{bmatrix} \text{ para a laje 2} \\ &\vdots \\ [T^{n_a}] &= \begin{bmatrix} [0] & [0] & [0] & \dots\dots\dots & [I] \end{bmatrix} \text{ para a laje } n_a \end{aligned}$$

onde  $[I]$  é a matriz identidade de ordem  $(n_p \times n_p)$  e  $[0]$  é a matriz nula também de ordem  $(n_p \times n_p)$ .

A contribuição  $[S_s^\ell]$  de cada laje na matriz de rigidez do sistema é determinada por:

$$[S_s^\ell] = [T^\ell]^T [S_{HH}^{\ell*}] [T^\ell] \dots\dots\dots(3.12)$$

$$\begin{matrix} (n_p \times n_p) & (n_p \times n_p) & (n_p \times n_p) & (n_p \times n_p) \\ a_p & a_p & p & p \end{matrix}$$

Analogamente ao raciocínio feito para os painéis, também no caso da laje, é mais econômico, em termos de memória e tempo de computação, calcular as contribuições dos elementos da matriz de rigidez reduzida da laje nas posições adequadas de linha e coluna de  $[S_s^\ell]$ :

$$(\delta_s^\ell)_{i_s, j_s} = (\delta_{HH}^{\ell*})_{i, j} \dots\dots\dots(3.13)$$

onde

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, \dots, n_p \\ j &= 1, 2, \dots, n_p \\ i_s &= (\ell-1)n_p + i \\ j_s &= (\ell-1)n_p + j \end{aligned} \dots\dots\dots(3.14)$$

Para se compreender o significado das expressões (3.14), pode-se analisar na figura 3.1, a correspondência existente entre os índices dos deslocamentos horizontais nas lajes e na estrutura.

### 3.4 - DESLOCAMENTOS NO SISTEMA

Determinada a matriz de rigidez do sistema  $[S_s]$  (equação 3.3), e conhecido o vetor das forças concentradas  $\{A_s\}$ , representativo da ação do vento, os deslocamentos  $\{D_s\}$  no sistema podem ser determinados através da solução do sistema simétrico de equações 3.2:

$$\{A_s\} = [S_s] \{D_s\} \dots\dots\dots(3.2)$$

No programa desenvolvido neste trabalho, o sistema de equações (3.2), é resolvido pelo método de eliminação de GAUSS, que apresenta a vantagem de trabalhar apenas nos elementos da parte triangular superior de  $[S_s]$ , economizando tempo e memória no computador.

### 3.5 - DESLOCAMENTOS NOS PAINÉIS

Como já foi visto (equação 3.4), o vetor deslocamento  $\{D_H^p\}$  em um painel  $p$ , está relacionado com o vetor  $\{D_s\}$  por:

$$\{D_H^p\} = [T^p] \{D_s\}$$

Os elementos de  $\{D_H^p\}$  podem ser determinados, evitando-se o produto matricial (3.4), através de:

$$(d_H^p)_i = (d_s)_{i_s} \dots\dots\dots(3.15)$$

onde:

$$i = 1, 2, \dots, n_a$$

$$i_s = p + (i-1) n_p$$

### 3.6 - DESLOCAMENTOS NAS LAJES

Analogamente ao que foi feito para os painéis, os elementos do vetor  $\{D_H^\ell\}$  relativos a laje  $\ell$ , estão relacionados com os elementos de  $\{D_s\}$  pela expressão:

$$(d_H^\ell)_i = (d_s)_{i_s} \dots\dots\dots(3.16)$$

onde:

$$i = 1, 2 \dots n_p$$

$$i_s = (\ell - 1)n_p + i$$

### 3.7 - ESFORÇOS SOLICITANTES NOS PAINÉIS E LAJES

Como já foi visto para os painéis (item 2.2.5), conhecido  $\{D_H^P\}$  pode-se calcular  $\{D_\theta^P\}$  (equação 2.19), procedendo-se então a determinação dos esforços solicitantes nas barras do painel, como explica o item 2.2.6.

Para as lajes, a partir de  $\{D_H^L\}$  determina-se  $\{D_\theta^L\}$  (equação 2.36), e o procedimento estabelecido no item 2.3.6 pode ser seguido até se obter os esforços solicitantes em todas as barras da laje.

### 3.8 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA

Para o leitor interessado na elaboração de programa de cálculo que resolva os problemas tratados neste trabalho, é interessante ter idéia da configuração da matriz de rigidez  $[S_s]$  do sistema.

Com a finalidade de se visualizar as posições dos elementos não nulos, assim como observar os elementos da matriz  $[S_s]$  que recebem contribuição de cada subestrutura, imaginou-se a estrutura de edifício da figura 3.2, constituída de cinco painéis e quatro lajes ( $n_p=5$ ,  $n_a=4$ ). A figura mostra também a numeração dos deslocamentos do sistema.

O armazenamento da matriz  $[S_s]$  correspondente à estrutura da figura 3.2, está mostrada na figura 3.3.

A contribuição de cada laje se faz em todos e apenas os elementos de um quadrado, de ordem  $n_p \times n_p$ , situado sobre a diagonal principal. Os quadrados correspondentes às contribuições de cada laje, estão indicados na figura 3.3, por hachuras ascendentes (da esquerda para a direita).

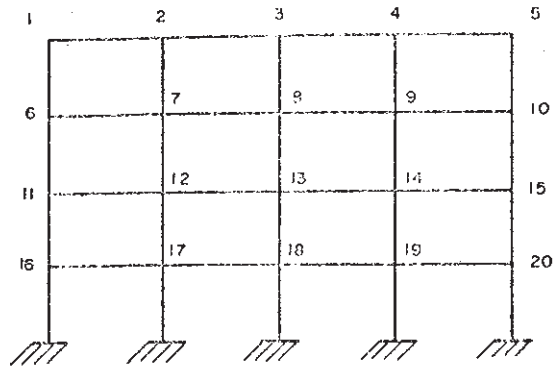


FIG. 3.2— Elevação de um edifício de cinco painéis e quatro lajes.

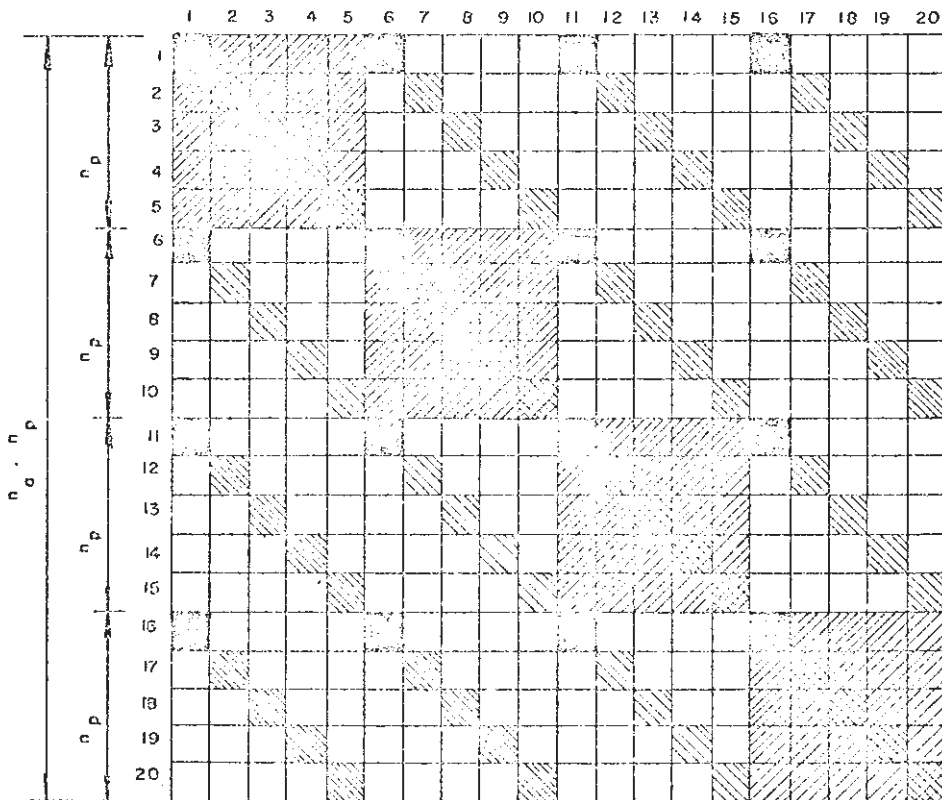


FIG. 3.3—Matriz de rigidez  $[S_3]$  de uma estrutura de 5 painéis e 4 lajes.

A contribuição de cada painel pode ser visualizada, lembrando que todos os elementos da matriz de rigidez reduzida do painel são levados para a matriz  $[S_s]$ , guardando esses elementos entre si as mesmas posições relativas, com as "distâncias" entre elementos vizinhos aumentadas de  $(n_p - 1)$  posições. Os elementos que recebem contribuição dos painéis estão representados na figura 3.3 por hachuras descendentes. O painel nº 1, contribue nos elementos onde se cruzam as linhas e colunas 1,6,11 e 16. Estes elementos estão salientados na fig. 3.3 por um contorno de traço forte. O painel nº 2 contribue nos elementos onde se cruzam as linhas e colunas nos 2, 7, 12 e 17, e assim por diante.

STAMATO e STAFFORD-SMITH<sup>7</sup> mostram que o deslocamento horizontal em um andar do painel, somente influe significativamente nos esforços horizontais dos andares vizinhos. Este fato pode ser aproveitado, levando a grande economia de memória e tempo de computação. Desprezando-se as influências entre andares mais distantes, a matriz de rigidez  $[S_s]$  resultará em banda diagonal, podendo-se então operar em sua meia banda superior, armazenada em uma matriz retangular. O método de eliminação de GAUSS, usado neste trabalho na solução do sistema de equações (3.2), é apropriado para o problema em questão, pois operará apenas nos elementos da meia banda superior de  $[S_s]$ .

Convém informar porém que, para não introduzir eventuais erros de aproximação que podem prejudicar a interpretação dos exemplos resolvidos no capítulo IV, aqueles exemplos foram resolvidos considerando-se a influência entre todos os andares do edifício, ou seja, sem adotar uma banda diagonal de largura menor.

### 3.9 - ESTRUTURAS DE EDIFÍCIO DE FORMA IRREGULAR

Ao se desenvolver o presente trabalho, procurou-se resolver o problema da ação do vento em estruturas de forma variável. Os trabalhos divulgados sobre o assunto apresentam soluções de exemplos de edifícios muito regulares, com painéis de tipos semelhantes, com mesma altura e lajes iguais. Acontece porém, que muitas vezes, as concepções arquitetônicas levam a estruturas de edifício que não são tão regulares, possuindo seções horizontais que variam com a altura. Em alguns casos, são usadas lajes de transição em certos andares, o que permite a retirada de alguns pilares, para se obter maior vão livre.

As estruturas que apresentam tais irregularidades, podem ser resolvidas sem problemas, pois como foi visto nos itens 2.2.5 e 2.3.5, o tratamento dado aos painéis e lajes, permite calcular suas matrizes de rigidez reduzidas, mesmo havendo ausência de algumas barras. Considere-se então a estrutura de edifício da figura 3.4. O programa de cálculo lida com a matriz  $[S_s]$  do sistema, supondo que em cada andar exista o mesmo número ( $n_p$ ) de deslocamentos. Em consequência deste fato, serão nulos na matriz  $[S_s]$  os elementos das linhas e colunas correspondentes aos deslocamentos dos nós fictícios (deslocamentos 1,5 e 10 na figura 3.4).

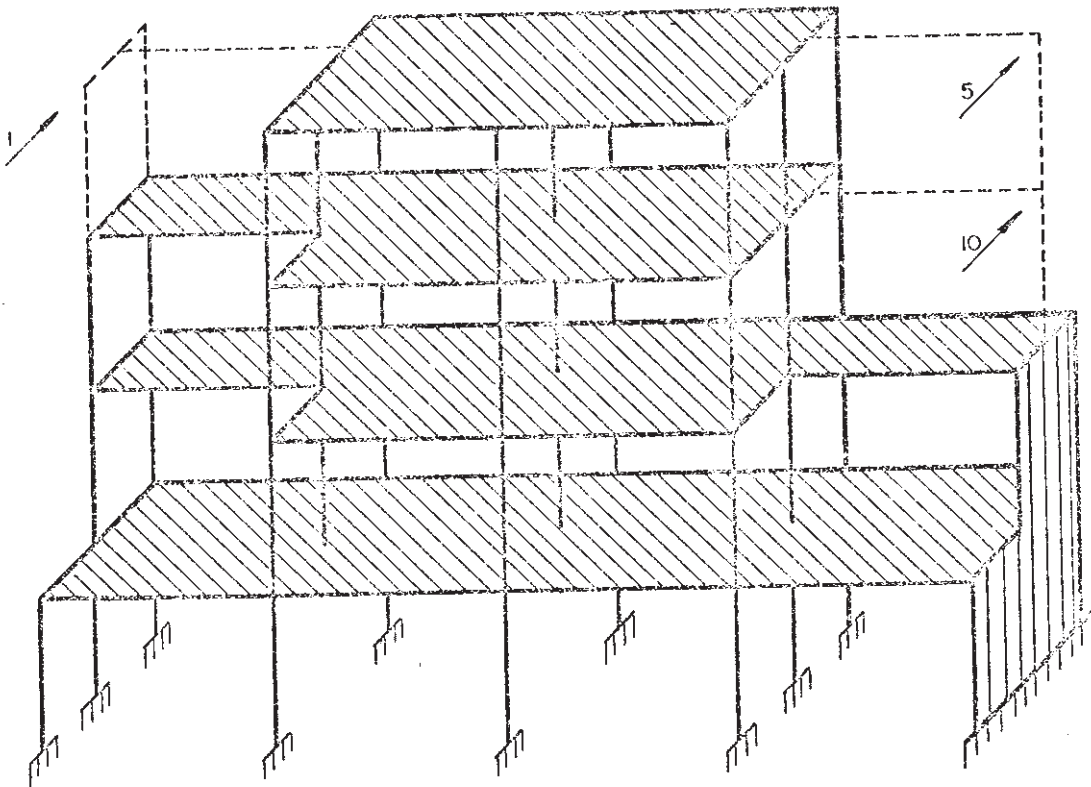


FIG. 3.4 — Edifício de forma irregular



Apesar desta matriz  $[S_s]$  ser singular, o sistema de equações (3.2) poderá ser resolvido pelo método de eliminação de GAUSS, devido também (vide item 2.2.5) as peculiaridades dos sistemas de computação. Na solução pelo método de GAUSS, o sistema de equações (3.2) é decomposto em dois outros:

$$[L] \{X\} = \{A_s\} \dots\dots\dots(3.17)$$

$$[U] \{D_s\} = \{X\} \dots\dots\dots(3.18)$$

onde  $[U]$  é triangular superior e  $[L]$  triangular inferior. Os elementos de  $[U]$  e  $[L]$  são calculados por:

$$u_{ij} = \delta_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} \left(\frac{1}{u_{kk}}\right) u_{ki} u_{kj} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$l_{ji} = \frac{1}{u_{ii}} u_{ij} \dots\dots\dots(3.20)$$

Se nas expressões (3.19) e (3.20), as divisões forem efetuadas antes das multiplicações, resultarão também valores nulos para os elementos de  $[U]$  e  $[L]$  que pertençam às linhas e colunas nulas de  $[S_s]$  (correspondentes aos deslocamentos números 1, 5 e 10 da figura 3.4). Este fato poderá ser melhor entendido, fazendo-se esquemas representativos das matrizes  $[S_s]$ ,  $[U]$  e  $[L]$ , onde sejam visualizadas as posições dos elementos nulos iniciais e os resultantes após a decomposição.

Se na solução dos sistemas (3.17) e (3.18), as divisões continuarem sendo efetuadas antes das outras operações, resultará que, devido as filas nulas de  $[U]$  e  $[L]$ , tudo se passa como se não existissem as equações correspondentes aos deslocamentos 1, 5 e 10 (figura 3.4). Os deslocamentos reais da estrutura serão então calculados como se o sistema de equações tivesse sido escrito somente para estes deslocamentos.

4.1

res  
ras  
dos  
bre

est  
cic  
res  
tar  
rea  
da  
su

ra  
gi  
rí  
ap  
ga

4.

10  
si

Os  
le  
me  
tã

os

## CAPÍTULO IV

### EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

#### 4.1 - INTRODUÇÃO

Baseado nas hipóteses descritas nos capítulos anteriores, foi elaborado um programa automático para o cálculo de estruturas constituídas de lajes deformáveis e painéis verticais, associados como grelha vertical sem rigidez à torção. Maiores detalhes sobre a programação automática são dados no capítulo V.

No presente capítulo, são apresentados dois exemplos de estruturas de edifício. A estrutura do primeiro exemplo é um edifício de 10 andares, obtido pela eliminação dos 10 pavimentos inferiores do edifício de vinte andares do segundo exemplo. Introduziu-se também no primeiro exemplo pequena variação no pé-direito dos andares inferiores. A estrutura do segundo exemplo é idêntica à resolvida por GOLDBERG<sup>2</sup>, e foi introduzida justamente para comparar os resultados aqui obtidos com os encontrados por aquele autor.

Nos dois exemplos, os resultados dos cálculos são comparados com os que seriam obtidos, caso a laje fosse infinitamente rígida no seu plano. Os resultados encontrados com a hipótese de laje rígida foram obtidos com um outro programa automático, que não é apresentado, por serem os programas com esta hipótese bastante divulgados.

#### 4.2 - PRIMEIRO EXEMPLO

A estrutura deste exemplo (figura 4.1), é um edifício de 10 andares. Os dados necessários para sua análise são expressos no sistema inglês de unidades.

Esta estrutura é constituída de dois tipos de painéis. Os painéis extremos são pilares-paredes, de 62 pés de largura e 6 polegadas de espessura. Os painéis internos, todos iguais, tem os momentos de inércia listados na tabela I (nesta tabela os andares estão numerados em ordem crescente a partir da base).

As lajes tem 4 polegadas de espessura. Tanto estas como os pilares-paredes são de concreto, com módulo de elasticidade longi

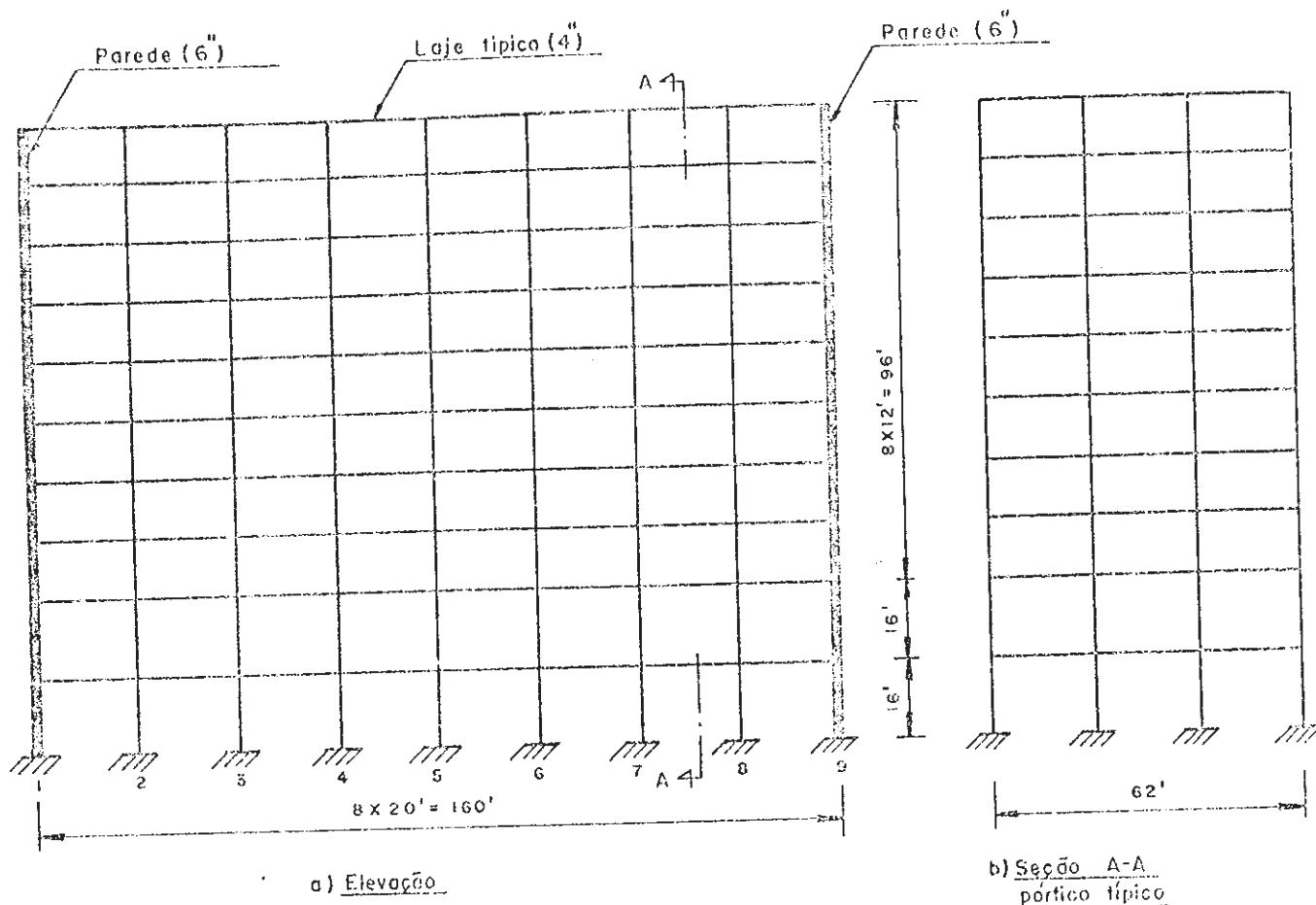


FIG. 4.1—Edifício de 10 andares — 1º exemplo

TABELA I

MOMENTOS DE INÉRCIA DAS BARRAS DOS PÔRTICOS

ANDAR	IZ(pol. <sup>4</sup> )		
	VIGAS	Colunas externas	Colunas internas
10º	2025	1891	1896
9º	2025	1891	1896
8º	2025	1891	1896
7º	2025	1891	1896
6º	2025	2055	2106
5º	2025	2055	2106
4º	2025	2634	2684
3º	2025	2634	2684
2º	2025	2707	2866
1º	2025	2707	2866

tudinal  $E=3 \times 10^6$  psi (libras por polegada ao quadrado), e módulo de elasticidade transversal  $G=1,36 \times 10^6$  psi. Os painéis tipo p $\ddot{o}$ rtico são de aço, com  $E=3 \times 10^7$  psi e  $G=1,15 \times 10^7$  psi.

Apenas para simplificar a análise, os painéis tipo p $\ddot{o}$ rtico no 1 $^{\circ}$  e 2 $^{\circ}$  exemplos, são substituídos pelo "p $\ddot{o}$ rtico equivalente" de duas prumadas de pilares<sup>6</sup>. No edifício da figura 4.1, são consideradas as deformações por flexão e cisalhamento nas lajes e pilares-paredes. As deformações por cisalhamento nas vigas e colunas dos painéis tipo p $\ddot{o}$ rtico são desprezadas.

A pressão do vento, suposta concentrada nos nós da estrutura, vale 3.600 libras nos nós internos (interseções painel-laje) dos 8 andares superiores. Na linha de contorno do edifício vale metade desse valor (1.800 libras) e nos vértices um quarto (900 libras).

Nos dois andares inferiores, onde o pé direito vale 16 pés, as cargas concentradas foram alteradas em função da área de influência vizinha do nó, resultando 4.200 libras (2.100 no contorno) para a 9a. laje e 4.800 libras (2.400 no contorno) para a 10a. laje.

A tabela II lista os deslocamentos horizontais e forças cortantes ao nível dos andares, nos painéis da estrutura. Como a estrutura é simétrica, apenas os resultados dos painéis de número 1 até 5 (este último contido no plano de simetria) são mostrados. A mesma tabela lista também os resultados obtidos supondo-se a hipótese de diafragma horizontal para as lajes. Para facilitar a interpretação, os resultados dados na tabela II estão traçados em gráficos nas figuras 4.2 até 4.5.

Na figura 4.2 a curva (1) mostra os deslocamentos horizontais dos pilares paredes simétricos (painéis 1 e 9). Da tabela II, vê-se que os deslocamentos dos pilares paredes são praticamente os mesmos nas duas hipóteses de cálculo (laje rígida e laje deformável). Os painéis 3 e 5 que teriam, com a hipótese de diafragma, os deslocamentos da curva (1), passam a ter, com laje deformável, os deslocamentos das curvas (3) e (5) respectivamente.

Com as lajes deformáveis, os painéis tipo p $\ddot{o}$ rtico tem deslocamentos maiores que na hipótese de laje rígida. Observe-se na figura 4.2 que os deslocamentos são tanto maiores quanto mais distantes forem os p $\ddot{o}$ rticos, dos pilares-paredes externos. Este resultado era de se esperar, pois quanto mais distante dos pilares-paredes, mais independente serão as deformações dos p $\ddot{o}$ rticos.

Note-se também que, com a introdução da hipótese de laje deformável, fica atenuado o conhecido efeito resultante da igualdade de deslocamentos imposta para elásticas dos painéis, quando a laje é rígida. A igualdade imposta entre as elásticas pode causar a inversão de sinal das forças horizontais nos níveis dos andares próximos ao topo e à base do edifício.

A hipótese de laje deformável introduz sensíveis alterações nos esforços cortantes dos painéis, como se vê nas figuras 4.3, 4.4 e 4.5, onde os gráficos com traço cheio correspondem à hipótese de lajes deformáveis, e os gráficos com traço interrompido à hipótese de lajes rígidas. Em qualquer das hipóteses, os pilares parede, devido a sua maior rigidez, recebem sempre um quinhão de esforço cortante maior que o recebido pelos pórticos. Nota-se, da figura 4.3, que quando as lajes podem deformar, o esforço cortante que aparece na base do pilar parede é um pouco menor, sendo a diferença transferida para os pórticos. Essa diferença, que é pequena percentualmente para os pilares paredes, causa porém uma variação muito grande do esforço cortante nas bases dos painéis tipo pórtico. Esse fato pode ser observado nas figuras 4.4 e 4.5, notando-se também que o efeito é mais acentuado nos pórticos mais distantes das paredes.

É interessante notar que, se as lajes fossem de rigidez nula no seu plano, o cálculo do esforço cortante nos painéis seria muito simples: nesse caso, todos os painéis trabalhariam independentemente, recebendo diretamente as forças horizontais concentradas nos seus nós. No programa de cálculo deste trabalho, no qual é considerada a deformação da laje, o resultado obtido é intermediário entre o da hipótese de lajes sem rigidez alguma e da hipótese de diafragmas horizontais. Os resultados se aproximam de um ou outro limite, dependendo dos valores atribuídos para a rigidez das lajes no programa.

TABELA II

EXEMPLO NÚMERO 1

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E FORÇAS CORTANTES

CASOS CONSIDERANDO LAJE DEFORNÁVEL E LAJE RÍGIDA

ANDAR	LAJE DEFORNÁVEL										LAJE RÍGIDA		
	DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS (pol.)					FORÇAS CORTANTES (kips.)					DESLOC. HORIZ.	FORÇAS CORTANTES	
	PAINEL NÚMERO					PAINEL NÚMERO					ESTRUTURA		
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2 até 5	
109	0.1115	0.1113	0.1113	0.1113	0.1113	-0.2000	2.9527	2.1157	1.1605	1.4422	0.1100	-6.4426	3.8979
99	0.1003	0.1027	0.1045	0.1056	0.1060	10.7741	3.1771	3.1060	3.0375	3.0101	0.0993	10.3984	3.1493
89	0.0889	0.0920	0.0944	0.0960	0.0966	24.1434	3.4100	3.3859	3.3747	3.3715	0.0861	24.1612	3.3825
79	0.0771	0.0804	0.0830	0.0847	0.0853	38.1971	3.4740	3.4876	3.4933	3.4948	0.0765	38.5207	3.3941
69	0.0651	0.0684	0.0710	0.0727	0.0733	52.2808	3.6191	3.5753	3.5519	3.5446	0.0647	52.1055	3.6279
59	0.0550	0.0564	0.0592	0.0609	0.0615	66.8606	3.4980	3.5279	3.5408	3.5441	0.0529	67.2631	3.4106
49	0.0412	0.0446	0.0474	0.0493	0.0499	81.5160	3.6003	3.4561	3.3620	3.3293	0.0411	80.5530	3.7272
39	0.0299	0.0338	0.0369	0.0390	0.0397	97.8709	3.1580	2.8923	2.7357	2.6841	0.0300	95.8694	3.4659
29	0.0194	0.0238	0.0272	0.0294	0.0302	116.5336	2.1334	2.3562	2.5005	2.5504	0.0197	118.3072	1.8551
19	0.0077	0.0105	0.0127	0.0141	0.0145	129.7245	3.2635	4.0656	4.5725	4.7455	0.0079	135.8420	2.3309

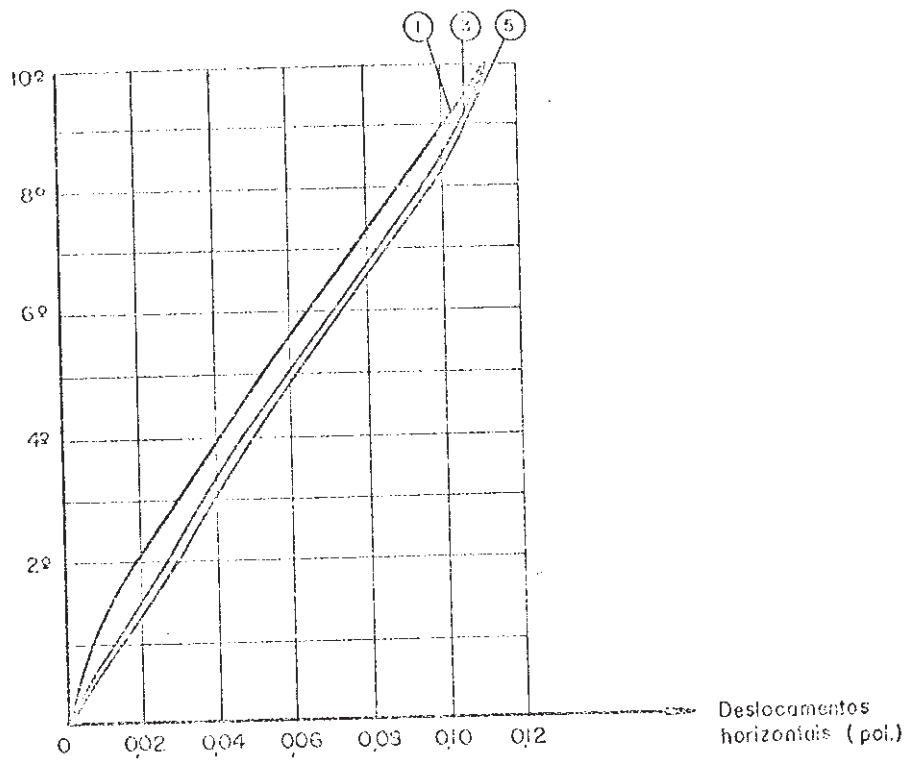


FIG. 4.2--Deslocamentos horizontais nos painéis 1, 3 e 5

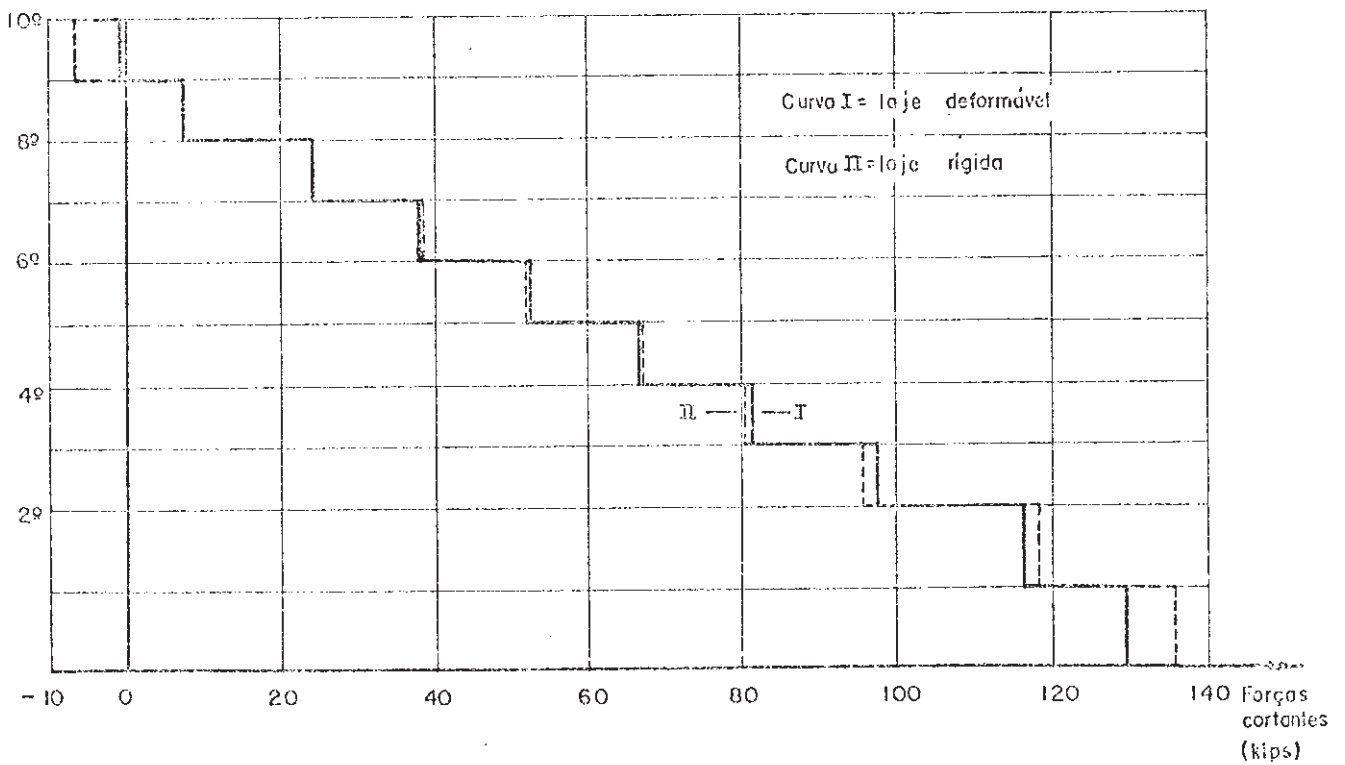


FIG. 4.3--Forças cortantes no painel nº 1 (pilar-parede)



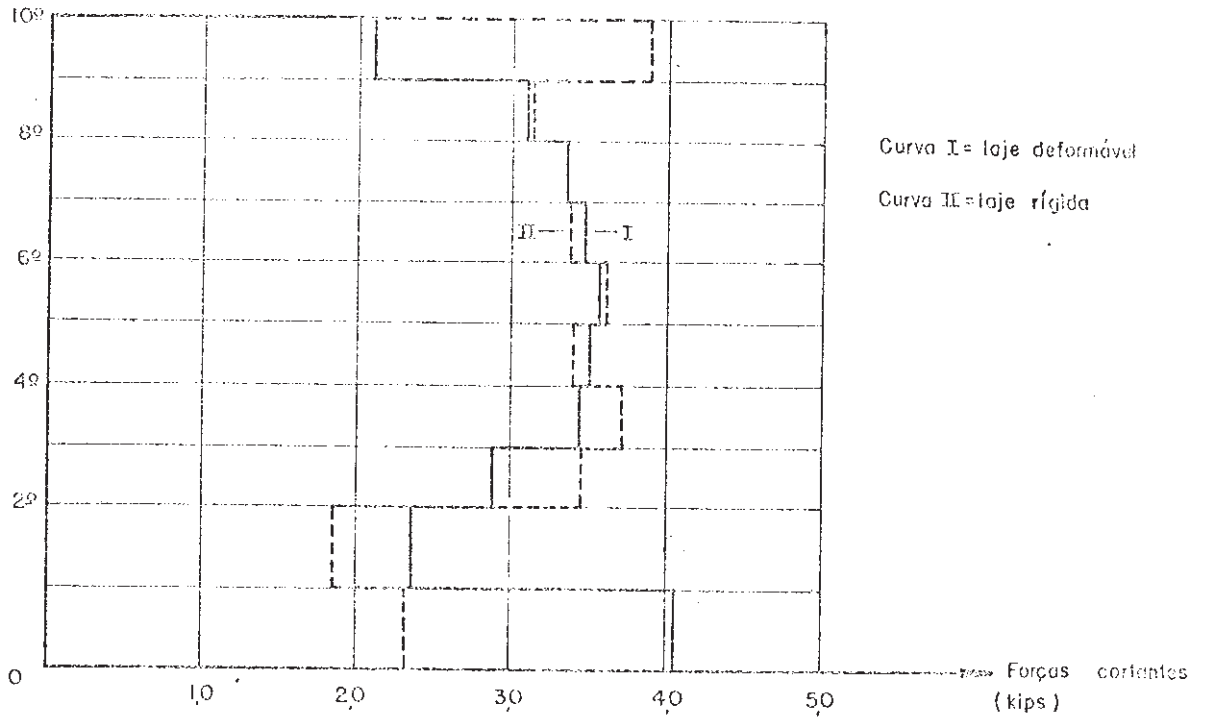


FIG.4.4--Forças cortantes no painel nº 3

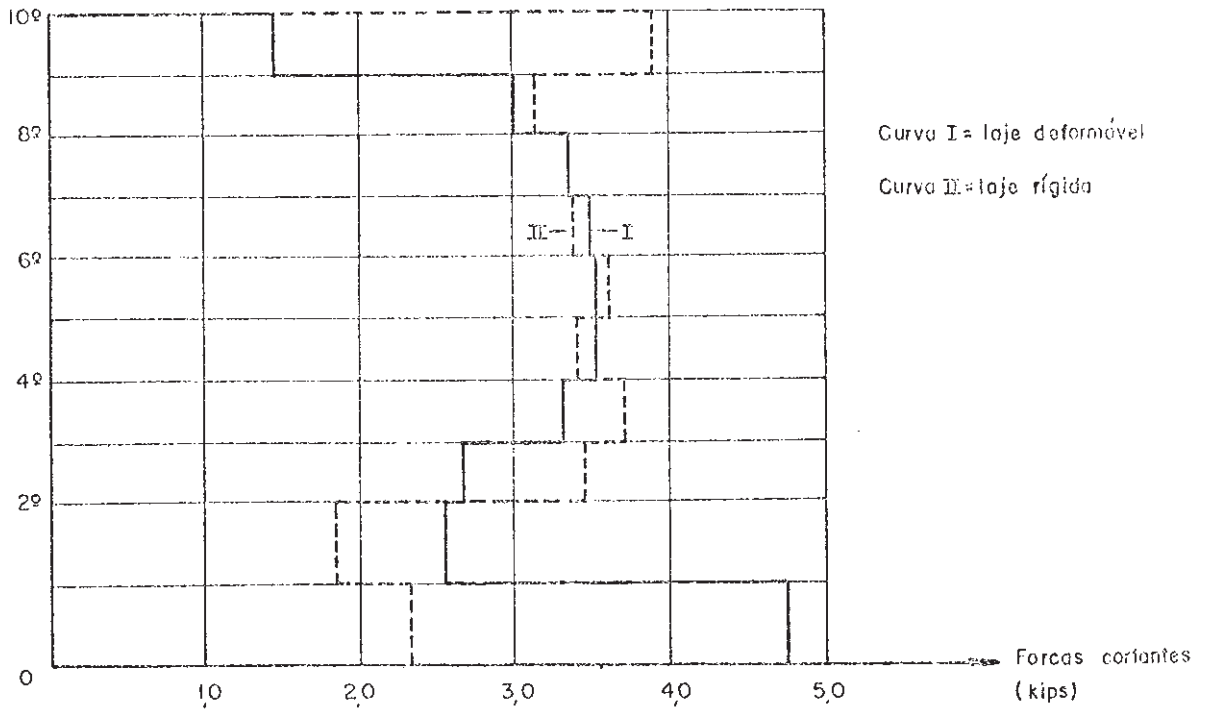


FIG.4.5--Forças cortantes no painel nº 5

#### 4.3 - SEGUNDO EXEMPLO

A estrutura deste exemplo (figura 4.6) é um edifício de vinte andares, também analisado por GOLDBERG<sup>2</sup>. Para facilitar a comparação entre os resultados obtidos por GOLDBERG e pelo autor, os dados necessários para a solução do edifício, foram conservados no sistema inglês de unidades.

Como já foi dito, esta estrutura, nos seus dez andares superiores, é semelhante a estrutura do primeiro exemplo. As lajes (4" de espessura) e os pilares paredes (6" de espessura) são de concreto ( $E = 3 \times 10^6$  psi e  $G = 1,36 \times 10^6$  psi). Os painéis tipo pórtico são de aço ( $E = 3 \times 10^7$  psi e  $G = 1,15 \times 10^7$  psi). Os momentos de inércia das barras dos pórticos são dados na tabela III.

Neste trabalho e também no de GOLDBERG, os painéis tipo pórtico foram substituídos pelo "pórtico equivalente" de apenas duas colunas<sup>6</sup>. As deformações por cisalhamento nas vigas e colunas dos pórticos são desprezadas.

A pressão do vento, suposta concentrada nos nós da estrutura, vale 3.600 lb. nos 14 andares superiores, exceto na linha de contorno. Nos demais andares e nos nós do contorno, as cargas concentradas foram alteradas convenientemente, em função da área de influência vizinha do nó. Os valores destas cargas concentradas são dados na tabela IV, onde os andares estão numerados, em ordem crescente, a partir da base do edifício.

As tabelas V e VI listam respectivamente os deslocamentos horizontais e as forças cortantes nos painéis números 1 (pilar-parede), 3 e 5, obtidos por GOLDBERG, pelo autor e pela análise considerando as lajes rígidas.

Os resultados da tabela V para o painel número 5 estão também apresentados na figura 4.7, onde a linha com traço cheio são os deslocamentos horizontais do painel número 5 na hipótese de laje deformável, e a linha com traço interrompido os deslocamentos do mesmo painel supondo a laje rígida.

Os resultados da tabela VI aparecem também nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10. A análise destas figuras levam a conclusões semelhantes às obtidas no exemplo anterior. Com a hipótese de lajes deformáveis fica atenuado o efeito de inversão das forças horizontais nos andares do topo e da base do edifício, atenuação esta que é ma

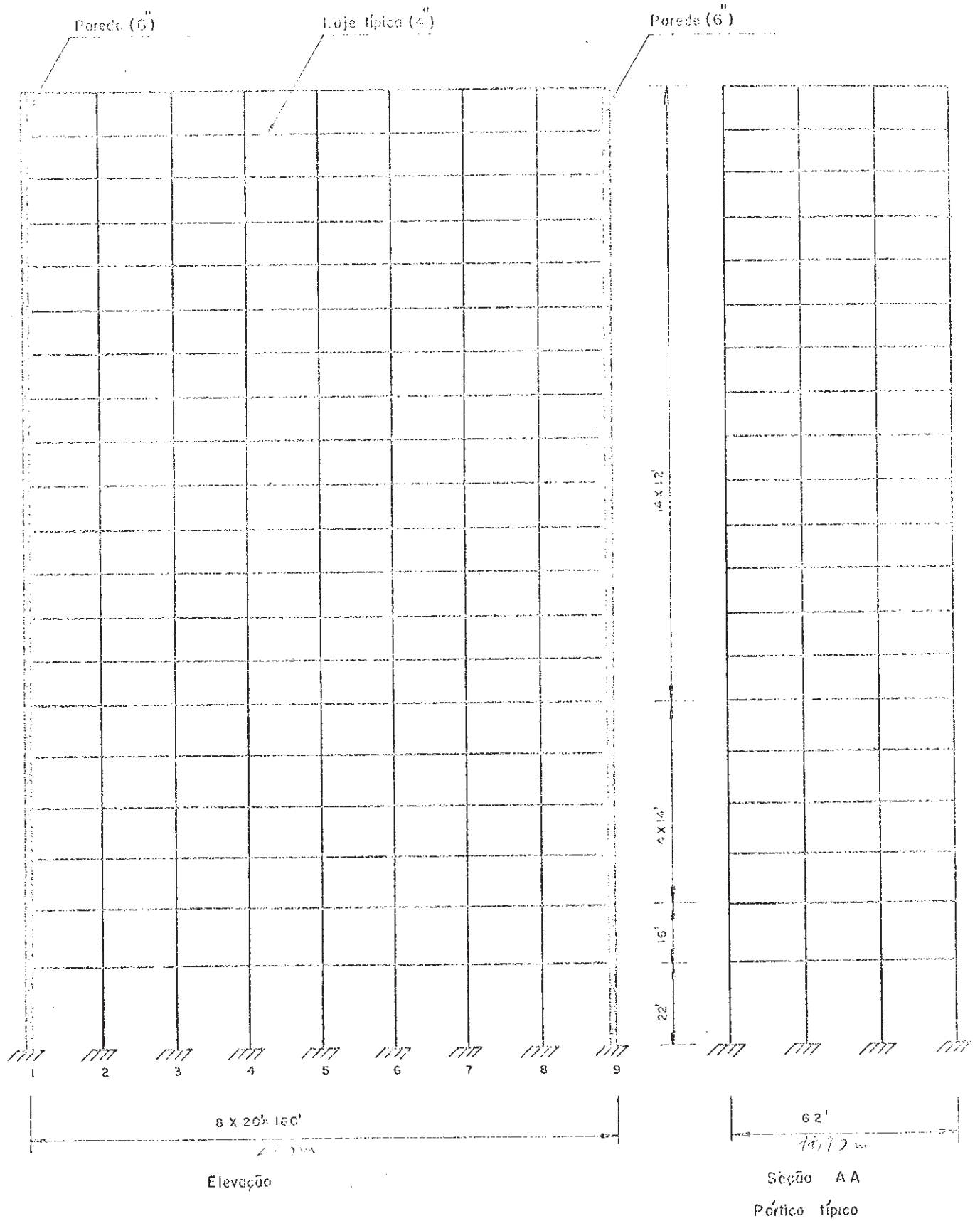


FIG. 4.6—Edifício de 20 andares 2º exemplo

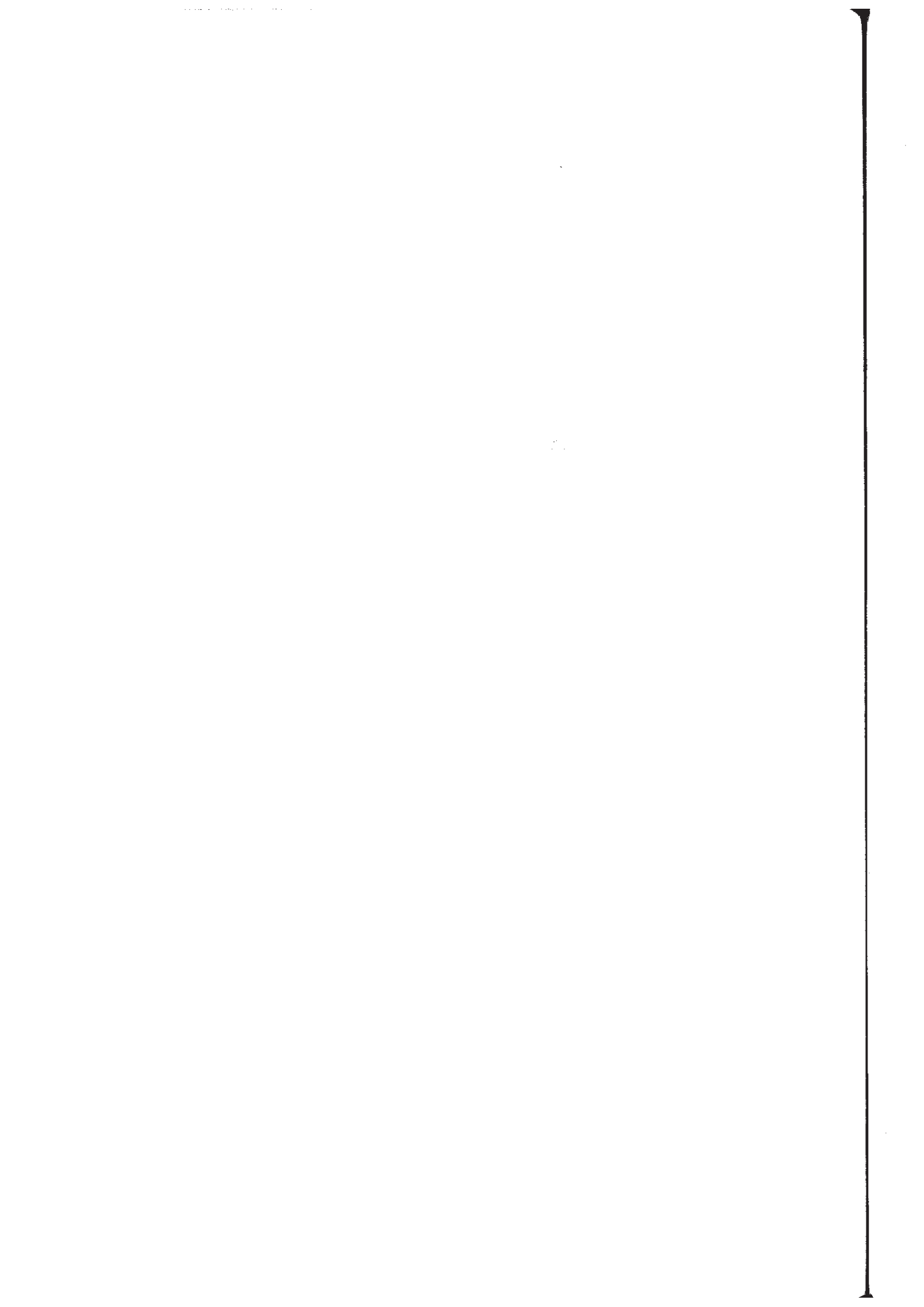


TABELA III

## MOMENTOS DE INÉRCIA DAS BARRAS DOS PÓRTICOS

ANDAR	IZ(pol. <sup>4</sup> )		
	VIGAS	Colunas externas	Colunas internas
20º	2025	1891	1896
19º	2025	1891	1896
18º	2025	1891	1896
17º	2025	1891	1896
16º	2025	2055	2106
15º	2025	2055	2106
14º	2025	2634	2684
13º	2025	2634	2684
12º	2025	2707	2866
11º	2025	2707	2866
10º	2025	3036	3758
9º	2025	3036	3758
8º	2025	4132	4325
7º	3387	4132	4325
6º	3717	4926	5106
5º	5161	4926	5106
4º	5321	5946	5946
3º	5641	5946	5946
2º	5862	6816	6816
1º	8058	6816	6816

TABELA IV

VALORES DA CARGA DO VENTO SUPOSTA CONCENTRADA  
NAS INTERSECÇÕES PAINEL-LAJE

FORÇAS HORIZONTAIS EM LIBRAS		
ANDAR	PAINEL	
	1 e 9	2 até 8
20º	900	1800
19º até 7º	1800	3600
6º	1950	3900
5º, 4º e 3º	2100	4200
2º	2250	4500
1º	2850	5700

ior para os p $\text{ó}$ rticos mais distantes das paredes.

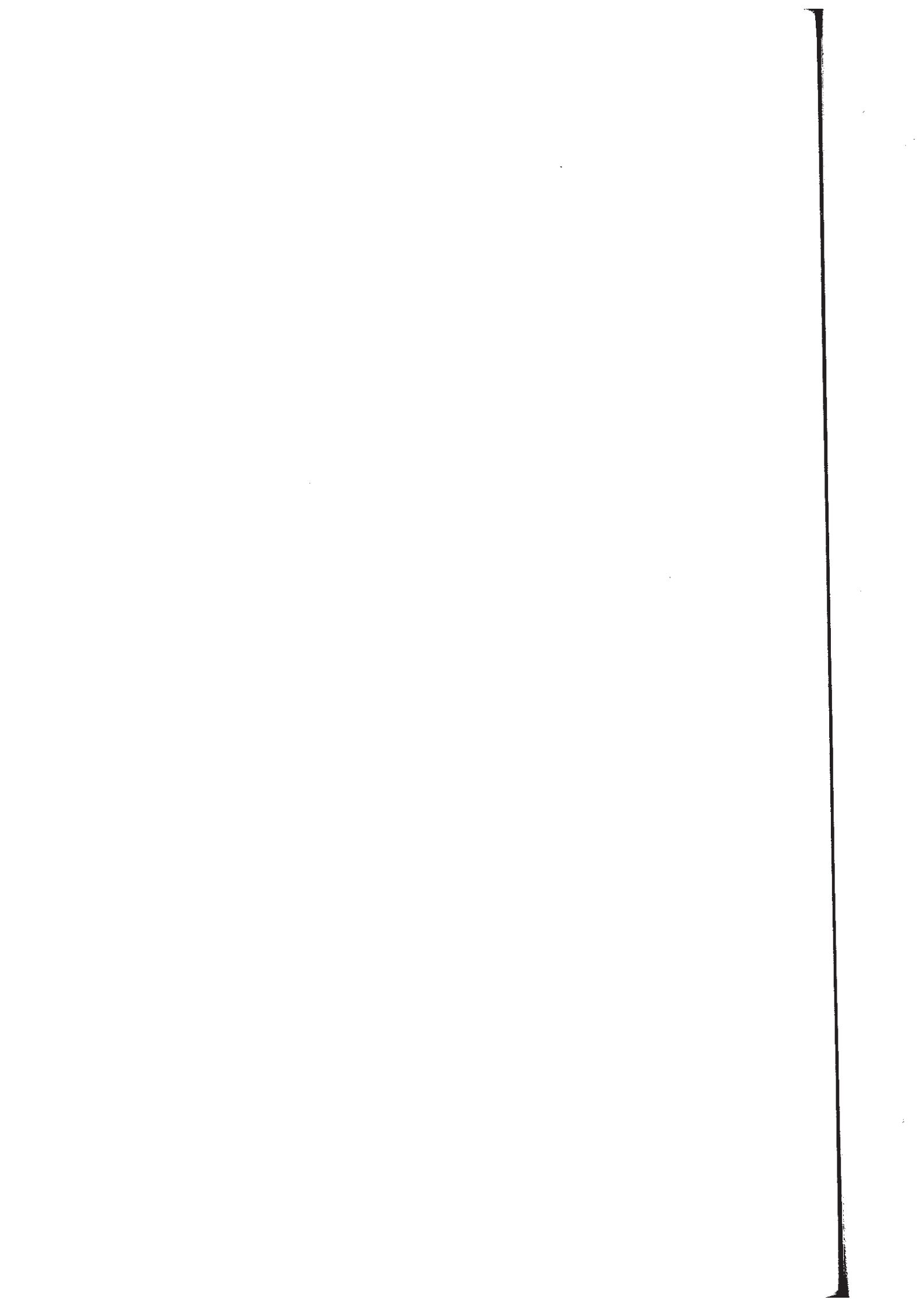
Observa-se ainda neste exemplo, nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10, que a diferen $\text{ç}$ a nos esfor $\text{ç}$ os cortantes encontrados pelas duas hip $\text{ó}$ teses de c $\text{á}$ lculo (lajes r $\text{i}$ gidas e lajes deform $\text{á}$ veis),  $\bar{e}$  mais acentuadas apenas nos andares imediatamente pr $\text{o}$ ximos ao topo e  $\bar{a}$  base do edif $\text{i}$ cio. Nos andares intermedi $\text{á}$ rios, os valores encontrados para os esfor $\text{ç}$ os cortantes, n $\text{ã}$ o diferem tanto, nas duas hip $\text{ó}$ teses.

TABELA V  
DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS (pol.)							
ANDAR	GOLDBERG			AUTOR			LAJE R $\text{I}$ GIDA
	PAINEL N $\text{Ú}$ MERO			PAINEL N $\text{Ú}$ MERO			TODOS OS PAIN $\text{É}$ IS
	1	3	5	1	3	5	
20 $\text{º}$	0.9865	0.9714	0.9689	0.9885	0.9734	0.9678	0.9719
19 $\text{º}$	0.9362	0.9368	0.9367	0.9382	0.9387	0.9387	0.9238
18 $\text{º}$	0.8857	0.8904	0.8922	0.8875	0.8923	0.8941	0.8746
17 $\text{º}$	0.8345	0.8400	0.8421	0.8363	0.8418	0.8439	0.8247
16 $\text{º}$	0.7896	0.7878	0.7898	0.7843	0.7895	0.7915	0.7739
15 $\text{º}$	0.7300	0.7354	0.7374	0.7316	0.7370	0.7390	0.7224
14 $\text{º}$	0.6767	0.6812	0.6831	0.6782	0.6828	0.6846	0.6700
13 $\text{º}$	0.6229	0.6284	0.6305	0.6243	0.6298	0.6319	0.6171
12 $\text{º}$	0.5686	0.5743	0.5765	0.5700	0.5756	0.5778	0.5637
11 $\text{º}$	0.5142	0.5199	0.5222	0.5154	0.5212	0.5234	0.5100
10 $\text{º}$	0.4598	0.4647	0.4667	0.4609	0.4659	0.4679	0.4562
9 $\text{º}$	0.4059	0.4103	0.4119	0.4069	0.4114	0.4130	0.4030
8 $\text{º}$	0.3530	0.3544	0.3551	0.3539	0.3555	0.3563	0.3504
7 $\text{º}$	0.3016	0.3038	0.3047	0.3024	0.3051	0.3061	0.2997
6 $\text{º}$	0.2524	0.2574	0.2593	0.2530	0.2581	0.2600	0.2511
5 $\text{º}$	0.1980	0.2048	0.2074	0.1984	0.2047	0.2072	0.1971
4 $\text{º}$	0.1477	0.1565	0.1599	0.1480	0.1566	0.1599	0.1475
3 $\text{º}$	0.1026	0.1143	0.1189	0.1028	0.1145	0.1190	0.1029
2 $\text{º}$	0.0635	0.0774	0.0827	0.0636	0.0775	0.0828	0.0643
1 $\text{º}$	0.0282	0.0416	0.0465	0.0281	0.0416	0.0466	0.0291

TABELA VI  
FORÇAS CORTANTES

FORÇAS CORTANTES (kips.)								
ANDAR	GOLDBERG			AUTOR			LAJE RÍCIDA	
	PAINEL NÚMERO			PAINEL NÚMERO			PAINÉIS TIPO PAREDE	PAINÉIS TIPO PÓRTICO
	1	3	5	1	3	5		
20º	-32.641	11.385	8.958	-32.695	11.401	8.971	-54.705	17.686
19º	-27.554	14.090	13.672	-27.622	14.111	13.892	-26.523	13.750
18º	-15.798	14.790	14.782	-15.873	14.812	14.805	-14.998	14.571
17º	-2.504	15.119	15.195	-2.585	15.143	15.219	-0.418	14.519
16º	9.889	15.680	15.608	9.803	15.705	15.633	9.969	15.666
15º	23.099	15.038	16.231	23.004	16.064	16.257	26.384	15.090
14º	33.933	17.037	16.815	33.827	17.065	16.843	32.379	17.492
13º	47.433	17.316	17.326	47.321	17.345	17.356	48.903	16.885
12º	60.905	17.560	17.509	60.785	17.591	17.540	60.865	17.582
11º	74.960	17.683	17.827	74.835	17.715	17.860	77.725	16.879
10º	86.810	18.362	18.307	86.699	18.389	18.332	85.663	18.726
9º	98.585	19.165	19.909	98.595	19.172	19.881	107.506	16.599
8º	102.408	22.157	21.917	102.817	22.028	21.708	100.019	22.853
7º	108.240	24.609	23.818	109.854	24.147	23.501	104.672	25.638
6º	121.269	25.377	25.126	122.881	24.912	24.790	123.721	24.652
5º	137.365	25.567	25.202	137.772	25.441	24.991	134.885	26.262
4º	157.310	24.658	23.911	157.343	24.647	23.866	151.241	26.389
3º	184.025	21.846	21.264	183.933	21.867	21.276	180.070	22.952
2º	215.392	17.962	17.643	215.277	17.990	17.869	213.070	18.666
1º	248.448	15.045	17.224	248.345	15.069	17.251	268.063	9.468





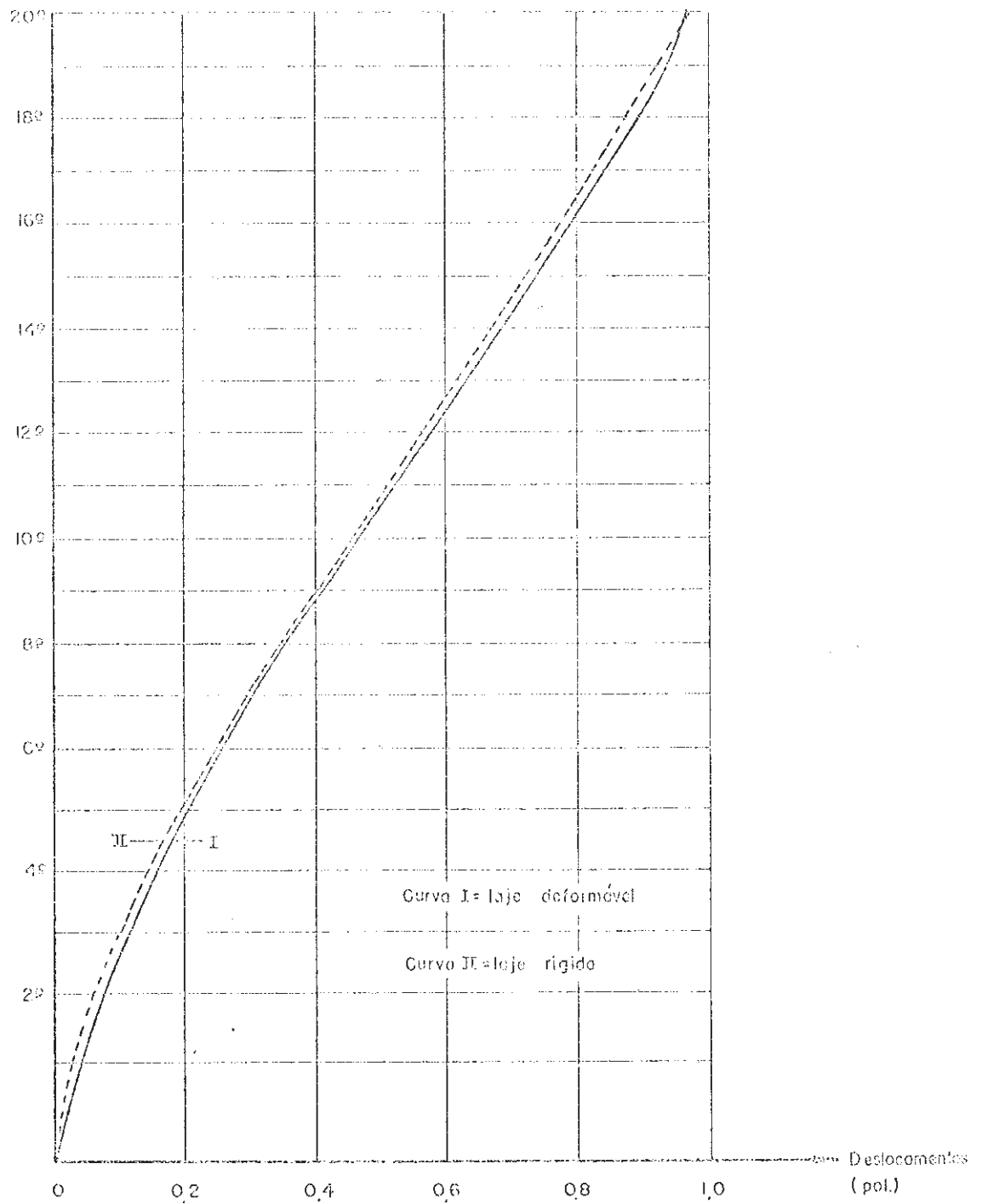


FIG. 4.7—Deslocamentos horizontais do painel numero 5

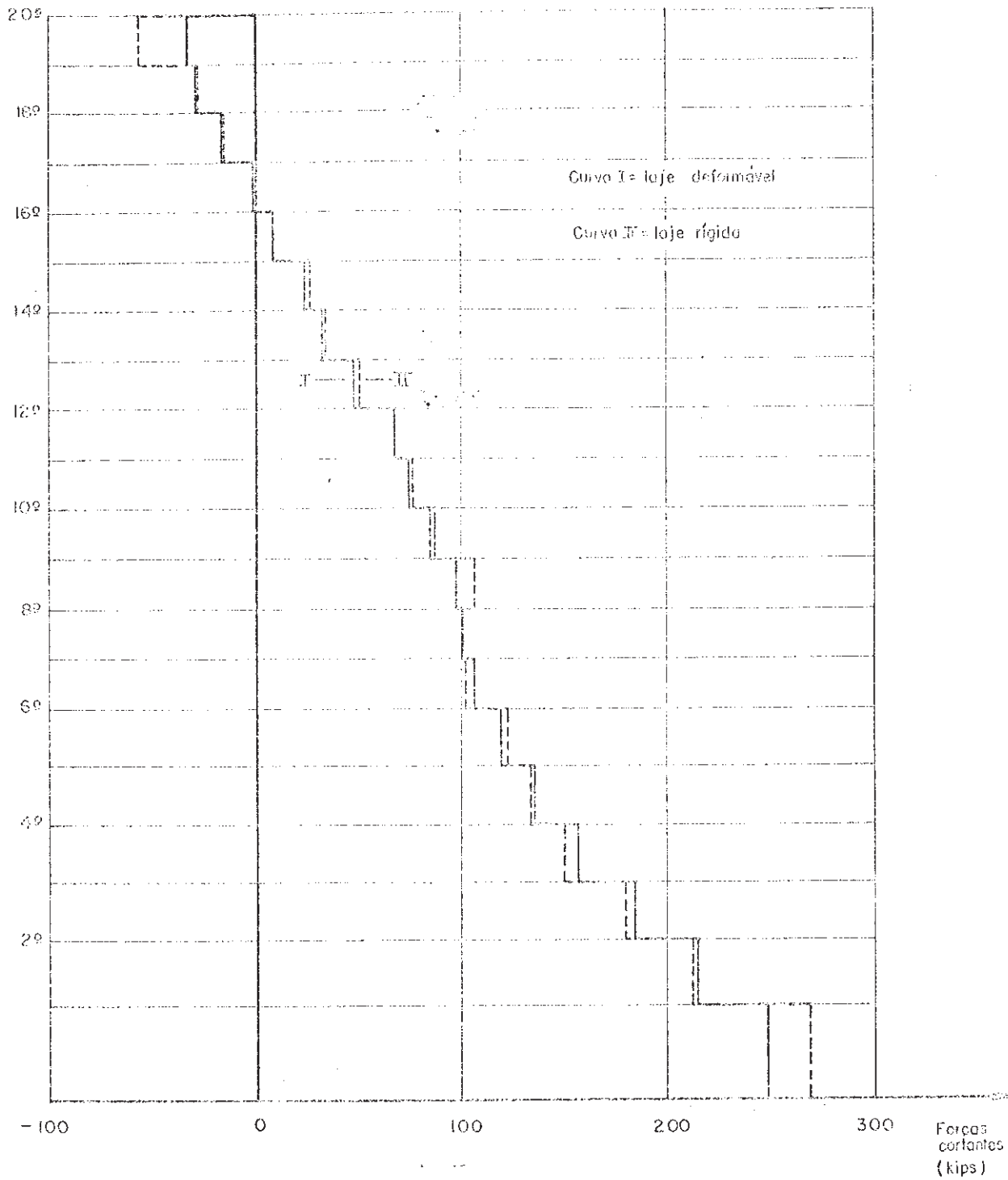


FIG. 4.8--Forças cortantes no painel nº 1 (paredes)

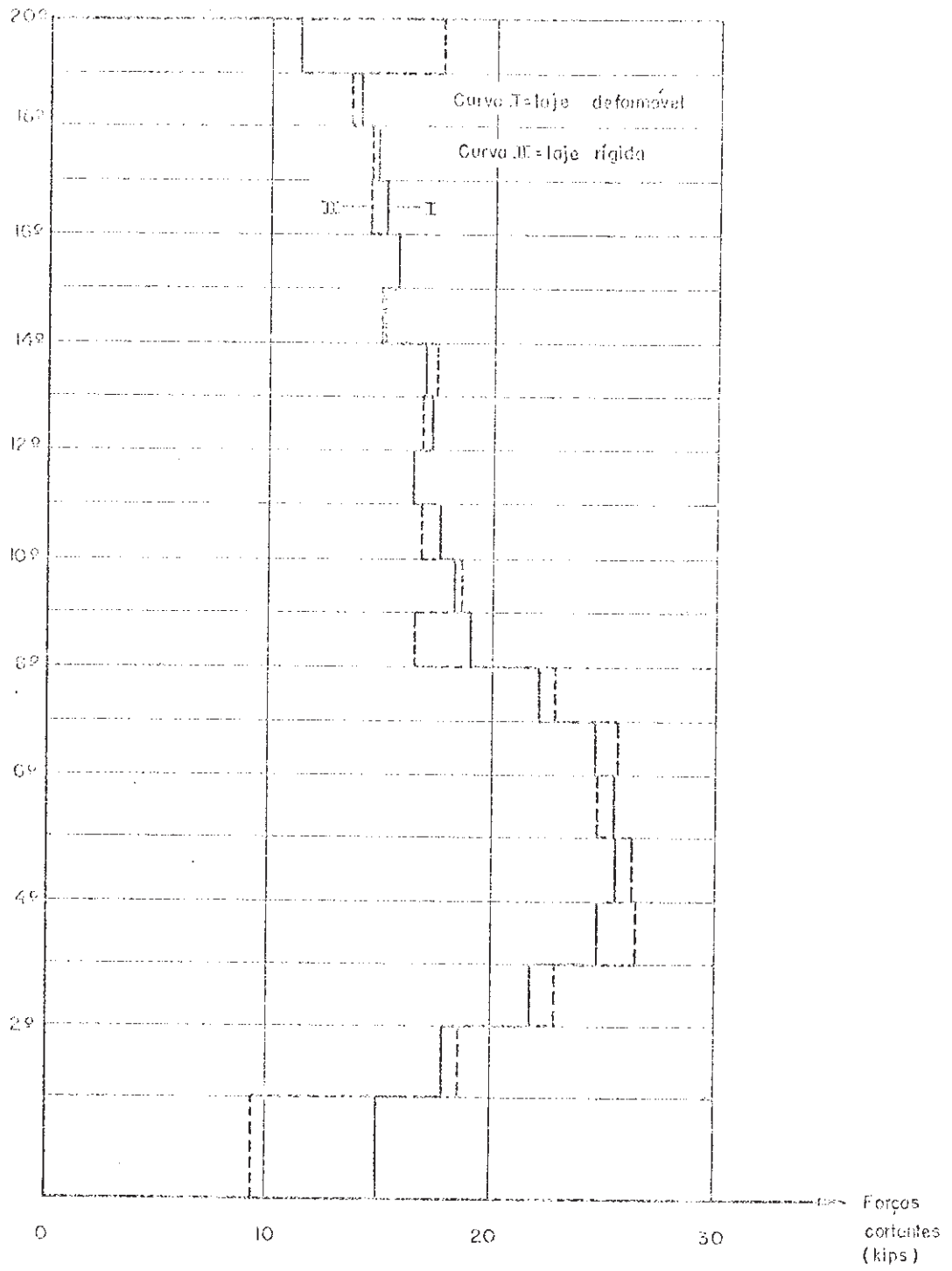


FIG. 4.9--Forças cortantes no painel nº 3

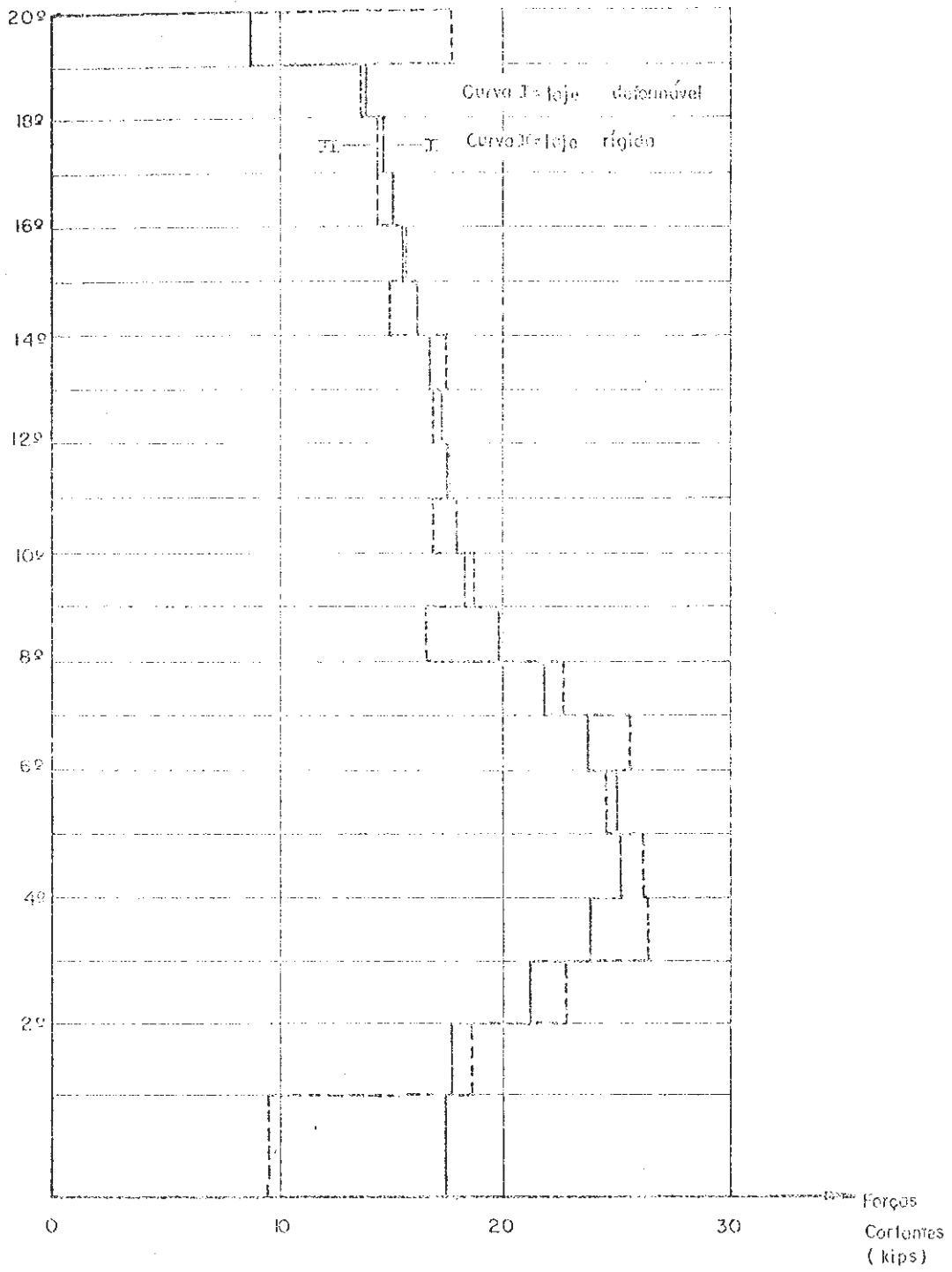


FIG. 4.10--Forças cortantes no painel nº 5

PROGRAMA PARA O CÁLCULO AUTOMÁTICO

5.1 - INTRODUÇÃO

Segundo os procedimentos descritos nos capítulos anteriores, foi descrito um programa automático, em linguagem FORTRAN, que foi processado no Computador PDP-10, da DIGITAL EQUIPMENTS CORPORATION, pertencente à Universidade Estadual de Campinas.

5.2 - ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA

O programa principal faz uso de nove sub-rotinas, além da sub-rotina INVCJ, que inverte matrizes quadradas pelo método de CAUSE-JORDAN. A seguir são dadas estas sub-rotinas:

- 1) IPANEL - Lê e imprime os dados que definem cada painel.
- 2) LLAJE - Lê e imprime os dados que definem cada laje.
- 3) RPANEL - Calcula a matriz de rigidez e a matriz de rigidez reduzida das subestruturas (painéis e lajes), armazenando as submatrizes e produtos matriciais conforme figura 2.4.
- 4) RSIST - Calcula a matriz de rigidez do sistema armazenando em um arranjo retangular.
- 5) DECOB - Decompõe a matriz de rigidez do sistema em uma matriz triangular superior  $[U]$ , conforme (3.19).
- 6) SOLVE - Resolve o sistema da expressão (3.2), determinando os deslocamentos na estrutura.
- 7) SAREP - Calcula e imprime os deslocamentos, forças horizontais e forças cortantes nos painéis.
- 8) SAREM - Calcula e imprime os resultados das barras dos painéis.
- 9) SAREL - Calcula e imprime os deslocamentos e forças horizontais nas lajes.

A figura 5.1 apresenta um diagrama de blocos simplificado, que nas convenções usuais mostra a ligação entre o programa principal e suas sub-rotinas.

PROGRAMA PRINCIPAL

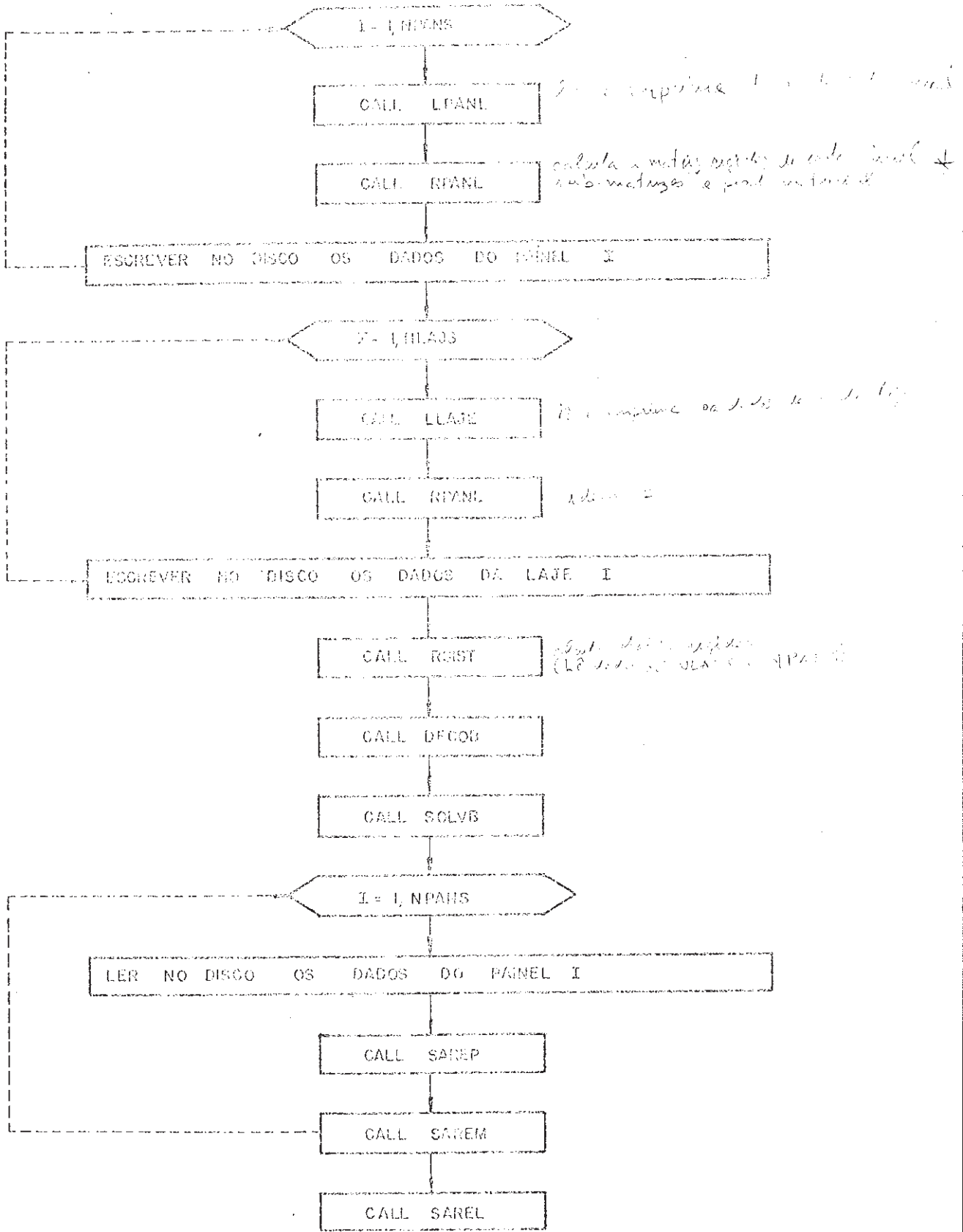


FIG. 5.1-- Diagrama de blocos do programa principal

### 5.3 - IDENTIFICADORES DE VARIÁVEIS

A Tabela VII lista os principais indicadores usados no programa principal e suas sub-rotinas.

TABELA VII

IDENTIFICADORES	DADOS
KPAIS	Número de painéis $Z$
NLAJS	Número de lajes (andares) $Z$
NPARL	Número do painel
NLAJE	Número da laje
TRP	Indicador de painel ou laje repetido
NJ	Número de nós da subestrutura (painel ou laje)
M	Número de barras da subestrutura
NC	Número de prumadas de colunas do painel
E	Módulo de elasticidade longitudinal
G	Módulo de elasticidade transversal
X( ), Y( )	Coordenadas dos nós da subestrutura
JJ( )	Extremidade início da barra
JK( )	Extremidade fim da barra
IZ( )	Momento de inércia da seção de barra
AX( )	Área da seção transversal da barra
L( )	Comprimento da barra
F( )	Fator de forma para consideração da cortante
SMB( , , )	Elementos da matriz de rigidez da barra
SP( , )	Elementos da matriz de rigidez da subestrutura
SS( , )	Elementos da matriz de rigidez do sistema
AS( )	Elementos do vetor ação no sistema
DS( )	Elementos do vetor deslocamento no sistema
DP( )	Elementos do vetor deslocamento na subestrutura
AP( )	Elementos do vetor ação na subestrutura
FQ( )	Elementos do vetor das forças cortantes nos painéis
DN( )	Elementos do vetor deslocamento nas barras
AM( )	Elementos do vetor ação nas barras
FN( )	Elementos do vetor das forças normais nas barras
NGL	Número de graus de liberdade da estrutura
LSB	Largura superior da banda da matriz $[S_g]$
LBSP	Largura superior da banda da matriz $[S_{HH}^{P*}]$

#### 5.4 - PREPARAÇÃO DOS DADOS EM CARTÕES

A tabela VIII mostra a forma e ordenação de como devem ser fornecidos os cartões de dados para o programa. Na última coluna desta tabela, as expressões entre parentesis, são dados alfanuméricos que o programa lê nos cartões e imprime na impressora. Para facilitar a preparação dos dados de uma estrutura, quando se tem os dados impressos de uma estrutura anteriormente analisada, o programa de cálculo foi elaborado de maneira a imprimir os dados na impressora, em posições de coluna idênticas a dos dados escritos nos cartões.

Com a finalidade de mostrar a elaboração dos dados de uma estrutura qualquer, inclusive com forma irregular, foi imaginada a estrutura com quatro painéis e duas lajes da figura 5.2.

A estrutura da figura 5.2 é de concreto armado ( $f_c=200t/cm^2$  e  $f_s=86t/cm^2$ ). Todas as barras dos painéis 1, 2 e 3 tem seção  $20 \times 30$   $cm^2$ , com a maior dimensão pertencendo ao plano onde se dá a flexão. O pilar-parede (painel nº 4) assim como as lajes têm 15 cm de espessura.

A tabela IX apresenta os dados desta estrutura como seriam listados na impressora (e conseqüentemente como fora fornecidos ao computador).

Os números que aparecem na tabela IX mais a esquerda, são os números de cada cartão de dado, numerados apenas na tabela, e não nos próprios cartões. Para os dados que são números inteiros, é reservado um campo de 5 colunas; para os números reais na forma decimal e exponencial, é reservado um campo de 10 e 15 colunas respectivamente, exceto para os dados relativos à carga, para os quais foi reservado um campo de 6 colunas.

Quando um painel (ou laje) apresenta idênticas características de um já processado, apenas um cartão deve ser fornecido logo após os dados do que lhe é idêntico. Por exemplo, considere-se o cartão nº 3 que é o primeiro cartão de dados do painel número 1. O valor  $IRP=0$  na 50a. coluna deste cartão, indica que o painel nº 1 (aparece na 40a. coluna) é um ainda não repetido, o que conduz o programa a leitura dos dados relativos a este painel. {Caso  $IRP=1$ , como ocorre no cartão nº 50, o programa não lê mais nenhum cartão correspondente a este painel (nº 3), apenas gravando os mesmos valores do

continua no 2



TABELA VIII

DADOS		Nº DE CARTÕES	VALORES NUMÉRICOS E ALFANUMÉRICOS EM CADA CARTÃO	
A	a) nº de painéis	1	(NUMERO DE PAINÉIS)	NPANS
	b) nº de lajes	1	(NUMERO DE LAJES)	NLAJS
B	a) nº do painel e índice de repetição	1	(PAINEL NUMERO)	NPANL, IRP
	b) nº de pilares	1	(NUMERO DE PILARES)	NP
	c) módulo de elasticidade	1	(MODULO DE ELASTICIDADE)	E
	d) módulo de elasticidade transversal	1	(MODULO DE ELASTICIDADE TRANSVERSAL)	G
	e) cabeçalho	1	(COORDENADAS DOS NÓS)	
	f) subcabeçalho	1	(NO X Y)	
	g) coordenadas dos nós	NP	K, X(K), Y(K)	
	h) cabeçalho	1	(CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS BARRAS)	
	i) subcabeçalho	1	(BARRA JJ JK IZ AX F)	
	j) características e propriedades das barras	M	K, JJ(K), JK(K), IZ(K), AX(K), F(K)	
C	a) nº do painel e índice de repetição	1	(PAINEL NUMERO)	NPANL, IRP
D	a) nº da laje e índice de repetição	1	(LAJE NUMERO)	NLAJE, IRP
	b) módulo de elasticidade	1	(MODULO DE ELASTICIDADE)	E
	c) módulo de elasticidade transversal	1	(MODULO DE ELASTICIDADE TRANSVERSAL)	G
	d) cabeçalho	1	(CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS BARRAS)	
	e) subcabeçalho	1	(NO X Y)	
	f) coordenadas dos nós	NPANS	K, X(K), Y(K)	
	g) cabeçalho	1	(CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS BARRAS)	
	h) subcabeçalho	1	(BARRA JJ JK IZ AX F)	
	i) características e propriedades das barras	NPANS-1	K, JJ(K), JK(K), IZ(K), AX(K), F(K)	
	E	a) nº da laje e índice de repetição	1	(LAJE NUMERO)
F	a) cabeçalho	1	(VETOR DE CARGAS NO SISTEMA)	
	b) valores dos elementos do vetor de cargas	NLAJS	AS(1), AS(2), ..., AS(NPANS)	

A- Dados relativos ao sistema

B- Dados relativos a um painel ainda não repetido

C- Dados relativos a um painel repetido

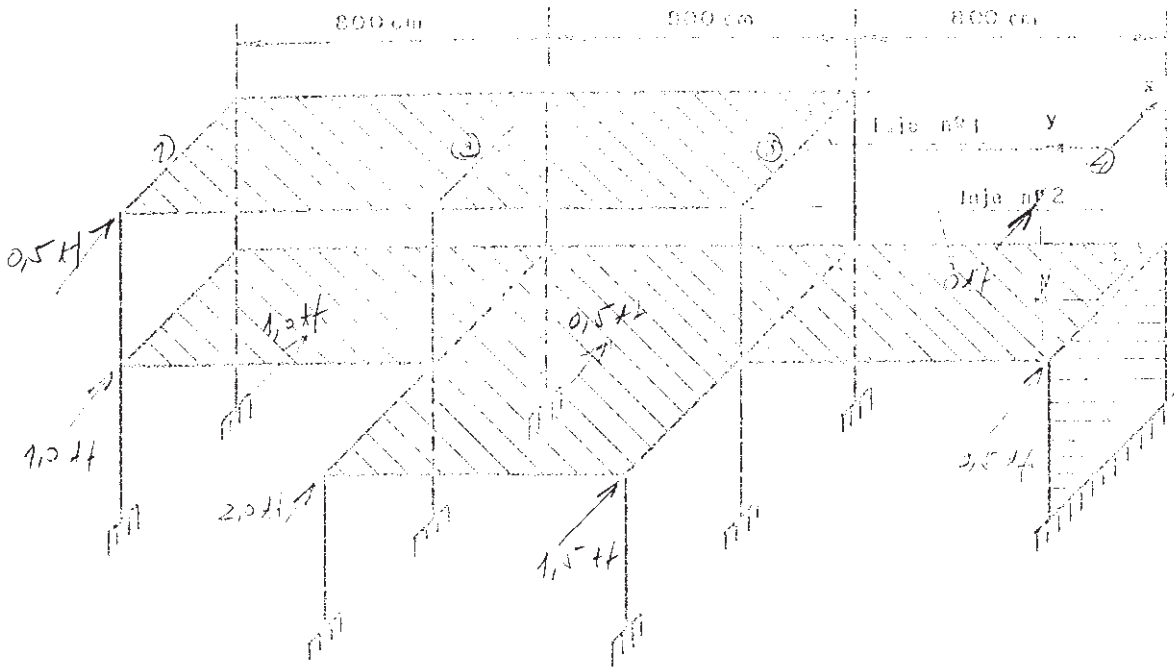
D- Dados relativos a uma laje ainda não repetida

E- Dados relativos a uma laje repetida

F- Dados relativos ao carregamento

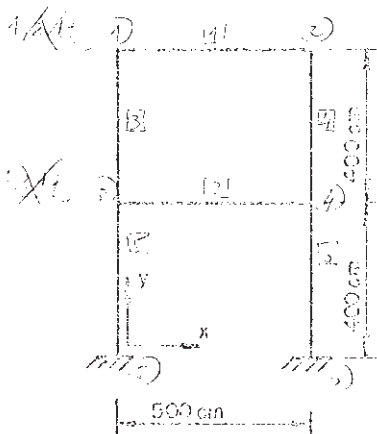
$q = 0,2,5 \text{ kcm/m}^2$

$P_i = 52,5 \times A_{unif}$

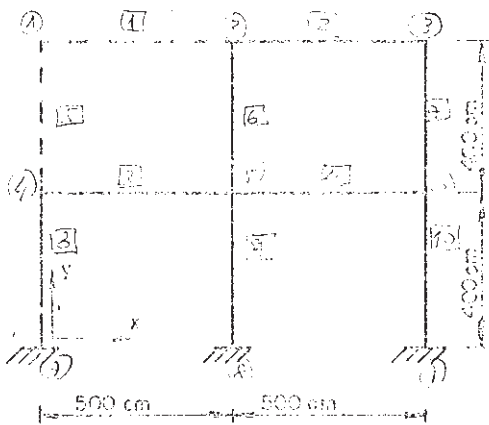


a) Estrutura

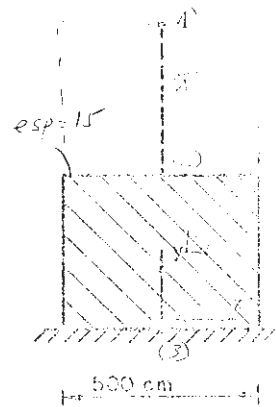
SEÇÃO 1000 x 300  
 esp. = 15 cm



b) Painel nº 1



c) Painéis nº 2 e 3



d) Painel nº 4

FIG. 3.2 — Estrutura para exemplo de entrada de dados no programa.

TABELA IX

COLUNA DO CARTÃO	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	
DADOS RELATIVOS AO SISTEMA	01	NUMERO DE PAINELIS								4					
	02	NUMERO DE LAJES								2					
	03	PAINEL NUMERO								1		0	TRP		
	04	NUMERO DE PILARES								2					
	05	MODULO DE ELASTICIDADE										0.200E+03			
	06	MODULO DE ELASTICIDADE TRANSVERSAL										0.860E+02			
	07	COORDENADAS DOS NOS													
	08	NO	X	Y											
	09	1	0.00	800.00											
	10	2	500.00	800.00											
DADOS RELATIVOS AO PAINEL AINDA NÃO REPETIDO	11	3	0.00	400.00											
	12	4	500.00	400.00											
	13	5	0.00	0.00											
	14	6	500.00	0.00											
	15	CARACTERISTICAS E PROPRIEDADES DAS BARRAS													
	16	BARRA	JJ	JK	IZ	AX	F								
	17	1	1	2	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	18	2	3	4	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	19	3	1	3	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	20	4	2	4	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	21	5	3	5	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	22	6	4	6	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	23	PAINEL NUMERO								2		0	TRP		
	24	NUMERO DE PILARES								3					
	25	MODULO DE ELASTICIDADE										0.200E+03			
	26	MODULO DE ELASTICIDADE TRANSVERSAL										0.860E+02			
	27	COORDENADAS DOS NOS													
	28	NO	X	Y											
	29	1	0.00	800.00											
	30	2	500.00	800.00											
	31	3	1000.00	800.00											
	32	4	0.00	400.00											
	33	5	500.00	400.00											
	34	6	1000.00	400.00											
DADOS RELATIVOS AO PAINEL AINDA NÃO REPETIDO	35	7	0.00	0.00											
	36	8	500.00	0.00											
	37	9	1000.00	0.00											
	38	CARACTERISTICAS E PROPRIEDADES DAS BARRAS													
	39	BARRA	JJ	JK	IZ	AX	F								
	40	1	1	2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00								
	41	2	2	3	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	42	3	4	5	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	43	4	5	6	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	44	5	1	4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00								
	45	6	2	5	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	46	7	3	6	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	47	8	4	7	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	48	9	5	8	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								
	49	10	6	9	0.45000E+05	0.60000E+03	0.12000E+01								



TABELA X  
SAIDA DOS RESULTADOS

PAINEL NUMERO 1				
DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS		ACOES HORIZONTAIS		FORÇAS CORTANTES
1.8416		0.6424		0.6424
1.0755		1.5902		2.2326
ESFORÇOS SOLICITANTES NOS MEMBROS DO PAINEL				
MEMBRO	M1	M2	Q	N
1	-0.9059E+02	-0.9059E+02	-0.3623	-0.3212
2	-0.2158E+03	-0.2158E+03	-0.8630	-0.7951
3	0.9059E+02	0.3790E+02	0.3212	0.3623
4	0.9059E+02	0.3790E+02	0.3212	-0.3623
5	0.1779E+03	0.2687E+03	1.1163	1.2254
6	0.1779E+03	0.2687E+03	1.1163	-1.2254
PAINEL NUMERO 2				
DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS		ACOES HORIZONTAIS		FORÇAS CORTANTES
1.3410		0.7151		0.7151
0.7229		1.6330		2.3481
ESFORÇOS SOLICITANTES NOS MEMBROS DO PAINEL				
MEMBRO	M1	M2	Q	N
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000	-0.7151
2	-0.8587E+02	-0.7859E+02	-0.3289	-0.2957
3	-0.1258E+03	-0.1141E+03	-0.4789	-0.8592
4	-0.1228E+03	-0.1435E+03	-0.5327	-0.3960
5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000	0.0000
6	0.8587E+02	0.8191E+02	0.4195	0.3289
7	0.7859E+02	0.3967E+02	0.2957	-0.3289
8	0.1258E+03	0.1837E+03	0.7738	0.4798
9	0.1550E+03	0.1981E+03	0.8826	0.3818
10	0.1038E+03	0.1728E+03	0.6917	-0.8616
PAINEL NUMERO 3				
DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS		ACOES HORIZONTAIS		FORÇAS CORTANTES
0.8382		0.6424		0.6424
0.3657		0.4634		1.1059
ESFORÇOS SOLICITANTES NOS MEMBROS DO PAINEL				
MEMBRO	M1	M2	Q	N
1	0.0000E+00	-0.0000E+00	0.0000	-0.6224
2	-0.6940E+02	-0.6524E+02	-0.2693	-0.2859
3	-0.6597E+02	-0.6516E+02	-0.2623	-0.0634
4	-0.7602E+02	-0.8784E+02	-0.3277	-0.0125
5	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000	0.0000
6	0.6940E+02	0.7324E+02	0.3566	0.2693
7	0.6524E+02	0.4910E+02	0.2859	-0.2693
8	0.6597E+02	0.9406E+02	0.4001	0.2623
9	0.6795E+02	0.9504E+02	0.4075	0.3347
10	0.3874E+02	0.8061E+02	0.2984	-0.5970
PAINEL NUMERO 4				
DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS		ACOES HORIZONTAIS		FORÇAS CORTANTES
0.0000		0.0000		0.0000
0.0019		1.3134		1.3134
ESFORÇOS SOLICITANTES NOS MEMBROS DO PAINEL				
MEMBRO	M1	M2	Q	N
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000	0.0000
2	-0.3815E-05	0.5253E+03	1.3134	0.0000
LAJE NUMERO 1				
DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS			FORÇAS HORIZONTAIS	
0.1842E+01			-0.1424	
0.1341E+01			0.2849	
0.8382E+00			-0.1424	
0.0000E+00			0.0000	
LAJE NUMERO 2				
DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS			FORÇAS HORIZONTAIS	
0.1075E+01			-0.5902	
0.7229E+00			0.3670	
0.3657E+00			1.0366	
0.1874E-02			-0.8134	

painel anterior (nº 2) como dados e matrizes deste painel.

Os nós e as barras de cada subestrutura, podem ser for necidos em qualquer ordem para o programa, não havendo necessidade de serem ordenados como aparecem na tabela IX, convém ressaltar que o programa supõe que os nós de cada painel ou laje são numerados co mo foram determinados nos itens 2.2.1 (figura 2.1) e 2.3.1 (figura 2.10) respectivamente. Baseado naquela convenção, o programa ado tará, para cada painel, os  $n_p$  nós de numeração mais elevada como en gastamento perfeitos. Se, para alguma barra for dado número do nó início maior que o número do nó fim, o programa faz automaticamente a correção. Também para as barras, o programa supõe que foram nume radas conforme o item 2.2.6.2. (figura 2.9). Caso não se deseje considerar o efeito da cortante em uma barra qualquer, basta ado tar  $F=0$  para esta barra.

Finalmente, convém observar que nas tabelas VIII e IX, alguns cartões contêm apenas dados alfanuméricos (cartões 7,8,15,16, 27,28,38,39,55,56,60,61,67,68,73,74,81,82,87,88 e 92) e que a la.co luna de todos os cartões é deixada em branco, por ser esta coluna adotada para controle da impressora.

#### 5.5 - SAIDA DOS RESULTADOS DOS CÁLCULOS

A Tabela X apresenta os resultados dos cálculos obti dos no computador para a estrutura da figura 5.2. Convém observar nes ta tabela que os esforços solicitantes das barras fictícias resul tam nulos, exceto a força normal das vigas a barlavento, cuja for ça normal é igual ao quinhão da carga que o painel recebe no andar.

#### 5.6 - PROGRAMA DE CÁLCULO EM LINGUAGEM FORTRAN

A listagem do programa principal e suas sub-rotinas é é dado nas páginas seguintes. Para facilitar o entendimento do pro grama, algumas explanações resumidas são dadas a seguir.

```

REAL IZ(60),L(50)
COMMON XNOME(20),NOME(20),NLAJS,NPANS,NPANL,NLAJE,IRP,NJ,M,NC,E,G,
INGL,LSB,X(42),Y(42),JJ(60),JK(50),IZ,L,AX(60),F(60),SMD(60,3,4),SP
2(60,60),SS(180,172),AS(180),DS(180),DP(180),AP(180),DM(4),AM(50,3)
3,FN(60),FO(20)
CALL DEFINE FILE (1,5000,IS,0,0,0)
NWRIT=5
NREAD=2
C1.=====IMPRESSAO DO CABECALHO E LEITURA DO NUMERO DE PAINES
E DO NUMERO DE LAJES
01      WRITE(NWRIT,1)
02      1 FORMAT('1',20X'CONTRIBUICAO AO ESTUDO DE EDIFICIOS'//)
03      DO 10 I=1,2
04      READ(NREAD,2)(XNOME(J),J=1,9),NOME(I)
05      10 WRITE(NWRIT,2)(XNOME(J),J=1,9),NOME(I)
06      2 FORMAT(20A4,14)
07      NPANS=NOME(1)
08      NLAJS=NOME(2)
09      NGL=NPANS*NLAJS
10      LSB=(NLAJS-1)*NPANS+1
11      WRITE(NWRIT,3)
12      3 FORMAT(1X,72(' '))
C2.=====LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS DOS PAINES (LPANS)
C3.=====CALCULO DAS MATRIZES DE RIGIDES DOS PAINES (RPANS)
C4.=====IMPRESSAO NO DISCO DE LPANS E RPANS
13      DO 20 N=1,NPANS
14      CALL LPANL
15      IF(IRP)5,4,5
16      4 N1=1
17      N2=NLAJS*NC
18      N3=N2+1
19      N4=N2+NLAJS
20      CALL RPANL(N1,N2,N3,N4)
21      5 NREG=NPANL
22      20 WRITE(1,NREG)NPANL,IRP,NJ,M,NC,E,G,X,Y,JJ,JK,IZ,L,AX,F,SP,SMD
C5.=====LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS DAS LAJES (LLAJS)
C6.=====CALCULO DAS MATRIZES DE RIGIDEZ DAS LAJES (RLAJS=RPANL)
C7.=====IMPRESSAO NO DISCO DE RLAJS E LLAJS
23      DO 30 N=1,NLAJS
24      CALL LLAJE
25      IF(IRP)7,6,7
26      6 N1=1
27      N2=NPANS
28      N3=N2+1
29      N4=2*N2
30      CALL RPANL(N1,N2,N3,N4)
31      7 NREG=NLAJE+NPANS
32      30 WRITE(1,NREG)NLAJE,IRP,NJ,M,E,G,X,Y,JJ,JK,IZ,L,AX,F,SP
C8.=====CALCULO E DECOMPOSICAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO SISTEMA
33      CALL RSIST
34      CALL DECOB(INGL,LSB,SS)
C9.=====LEITURA DO VETOR DAS ACOES NO SISTEMA
35      READ(NREAD,9)XNOME
36      WRITE(NWRIT,9)XNOME
37      9 FORMAT(20A4)
38      DO 50 I=1,NLAJS
39      J=(I-1)*NPANS+1
40      K=I*NPANS
41      READ(NREAD,11)(AS(N),N=J,K)
42      50 WRITE(NWRIT,12)(AS(N),N=J,K)
43      11 FORMAT(20F6.0)
44      12 FORMAT(20F6.2)
C10.=====CALCULO DOS DESLOCAMENTOS DO SISTEMA
45      CALL SOLV3(INGL,LSB,SS,AS,DS)
C11.=====CALCULO E SAIDA DOS RESULTADOS DOS PAINES
46      DO 40 N=1,NPANS
47      NREG=N
48      READ(1,NREG)NPANL,IRP,NJ,M,NC,E,G,X,Y,JJ,JK,IZ,L,AX,F,SP,SMD
49      CALL SAREP
50      CALL SAREM
51      40 CONTINUE
52      WRITE(NWRIT,8)
53      8 FORMAT('1')
C12.=====CALCULO E SAIDA DOS RESULTADOS DAS LAJES
54      CALL SARFL
CALL EXIT
END

```

```
SUBROUTINE LPANL
REAL IZ(60),L(60)
COMMON XNOME(20),NOME(20),NLAJS,NPANS,NPANL,NLAJE,IRP,NJ,M,NC,E,G,
INGL,LSB,X(42),Y(42),JJ(60),JK(60),IZ,L,AX(60),F(60),SMD(60,3,4),SP
2(60,60),SS(180,172),AS(180),DS(180),DP(180),AP(180),DM(4),AM(60,3)
3,FN(60),FQ(20)
NWRIT=5
NREAD=2
```

```
01.=====LEITURA DO NUMERO DO PAINEL, INDICE DE REPETICAO E
NUMERO DE PROVA DE PILARES
```

```
01 READ(NREAD,1)(XNOME(J),J=1,9),NPANL,IRP
02 WRITE(NWRIT,1)(XNOME(J),J=1,9),NPANL,IRP
03 1 FORMAT(9A4,I4,I10)
04 IF(IRP)12,2,12
05 2 READ(NREAD,3)(XNOME(J),J=1,9),NC
06 WRITE(NWRIT,3)(XNOME(J),J=1,9),NC
07 3 FORMAT(9A4,I4)
08 NJ=(NLAJS+1)*NC
09 M=(2*NC-1)*NLAJS
10 READ(NREAD,4)(XNOME(J),J=1,9),E
11 WRITE(NWRIT,4)(XNOME(J),J=1,9),E
12 READ(NREAD,4)(XNOME(J),J=1,9),S
13 WRITE(NWRIT,4)(XNOME(J),J=1,9),S
14 4 FORMAT(9A4,8I4,3)
```

```
02.=====LEITURA DAS COORDENADAS DOS NÓS
```

```
15 DO 20 I=1,2
16 READ(NREAD,5)XNOME
17 20 WRITE(NWRIT,5)XNOME
18 5 FORMAT(20A4)
19 DO 30 I=1,NJ
20 READ(NREAD,6)K,X(K),Y(K)
21 30 WRITE(NWRIT,7)K,X(K),Y(K)
22 6 FORMAT(15,2F10.0)
23 7 FORMAT(15,2F10.2)
```

```
03.=====LEITURA DAS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADE DAS BARRAS
```

```
24 DO 40 I=1,2
25 READ(NREAD,5)XNOME
26 40 WRITE(NWRIT,5)XNOME
27 DO 50 I=1,M
28 READ(NREAD,8)K,JJ(K),JK(K),IZ(K),AX(K),F(K)
29 8 FORMAT(3I5,3F15.5)
30 IF(JJ(K)-JK(K))50,3,9
31 9 JAUX=JJ(K)
32 JJ(K)=JK(K)
33 JK(K)=JAUX
34 50 WRITE(NWRIT,9)K,JJ(K),JK(K),IZ(K),AX(K),F(K)
```

```
04.=====CALCULO DO COMPRIMENTO DAS BARRAS
```

```
35 DO 60 I=1,M
36 J=JJ(I)
37 K=JK(I)
38 L(I)=(X(K)-X(J))+(Y(J)-Y(K))
39 12 WRITE(NWRIT,11)
40 11 FORMAT(1X,7Z(' '))
RETURN
END
```



```

SUBROUTINE LLAJE
  REAL I7(60),L(60)
  COMMON XNOME(20),NOME(20),NLAJS,NPANS,NPANI,NLAJE,IRP,NJ,M,NC,E,G,
  INGL,LSB,X(42),Y(42),JJ(60),JK(60),I7,L,AX(60),F(60),SMD(60,3,4),SP
  2(60,60),SS(130,172),AS(130),DS(180),DP(180),AP(180),DM(4),AM(60,3)
  3,FN(60),FO(20)
  NWRIT=5
  NREAD=2
01 C1.=====LEITURA DO NUMERO DA LAJE E INDICE DE REPETICAO
02   READ(NREAD,1)(XNOME(J),J=1,9),NLAJE,IRP
03   WRITE(NWRIT,1)(XNOME(J),J=1,9),NLAJE,IRP
04   1 FORMAT(9A4,14,110)
05   IF(IRP)12,2,12
06   2 NC=1
07   NJ=NPANS
08   M=NPANS-1
09   READ(NREAD,4)(XNOME(J),J=1,9),E
10   WRITE(NWRIT,4)(XNOME(J),J=1,9),E
11   READ(NREAD,4)(XNOME(J),J=1,9),G
12   WRITE(NWRIT,4)(XNOME(J),J=1,9),G
13   4 FORMAT(9A4,2F14.3)
14 C2.=====LEITURA DAS COORDENADAS DOS NOS
15   DO 20 I=1,2
16     READ(NREAD,5)XNOME
17     20 WRITE(NWRIT,5)XNOME
18     5 FORMAT(20A4)
19     DO 30 I=1,NJ
20       READ(NREAD,6)K,X(K),Y(K)
21       30 WRITE(NWRIT,7)K,X(K),Y(K)
22       6 FORMAT(15,2F10.0)
23       7 FORMAT(15,2F10.2)
24 C3.=====LEITURA DAS CARACTERISTICAS E PROPRIEDADES DAS BARRAS
25   DO 40 I=1,2
26     READ(NREAD,5)XNOME
27     40 WRITE(NWRIT,5)XNOME
28     DO 50 I=1,M
29       READ(NREAD,8)K,JJ(K),JK(K),IZ(K),AX(K),F(K)
30       8 FORMAT(3I5,3E15.5)
31       IF(JJ(K)-JK(K))50,9,9
32       9 JAJX=JJ(K)
33       JK(K)=JAJX
34       50 WRITE(NWRIT,8)K,JJ(K),JK(K),IZ(K),AX(K),F(K)
35   C4.=====CALCULO DO COMPRIMENTO DAS BARRAS
36   DO 60 I=1,M
37     J=JJ(I)
38     K=JK(I)
39     60 L(I)=Y(J)-Y(K)
40     12 WRITE(NWRIT,11)
41     11 FORMAT(1X,72(' '))
42     RETURN
43     END

```

```

SUBROUTINE RPANL(N1,N2,N3,N4)
REAL IZ(60),L(60)
COMMON X(42),Y(42),JJ(60),JK(60),IZ,L,AX(60),F(60),SMD(60,3,4),SP
2(60,60),SS(180,172),AS(180),DS(180),DP(180),AP(180),DM(4),AM(50,3)
3,FV(60),FQ(20)
NWRITE=5

```

```

01 DO 10 I=1,N4
02 DO 10 J=1,N4
03 10 SP(I,J)=0.0
04 DO 20 I=1,M
05 J1=JJ(I)
06 J2=JK(I)
07 J3=N2+1+(J1-1)/NC
08 J4=N2+1+(J2-1)/NC
09 CAC=6.0*F(I)*F+IZ(I)/(G*AX(I)*L(I)**2)
10 AUXC=F*IZ(I)/(L(I)*(1.0+2.0*CAC))
11 SMD(I,1,1)=AUXC*(4.0+2.0*CAC)
12 SMD(I,1,2)=AUXC*(2.0-2.0*CAC)
13 SMD(I,1,3)=5.0*AUXC/L(I)
14 SMD(I,1,4)=-SMD(I,1,3)
15 SMD(I,2,1)=SMD(I,1,2)
16 SMD(I,2,2)=SMD(I,1,1)
17 SMD(I,2,3)=SMD(I,1,3)
18 SMD(I,2,4)=-SMD(I,1,3)
19 SMD(I,3,1)=SMD(I,1,3)
20 SMD(I,3,2)=SMD(I,2,3)
21 SMD(I,3,3)=(2.0*SMD(I,1,3))/L(I)
22 SMD(I,3,4)=-SMD(I,3,3)
23 IF(J4-J3)1,1,2
24 1 SP(J1,J1)=SP(I,J1)+SMD(I,1,1)
25 SP(J1,J2)=SP(J1,J2)+SMD(I,1,2)
26 SP(J2,J2)=SP(J2,J2)+SMD(I,1,1)
27 GO TO 20
28 2 IF(J4-N4)3,3,4
29 3 SP(J1,J2)=SP(J1,J2)+SMD(I,1,2)
30 SP(J1,J4)=SP(J1,J4)-SMD(I,1,3)
31 SP(J2,J2)=SP(J2,J2)+SMD(I,1,1)
32 SP(J2,J3)=SP(J2,J3)+SMD(I,1,3)
33 SP(J2,J4)=SP(J2,J4)-SMD(I,1,3)
34 SP(J3,J4)=SP(J3,J4)-SMD(I,3,3)
35 SP(J4,J4)=SP(J4,J4)+SMD(I,3,3)
36 4 SP(J1,J1)=SP(J1,J1)+SMD(I,1,1)
37 SP(J1,J3)=SP(J1,J3)+SMD(I,1,3)
38 SP(J3,J3)=SP(J3,J3)+SMD(I,3,3)
39 20 CONTINUE
40 DO 30 I=1,N4
41 DO 30 J=1,N4
42 30 SP(J,I)=SP(I,J)
43 CALL INVGJ(I,N2,SP)
44 DO 40 I=N1,N2
45 DO 40 J=N3,N4
46 SP(I,J)=0.0
47 DO 40 K=N1,N2
48 40 SP(I,J)=SP(I,J)+SP(I,K)*SP(J,K)
49 DO 50 I=N3,N4
50 DO 50 J=N3,N4
51 DO 50 K=N1,N2
52 50 SP(I,J)=SP(I,J)-SP(I,K)*SP(K,J)
RETURN
END

```

7 →

1 >

```

SUBROUTINE RSIST
REAL IZ(50),L(60)
COMMON XNOME(20),NOME(20),NLAJS,NPANS,NPANL,NLAJE,IRP,NJ,M,NC,E,G,
1NGL,LSB,X(42),Y(42),JJ(60),JK(60),IZ,L,AX(60),F(60),SMD(60,3,4),SP
2(60,60),SS(130,172),AS(130),DS(180),DP(180),AP(180),DM(4),AM(60,3)
3,FN(60),FO(20)
01 DO 10 I=1,NGL
02 DO 10 J=1,LSB
03 10 SS(I,J)=0.0
04 DO 20 N=1,NPANS
05 NREG=N
06 READ(1,NREG)NPANL,IRP,NJ,M,NC,E,G,X,Y,JJ,JK,IZ,L,AX,F,SP,SMD
07 DO 30 I=1,NLAJS
08 IS=NPANL+(I-1)*NPANS
09 IP=NLAJS*NC+I
10 DO 40 J=1,NLAJS
11 JS=1+(J-I)*NPANS
12 IF(JS-LSB)3,3,30
13 3 JP=NLAJS*NC+J
14 40 SS(IS,JS)=SS(IS,JS)+SP(IP,JP)
15 30 CONTINUE
16 20 CONTINUE
17 DO 50 N=1,NLAJS
18 NREG=N+NPANS
19 READ(1,NREG)NLAJE,IRP,NJ,M,E,G,X,Y,JJ,JK,IZ,L,AX,F,SP
20 DO 60 I=1,NPANS
21 IS=(NLAJE-1)*NPANS+I
22 IL=NPANS+I
23 DO 60 J=1,NPANS
24 JS=J-1+1
25 JL=NPANS+J
26 60 SS(IS,JS)=SS(IS,JS)+SP(IL,JL)
27 50 CONTINUE
RETURN
END
```

```

SUBROUTINE SOLVB(N,LSB,S,AS,DS)
DIMENSION S(130,172),AS(130),DS(180)
01 DO 10 I=2,N
02 II=I-1
03 DO 20 J=1,II
04 JI=J+1
05 IF(JI-LSB)1,1,10
06 1 K=I-J
07 AUX=1.0/S(K,1)
08 20 AS(I)=AS(I)-S(K,JI)*AS(K)*AUX
09 10 CONTINUE
10 DS(N)=AS(N)/S(N,1)
11 DO 30 II=2,N
12 I=N-II+1
13 JI=I+1
14 DO 40 K=JI,N
15 KI=K-1+1
16 IF(KI-LSB)40,40,2
17 40 AS(I)=AS(I)-S(I,KI)*DS(K)
18 2 AUX=1.0/S(I,1)
19 DS(I)=AS(I)*AUX
20 30 CONTINUE
RETURN
END
```

```

SUBROUTINE SAPEP
REAL IZ(60),L(60)
COMMON XNONE(20),NONE(20),NLAJS,NPANS,NPANEL,NLAJE,IRP,NJ,M,NC,E,G,
INGL,LSB,X(42),Y(42),JJ(60),JK(60),IZ,L,AX(60),F(60),SMD(60,3,4),SP
2(60,60),SS(180,172),AS(180),DS(180),DP(180),AP(180),DM(4),AM(60,3)
3,FN(60),FQ(20)
NREAD=2
NWRIT=5

```

```

01 C1.=====SUB-ROTINA QUE CALCULA E IMPRIME OS RESULTADOS DOS PAINES
02     N1=1
03     N2=NLAJS*NC
04     N3=N2+1
05     N4=N2+NLAJS
06 C2.=====CALCULO DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NO PAINEL NPANEL
07     DO 20 I=1,NLAJS
08     J=NLAJS*NC+I
09     K=NPANEL+(I-1)*NPANS
10     20 DP(J)=DS(K)
11 C3.=====CALCULO DAS FORÇAS HORIZONTAIS NO PAINEL NPANEL
12     LBSP=LSB/NPANS+1
13     DO 30 I=N3,N4
14     AP(I)=0.0
15     JI1=N3
16     JI2=I-LBSP+1
17     IF(JI1-JI2)3,3,4
18     3 JI=JI2
19     GO TO 5
20     4 JI=JI1
21     5 JS1=N4
22     JS2=I+LBSP-1
23     IF(JS1-JS2)6,6,7
24     6 JS=JS1
25     GO TO 8
26     7 JS=JS2
27     8 DO 30 J=JI,JS
28     30 AP(I)=AP(I)+SP(I,J)*DP(J)
29 C4.=====CALCULO DAS FORÇAS CORTANTES NOS PAINES
30     FQ(1)=AP(N3)
31     DO 60 I=2,NLAJS
32     K=N2+I
33     60 FQ(I)=FQ(I-1)+AP(K)
34 C5.=====CALCULO DAS ROTACOES NOS NÓS DO PAINEL
35     DO 40 I=N1,N2
36     DP(I)=0.0
37     DO 40 J=N3,N4
38     40 DP(I)=DP(I)-SP(I,J)*DP(J)
39 C6.=====IMPRESSÃO DOS RESULTADOS DOS PAINES
40     WRITE(NWRIT,1)NPANEL
41     1 FORMAT('1',50X'PAINEL NUMERO',I3,/,10X'DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS'
42     1,15X'ACOES HORIZONTAIS'15X'FORÇAS CORTANTES',/)
43     DO 50 I=1,NLAJS
44     K=N2+I
45     50 WRITE(NWRIT,2)DP(K),AP(K),FQ(I)
46     2 FORMAT(F25.4,F37.4,F33.4)
47     RETURN
48     END

```

```

SUBROUTINE DECOR(N,LSB,S)
DIMENSION S(180,172)
01     DO 30 I=2,N
02     I1=N-1+I
03     IF(LSB-I1)1,1,2
04     1 I1=LSB
05     2 DO 20 J=1,I1
06     I2=I-1
07     DO 10 KA=1,12
08     K=I-KA
09     K1=I+J-K
10     IF(K1-LSB)3,3,20
11     3 K2=I-K+1
12     AUX=1.0/S(K,1)
13     10 S(I,J)=S(I,J)-S(K,K1)*S(K,K2)*AUX
14     20 CONTINUE
15     30 CONTINUE
16     RETURN
17     END

```

```

SUBROUTINE SAREM
REAL IZ(50),L(50)
COMMON XNOME(20),NOME(20),NLAJS,NPAINIS,NPANEL,NLAJE,IRP,NJ,M,NC,E,G,
1NSL,LS3,X(42),Y(42),JJ(60),JK(50),I7,L,AX(60),F(60),SMD(60,3,4),SP
2(60,60),SS(120,172),AS(130),DS(180),DP(180),AP(180),DM(4),AM(60,3)
3,FN(60),FC(20)
NREAD=2
NWRIT=5

```

C1.=====SUB-ROTINA QUE CALCULA E IMPRIME OS RESULTADOS DOS  
C=====MEMBROS DOS PAINES

```

01      N1=1
02      N2=NLAJS*NC
03      N3=N2+1
04      N4=N2+NLAJS
05      DO 60 I=1,M
06      J1=JJ(I)
07      J2=JK(I)
08      J3=N2+1+(J1-1)/NC
09      J4=N2+1+(J2-1)/NC
10      DM(1)=DP(J1)
11      DM(3)=DP(J3)
12      IF(J4-N4)4,4,5
13      4 DM(2)=DP(J2)
14      DM(4)=DP(J4)
15      GO TO 6
16      5 DM(2)=0.0
17      DM(4)=0.0
18      6 DO 70 J=1,3
19      AM(I,J)=0.0
20      DO 70 K=1,4
21      70 AM(I,J)=AM(I,J)+SMD(I,J,K)*DM(K)
22      60 CONTINUE

```

C2.=====CALCULO DAS FORÇAS NORMAIS NOS MEMBROS

```

23      DO 80 I=1,M
24      80 FN(I)=0.0
25      IF(NC-1)3,3,7
26      7 AUX1=0.0
27      AUX2=0.0
28      DO 90 I=1,NLAJS
29      IPD=NLAJS*(NC-1)+I*NC
30      IVE=I*(NC-1)
31      FN(IPD)=AUX1+AM(IVE,3)
32      AUX1=FN(IPD)
33      IPE=NLAJS*(NC-1)+(I-1)*NC+1
34      IVD=(I-1)*(NC-1)+1
35      FN(IPE)=AUX2-AM(IVD,3)
36      90 AUX2=FN(IPE)
37      NUPRI=NC-1
38      IF(NC-2)9,9,8
39      8 DO 100 J=2,NUPRI
40      AUX=0.0
41      DO 100 I=1,NLAJS
42      IP=NLAJS*(NC-1)+(I-1)*NC+J
43      IVE=(I-1)*(NC-1)+J-1
44      IVD=IVE+1
45      FN(IP)=AUX+AM(IVE,3)-AM(IVD,3)
46      100 AUX=FN(IP)
47      9 AUX=0.0
48      DO 110 I=1,NUPRI
49      IV=NC-I
50      IPI=NLAJS*(NC-1)+IV+1
51      FN(IV)=AUX-AM(IPI,3)
52      110 AUX=FN(IV)
53      IF(NLAJS-1)3,3,11
54      11 DO 120 I=2,NLAJS
55      AUX=0.0
56      DO 120 J=1,NUPRI
57      IT=NC-J
58      IV=(I-1)*(NC-1)+IT
59      IPS=NLAJS*(NC-1)+(I-2)*NC+IT+1
60      IPI=IPS+NC
61      FN(IV)=AUX+AM(IPS,3)-AM(IPI,3)
62      120 AUX=FN(IV)

```

C3.=====IMPRESSAO DOS RESULTADOS DOS MEMBROS

```

63      3 WRITE(NWRIT,12)
64      12 FORMAT(//,3X'ESFORÇOS SOLICITANTES NOS MEMBROS DO PAINEL',//,19X'
65      1MEMBRO'15X'M1'15X'M2'15X'Q'15X'N',/)
66      DO 130 I=1,M
67      130 WRITE(NWRIT,13)1,AM(I,1),AM(I,2),AM(I,3),FN(I)
68      13 FORMAT(I23,I2,4,F18.4,F15.4,F16.4)
        RETURN
        END

```

```
SUBROUTINE SAREL  
REAL IZ(60),L(60)  
COMMON XNDME(20),NDME(20),NLAJS,NPANS,NPANL,NLAJE,IRP,NJ,M,E,G,  
INGL,LSB,X(42),Y(42),JJ(60),JK(60),I7,L,AX(60),F(60),SMD(60,3,4),SP  
2(60,60),SS(130,172),AS(130),DS(180),DP(180),AP(180),DM(4),AM(60,3)  
3,FN(60),FQ(20)
```

```
NREAD=2  
NWRT=5
```

```
01 C1.=====SUB-ROTINA QUE CALCULA E IMPRIME OS RESULTADOS DAS LAJES  
02 -----DO 10 N=1,NLAJS  
03 -----NREG=N+NPANS  
04 -----READ(1,NREG)NLAJE,IRP,NJ,M,E,G,X,Y,JJ,JK,IZ,L,AX,F,SP  
05 N1=1  
06 N2=NPANS  
07 N3=N2+1  
08 N4=2*N2  
09 C2.=====CALCULO DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS NA LAJE NLAJE  
10 DO 20 I=N1,N2  
11 J=NPANS+I  
12 K=(NLAJE-1)*NPANS+I  
13 20 DP(J)=DS(K)  
14 C3.=====CALCULO DAS FORÇAS HORIZONTAIS NA LAJE NLAJE  
15 DO 30 I=N3,N4  
16 AP(I)=0.0  
17 DO 30 J=N3,N4  
18 30 AP(I)=AP(I)+SP(I,J)*DP(J)  
19 C4.=====IMPRESSAO DOS RESULTADOS DAS LAJES  
20 WRITE(NWRT,1)NLAJE  
21 1 FORMAT(50X'LAJE NUMERO',I3, '//, 20X'DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS',  
22 134X'FORÇAS HORIZONTAIS'//  
DO 50 I=N3,N4  
50 WRITE(NWRT,2)DP(I),AP(I)  
2 FORMAT(E37.4,F>4.4)  
10 CONTINUE  
RETURN  
END
```

```
SUBROUTINE INVSJ(N1,N2,S)  
DIMENSION S(60,60)  
01 DO 30 I=N1,N2  
02 AUX=S(I,I)  
03 S(I,I)=1.0  
04 DO 10 J=N1,N2  
05 10 S(I,J)=S(I,J)/AUX  
06 DO 30 K=N1,N2  
07 IF(I-K)1,30,1  
08 1 AUX=S(K,I)  
09 S(K,I)=0.0  
10 DO 20 L=N1,N2  
11 20 S(K,L)=S(K,L)-S(I,L)*AUX  
12 30 CONTINUE  
RETURN  
END
```

5.6.1 - Programa principal

- 1 - Linhas 1 até 8 - É impresso o título do programa e e são li-  
dos e impressos os valores de NPANS e NLAJS.
- 2 - Linhas 9 e 10 - São calculados os valores de NGL e LSB. Ca-  
so se deseje reduzir a largura superior da  
banda, há necessidade de trocar o cartão  
nº 10
- 3 - Linhas 13 até 22 - São lidos os dados de cada painel, calcula-  
da sua matriz e armazenados estes dados no  
disco. Caso o painel seja repetido (IRP=1),  
os dados impressos no disco serão idênti-  
cos aos do painel anterior, sem necessida-  
de de cálculo (linha 15)
- 4 - Linhas 23 até 32 - São lidos os dados de cada laje, calculada  
sua matriz de rigidez e armazenados estes  
dados no disco. Caso a laje seja repetida  
(IRP=1), os dados impressos no disco serão  
idênticos aos da laje anterior, sem ne-  
cessidade de cálculos (linha 25).
- 5 - Linha 33 - É calculada a matriz de rigidez do sistema.
- 6 - Linha 34 - A matriz de banda do sistema é decomposta  
em uma matriz triangular superior.
- 7 - Linhas 35 até 44 - É lido e impresso o vetor de cargas que a-  
tua no sistema.
- 8 - Linha 45 - São calculados os deslocamentos do sistema.
- 9 - Linhas 46 até 51 - São lidos no disco os dados de cada painel,  
calculados e impressos os deslocamentos ,  
ações horizontais e forças cortantes em ca-  
da painel (linha 49) e os resultados dos  
membros do painel (linha 50).

- 10 - Linha 54 - São calculados e impressos os deslocamentos e ações horizontais em cada laje.

#### 5.6.2 - Sub-rotina LPANL

- 1 - Linhas 1 até 3 - São lidos e impressos os valores NPANL e IRP.
- 2 - Linha 4 - Caso IRP=1, então o painel é repetido e a sub-rotina passa para o comando 12 (linha 39), voltando em seguida para o programa principal.
- 3 - Linhas 5 até 7 - É lido e impresso o valor NC do Painel.
- 4 - Linhas 8 e 9 - São calculados os valores NJ e M do painel.
- 5 - Linhas 10 até 14 - São lidos e impressos os valores de E e G do painel.
- 6 - Linhas 15 até 18 - São lidos e impressos o cabeçalho e subcabeçalho das coordenadas dos nós do painel.
- 7 - Linhas 19 até 23 - São lidos e impressos as coordenadas de cada nó do painel.
- 8 - Linhas 24 até 26 - São lidos e impressos o cabeçalho e subcabeçalho das características e propriedades das barras.
- 9 - Linhas 27 até 34 - São lidas e impressas as características e propriedades das barras.
- 10 - Linhas 35 até 38 - São calculados os comprimentos das barras.

#### 5.6.3 - Sub-rotina LLAJE

- 1 - Linhas 1 até 3 - São lidos e impressos os valores NLAJE e IRP.
- 2 - Linhas 4 - Caso IRP=1, então a laje é repetida, e a subrotina passa para o comando 12 (linha 37), voltando em seguida para o programa principal.



- 3 - Linhas 5 até 7 - São calculados os valores de NC, NJ e M da laje. Apesar de evidente, o valor NC=1 (linha 5) é um dado necessário para o cálculo da matriz de rigidez da laje através de RPANL.
- 4 - Linhas 8 até 12 - São lidos e impressos os valores de E e G da laje.
- 5 - Linhas 13 até 16 - São lidos e impressos o cabeçalho e subcabeçalho relativos às coordenadas dos nós.
- 6 - Linhas 17 até 21 - São lidos e impressos as coordenadas dos nós da laje.
- 7 - Linhas 22 até 24 - São lidos e impressos o cabeçalho e subcabeçalho relativos às características e propriedades das barras.
- 8 - Linhas 25 até 32 - São lidas e impressas as características e propriedades das barras da laje.
- 9 - Linhas 33 até 36 - São calculados os comprimentos das barras.

#### 5.6.4 - Sub-rotina RPANL (N1,N2,N3,N4)

Os argumentos N1,N2,N3 e N4 são parâmetros que separam os deslocamentos rotação dos deslocamentos translação nos painéis e nas lajes.

- 1 - Linhas 1 até 3 - Zera a matriz SP(I,J).
- 2 - Linhas 4 até 8 - Calcula os índices dos deslocamentos na subestrutura, correspondentes aos deslocamentos da barra, conforme a expressão (2.9)
- 3 - Linhas 9 até 22 - São calculados os elementos da matriz de rigidez do membro, conforme a expressão (2.5)

- 4 - Linha 23 - Caso  $J3=J4$ , a barra é horizontal e apenas três elementos da parte triangular superior de SP são gerados. Caso  $J3 < J4$ , todos os elementos da parte triangular superior de SP são gerados.
- 5 - Linhas 24 até 27 - É o caso  $J3=J4$ . Os três elementos de SP são calculados (expressões 2.12) e o programa passa para o comando 20 (linha 39)
- 6 - Linhas 28 - Caso  $J4 > N4$ , o programa passa para o comando 4 (linha 36), calculando apenas 3 elementos da parte triangular superior de SP pois a extremidade fim da barra é um engastamento perfeito.
- 7 - Linhas 29 até 38 - São calculados os elementos da parte triangular superior de SP, segundo as expressões (2.11).
- 8 - Linhas 40 até 42 - É gerada a parte triangular inferior simétrica de SP.
- 9 - Linhas 43 até 52 - A matriz SP reduzida é calculada a partir de SP, conforme a expressão (2.17), ficando as submatrizes e produtos matriciais necessários ao cálculo armazenados conforme a figura 2.4.

#### 5.6.5 - Sub-rotina RSIST

- 1 - Linhas 1 até 3 - É zerada a matriz de rigidez do sistema,  $SS(I,J)$ .
- 2 - Linhas 5 e 6 - São lidos no disco os dados do painel N (N é o índice do controle iterativo da linha 4).
- 3 - Linhas 7 até 15 - As contribuições do painel N na matriz SS, de banda, são calculadas, segundo as expressões (3.10) e (3.11).

- 4 - Linhas 18 e 19 - São lidos no disco os dados da laje N (N é o índice do controle iterativo da linha 17)
- 5 - Linhas 20 até 26 - As contribuições da laje N na matriz SS, de banda, são calculadas, segundo as expressões (3.13) e (3.14).

5.6.6 - Sub-rotina DECOB(N,LSB,S)

Esta sub-rotina decompõe a matriz SS, armazenada em um arranjo triangular, em uma matriz triangular superior conforme (3.19).

5.6.7 - Sub-rotina SOLVB (N,LSB,S,AS,DS).

Esta sub-rotina é a codificação do diagrama de blocos da sub-rotina SOLVBAND da página 67 da referência bibliográfica número 10.

5.6.8 - Sub-rotina SAREP

- 1 - Linhas 1 até 4 - Define os parâmetros que separam os deslocamentos rotação dos deslocamentos translação do painel.
- 2 - Linhas 5 até 8 - Calcula, a partir dos deslocamentos do sistema, os deslocamentos horizontais do painel.
- 3 - Linha 9 - Calcula a largura da banda de SP, em função da largura da banda da matriz de rigidez do sistema SS.
- 4 - Linhas 10 até 25 - Levando em consideração a largura da banda de SP, calcula as forças horizontais no painel, segundo a expressão (2.20)

- 5 - Linhas 26 até 29 - Calcula as forças cortantes no painel, ao nível dos andares, fazendo a somatória das ações horizontais.
- 6 - Linhas 30 até 33 - Calcula as rotações nos nós do painel, pela aplicação da equação (2.19)
- 7 - Linhas 34 até 36 - São impressos o cabeçalho e subcabeçalho relativos aos resultados do painel.
- 8 - Linhas 37 até 40 - São impressos os vetores deslocamentos horizontais, forças horizontais e forças cortantes no painel.

5.6.9 - Sub-rotina SAREM.

- 1 - Linhas 1 até 4 - Define os parâmetros que separam os deslocamentos rotação dos deslocamentos translação dos painéis.
- 2 - Linhas 6 até 17 - Calcula, a partir dos deslocamentos dos nós do painel, os deslocamentos dos nós da barra I (I é o índice do controle iterativo da linha 5). Caso  $J4 > N4$  (linha 12), isto é, a extremidade fim da barra é engastada, os deslocamentos deste nó são nulos, passando o programa para o comando número 5 (linha 16).
- 3 - Linhas 18 até 21 - São calculadas as forças cortantes e momentos fletores nas extremidades da barra I, segundo (2.24).
- 4 - Linhas 23 e 24 - É zerado o vetor FN, das forças normais nas barras.
- 5 - Linha 25 - Caso o painel possua apenas uma prumada de pilares, as forças normais nas barras são nulas, e o programa passa para o comando número 3 (linha 63).

- 6 - Linhas 26 até 36 - São calculados os esforços normais nos pilares das prumadas a sotavento e barlavento, segundo (2.26) e (2.27).
- 7 - Linha 38 - Caso o painel tenha apenas duas prumadas de pilares, o programa passa para o comando nº 9 (linha 47).
- 8 - Linhas 39 até 46 - São calculados os esforços normais nos pilares das prumadas internas segundo (2.28).
- 9 - Linhas 47 até 52 - São calculados os esforços normais das vigas do topo do painel, segundo (2.29).
- 10- Linha 53 - Caso o painel tenha apenas um andar, o programa passa para o comando nº 3 (linha 63).
- 11- Linhas 54 até 62 - São calculados os esforços normais nas vigas abaixo do topo do painel segundo (2.30).
- 12- Linhas 63 até 68 - Impressão de cabeçalho, subcabeçalho e resultados das barras do painel.

5.6.10 - Sub-rotina SAREL.

- 1 - Linhas 2 e 3 - Lê no disco os dados da laje.
- 2 - Linhas 4 até 7 - Define os parâmetros que separam os deslocamentos rotação dos deslocamentos translação da laje.
- 3 - Linhas 8 até 11 - Calcula, a partir dos deslocamentos do sistema, os deslocamentos horizontais da laje.
- 4 - Linhas 12 até 15 - Calcula as forças horizontais na laje, através da expressão 2.37.
- 5 - Linhas 16 até 18 - Imprime cabeçalho e subcabeçalho.
- 6 - Linhas 19 até 22 - Imprime os valores dos deslocamentos e forças horizontais na laje.

5.6.11 - Sub-rotina INVGJ.

Esta sub-rotina inverte matrizes quadradas pelo mêto  
do de GAUSS-JORDAN, tomando para pivô os elementos da diagonal prin  
cipal.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÕES

Na solução dos problemas de ação do vento em edifícios, considerando as deformações das lajes, chegou-se a bons resultados, conforme pode ser verificado nos exemplos do capítulo IV.

O programa de cálculo mostrou-se eficiente para a solução do problema, inclusive quanto ao tempo de computação. Isto foi notado na solução de inúmeros exemplos resolvidos, além dos apresentados neste trabalho. O tempo de computação para o segundo exemplo (incluindo leitura de cartões, compilação, montagem e saída dos resultados) no computador PDP-10 da DIGITAL EQUIPMENTS CORPORATION foi de 4 minutos e 42,67 segundos. Considera-se então que o programa de cálculo apresentado no capítulo V será útil aos leitores interessados na solução dos problemas aqui abordados.

Observando os resultados encontrados nos exemplos do capítulo IV, conclue-se que a deformabilidade existente nas lajes, leva a variações nos valores dos esforços solicitantes nos painéis do edifício sob a ação do vento. Embora o cálculo que considera a deformação das lajes seja feito com maior número de incógnitas, ele se justifica por corresponder a comportamento mais próximo do comportamento real da estrutura, principalmente em edifícios que apresentam lajes com uma dimensão preponderante. Além disso, como se viu, os tempos de computação permanecem dentro dos limites aceitáveis.

O cálculo com a hipótese de laje deformável atenua o efeito de variação brusca nas forças horizontais no topo e na base dos painéis, variação esta que é encontrada no cálculo considerando as lajes como diafragmas. Nos andares intermediários, o comportamento da estrutura é aproximadamente o mesmo nas duas hipóteses, principalmente quando é aumentada a altura do edifício, como se pode ver pelas forças cortantes encontradas nos exemplos do capítulo IV.

Considerando então que o cálculo com a hipótese de laje deformável é mais realista, vê-se que as forças cortantes nos painéis, com a hipótese de lajes rígidas, são contra a segurança na base dos painéis p $\text{ó}$ rtico, a favor da segurança no topo dos p $\text{ó}$ rticos, na base das paredes, e geralmente também no topo das paredes.

Sobre o programa de cálculo elaborado para a análise da ação do vento nos edifícios com lajes deformáveis, considera-se que,

um resultado importante foi encontrado como sub-produto do trabalho principal: o programa de cálculo (capítulo V) é bastante geral , re solvendo com êxito os casos de estruturas de forma bastante irregu lar (vide parágrafo 3.9 e o exemplo do capítulo V adotado como pa drão para a preparação dos dados de entrada).



BIBLIOGRAFIA

- 1 - STAMATO, M.C. - Estado atual da análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos. Publicação nº 163 da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1972.
- 2 - GOLDBERG, J.E. - Analysis of multistorey buildings considering shear wall and floor deformations, in "Symposium on tall buildings", Southampton, Pergamon Press, 1967, pp 349-373.
- 3 - MAJID, K.I. e CROXTON, P.C.L. - Wind analysis of complete building structure by influence coefficients. Proc. Instn. Civ. Engrs., vol.47, out., 1970, pp 169-184.
- 4 - FIGUEIREDO, R.G. - Sobre a instabilidade elástica de pórticos tridimensionais de edifícios. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1972.
- 5 - GERE, J.M. e WEAVER, W.Jr. - Analysis of framed structures. Van Nostrand Reinhold Company, New York, N.Y., 1965, p. 428.
- 6 - LIGHTFOOT, E. - The analysis for wind loading of rigid-jointed multi-storey building frames. Civil Engineering 1956, vol.51, pp 757-759 e 887-889.
- 7 - STAMATO, M.C. e STAFFORD-SMITH, B. - Análise aproximada de estruturas tridimensionais de edifícios elevados. XIII Jornadas Sulamericanas e Engenharia Estrutural (Montevideo, 1969).
- 8 - STAMATO, M.C. - Torção de estruturas de edifícios elevados. Publicação nº 156 da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1972.
- 9 - WEAVER, W.Jr. - Computer programs for structural analysis. D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, N.J., 1967.
- 10 - RUBINSTEIN, M.F. - Matrix computer analysis of structures. Prentice Hall Inc., 1966.
- 11 - YAGUI, T. - Estruturas constituídas de paredes delgadas com diafragmas transversais. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1971.
- 12 - BARROS, I.Q. - Métodos numéricos, vol.I, Álgebra linear. UNICAMP, 1970.
- 13 - WEBSTER, J.A. - Discussão da referência 2, pp 374-375.