

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

ASSOCIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DE
PÓRTICOS E PAREDES DE SECÇÃO ABERTA
EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS ALTOS

ENG. SÍLVIO RICARDO DE SAMPAIO RIBEIRO

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".

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Eddie Mancini
Prof. Dr. José Elias Laier
Prof. Dr. Mário Franco

ORIENTADOR:

PROF. DR. EDDIE MANCINI

SUPLENTE:

Prof. Dr. Maximilian E. Hehl
Prof. Dr. Walter Abrahão Nimir (Substituído)

BANCA EXAMINADORA:

- (EESC-USP)
PROF. DR. EDDIE MANCINI (~~ORIENTADOR~~)
PROF. DR. JOSÉ ELIAS LAZER (EESC-USP)
PROF. DR. MÁRIO FRANCO (EUSP)

SUPLENTE:

- PROF. DR. MAXIMILIAN E. HEHL (ICMSP-USP)
EESC-USP
PROF. DR. WALTERA NIMIR (SUBSTITUÍDO)
↓
ABRAHÃO

ASSOCIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DE
PÓRTICOS E PAREDES DE SECÇÃO ABERTA
EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS ALTOS
AUTOR: ENG. SÍLVIO RICARDO DE SAMPAIO RIBEIRO
ORIENTADOR: Prof. Dr. EDDIE MANCINI

A meus pais

Jocelino e

Nida

A meus irmãos

Jocelino Jr.

Flávio

Tânia

Vânia e

Gustavo

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eddie Mancini pela competência, pelo exemplo e pela honrosa amizade com que me distinguiu.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de estudos para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Ao Sr. Rui Roberto Casale pelo exímio trabalho de datilografia, ao Sr. João Paulo Moretti pelos traços especiais nos trabalhos de desenho, e a Srta. Maria Nadir Minatel pela organização da bibliografia.

Aos colegas de pós-graduação do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

R E S U M O

Este trabalho tem como objetivo principal a análise de associação tridimensional de pórticos com paredes de secção aberta em estruturas de edifícios altos.

Na PARTE I abordam-se os fundamentos da teoria de flexo-torção, que rege o comportamento das paredes de secção aberta presentes na concepção do arranjo estrutural dos edifícios analisados.

Na PARTE II faz-se a análise de todos os elementos estruturais e o estudo da estrutura como um todo. Apresentam-se, ainda, os processos de eliminação e resolução das estruturas de edifícios altos analisadas neste trabalho.

Na PARTE III apresenta-se uma listagem de programa para computador, em linguagem FORTRAN IV, desenvolvido para o presente trabalho.

Na PARTE IV mostram-se alguns exemplos de aplicação com a finalidade de se averiguar a precisão dos resultados obtidos comparados com os de outros autores e, também, para se tirar algumas conclusões sobre o processo de análise adotado neste trabalho.

Na PARTE V fazem-se algumas considerações sobre as hipóteses simplificadoras usadas no desenvolvimento do trabalho e, também, algumas sugestões para o complemento da pesquisa aqui desenvolvida.

Finalmente na PARTE VI apresentam-se dois apêndices sobre alguns tópicos relacionados com o desenvolvimento do texto e um terceiro sobre a entrada de dados no programa para o cálculo automático.

A B S T R A C T

The main objective of this work is the analysis of three-dimensional associations of frames with open section walls for building structures.

The first part of the work deals with Vlassov's theory adapted to model open section wall behaviour for the building structures to be considered.

In the second part of this work the analysis of all structural elements is carried out, as well as the study of the structure as a whole. It is also presented a process for elimination and resolution of tall building structures considered in this work.

In part three it is presented the FORTRAN IV computer code list developed specially for this work.

The fourth part shows some application examples in order to verify the results obtained when compared with other solutions and also to observe some characteristics of the analysis process adopted.

In the fifth part some consideration on the assumed hypotheses for the development of the work are made and also suggestions for the research continuity are given.

Finally, part six of the work presents two appendices with some topics on the development of the work.

S U M Á R I O

PARTE I: FUNDAMENTOS DA TEORIA DE FLEXO-TORÇÃO	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Hipóteses fundamentais	1
1.2.1 - Sobre a geometria da secção	1
1.2.2 - Sobre as tensões de cisalhamento	2
1.2.3 - Sobre a deformabilidade da secção trans- versal	4
1.3 - Fórmulas para as coordenadas do centro de torção ou centro de cisalhamento	4
1.4 - Torção pura de peças de secção aberta de paredes finas	12
1.4.1 - Introdução	12
1.4.2 - Condições para a torção pura	12
1.4.3 - Deslocamentos	14
1.5 - Torção não uniforme de barras de secção aberta de paredes finas	16
1.5.1 - Introdução	16
1.5.2 - Hipóteses de cálculo	17
1.5.3 - Tensão normal de flexo-torção	17
1.5.4 - Tensão tangencial de flexo-torção	18
1.5.5 - Momento de flexo-torção	20
1.5.6 - Bimomento	21
1.6 - Equação diferencial de flexo-torção	22
1.6.1 - Em função da rotação	22
1.6.2 - Em função do bimomento	22
PARTE II: ANÁLISE DA ESTRUTURA - Sistemas de Coordena das e Matrizes de rigidez	26
2.1 - Introdução	26

2.2 - Numeração dos nós do andar	26
2.3 - Sistema global de coordenadas	27
2.4 - Matriz de rigidez dos pilares	31
2.5 - Matriz de rigidez de parede de secção aberta ...	37
2.5.1 - Contribuição dos termos de torção	38
2.5.2 - Contribuição dos termos de flexão	49
2.5.3 - Equações de transformação de ações e deslocamentos	66
2.6 - Matriz de rigidez das vigas	68
2.6.1 - Vigas - X	68
2.6.2 - Vigas - Y	70
2.7 - Matriz de compatibilização viga-parede	72
2.8 - Matriz de rigidez da estrutura	83
2.8.1 - Contribuição das vigas na matriz de ri gidez da estrutura	84
2.8.2 - Contribuição dos pilares na matriz de rigidez da estrutura	87
2.8.3 - Contribuição das paredes na matriz de rigidez da estrutura	92
2.9 - Geração da matriz de rigidez lateral	96
2.10- Determinação de esforços	99
2.10.1 - Esforços em vigas	99
2.10.2 - Esforços em pilares	100
2.10.3 - Esforços em paredes	100
 PARTE III: PROGRAMA PARA CÁLCULO AUTOMÁTICO	 101
3.1 - Introdução	101
3.2 - Considerações iniciais	101
 PARTE IV: EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	 156
4.1 - Comentários	156

EXEMPLO 1	156
EXEMPLO 2	161
EXEMPLO 3	166
EXEMPLO 4	172
PARTE V: CONSIDERAÇÕES FINAIS	177
PARTE VI: APÊNDICES	178
6.1 - APÊNDICE 1: Características gerais das paredes analisadas no programa	178
6.1.1 - Parede plana	178
6.1.2 - Parede com a forma da letra U	179
6.1.3 - Parede com a forma da letra C	181
6.1.4 - Parede com a forma da letra H	183
6.1.5 - Parede com a forma de duplo T	185
6.2 - APÊNDICE 2: Método de eliminação de GAUSS	187
6.2.1 - Definição	188
6.3 - APÊNDICE 3: Forma de utilização do programa pa ra cálculo automático	190
Entrada de dados para o Exemplo 1	191
Entrada de dados para o Exemplo 2	198
Entrada de dados para o Exemplo 3	203
Entrada de dados para o Exemplo 4	207
Impressão de saída de resultados do Exemplo 4 ..	212
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	220
BIBLIOGRAFIA	222

PARTE I

FUNDAMENTOS DA TEORIA DE FLEXO-TORÇÃO

1.1 - Introdução

Nesta primeira parte apresenta-se uma abordagem dos fundamentos da teoria de flexo-torção com base bibliográfica em VLASSOV (01), LANGENDONCK (02), RACHID (03) e TIMOSHENKO (04) e (05). O estudo das peças de secção delgada submetidas à torção é utilizado, neste trabalho, na resolução de estruturas de edifícios altos com paredes de secção aberta em seu arranjo estrutural.

1.2 - Hipóteses fundamentais

1.2.1 - Sobre a geometria da secção

Considere-se agora a análise das características básicas que regem as hipóteses de cálculo das peças de secção delgada na teoria de flexo-torção. Seja a barra de secção aberta de paredes finas representada na figura 1.1.

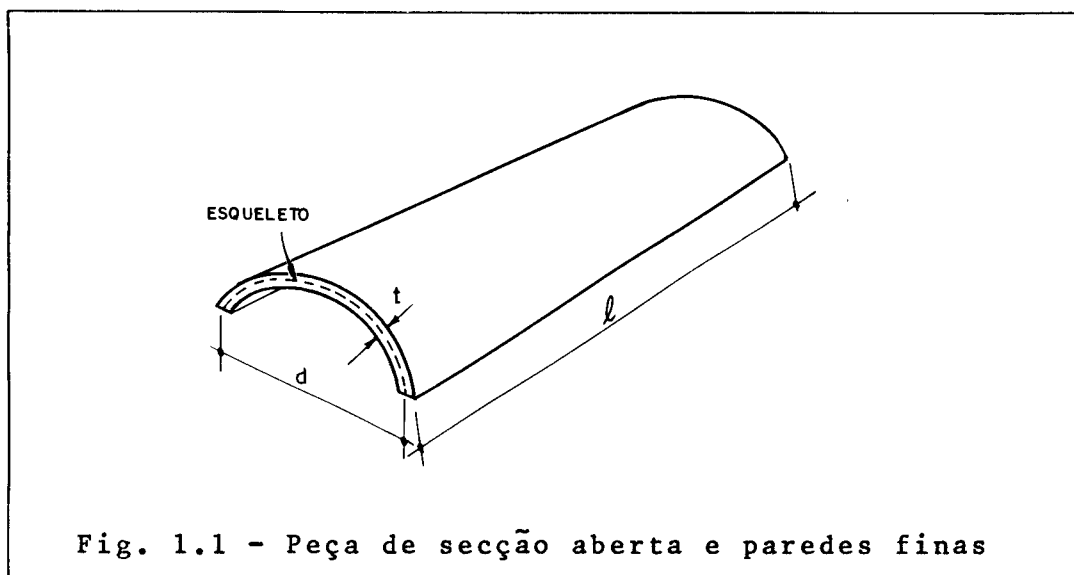


Fig. 1.1 - Peça de secção aberta e paredes finas

De acordo com VLASSOV (01) para a peça representada na figura 1.1 admitem-se as relações geométricas fundamentais do modelo ideal de cálculo da teoria de flexo-torção, quais sejam:

$$\frac{t}{d} \leq 0,1 \quad ; \quad \frac{d}{\ell} \leq 0,1$$

sendo t a espessura da parede, d uma dimensão característica da secção transversal (largura, altura, diâmetro,...) e ℓ o comprimento da peça.

Na figura 1.1 está representada a linha média, ou linha esqueleto, ou esqueleto da secção, que é a linha que divide a espessura t ao meio.

1.2.2 - Sobre as tensões de cisalhamento

1.2.2.1 - Tensões de cisalhamento oriundas da torção livre ($\tau_{t\ell}$)

Para as tensões de cisalhamento oriundas da torção livre utiliza-se a hipótese simplificadora (e que leva a resultados aceitáveis, confirmados experimentalmente) de que as mesmas se distribuem anticamente linear em relação à linha média, ou linha esqueleto ou esqueleto dos elementos delgados de secção, como se vê na figura 1.2 e de acordo com LANGENDONCK (02).

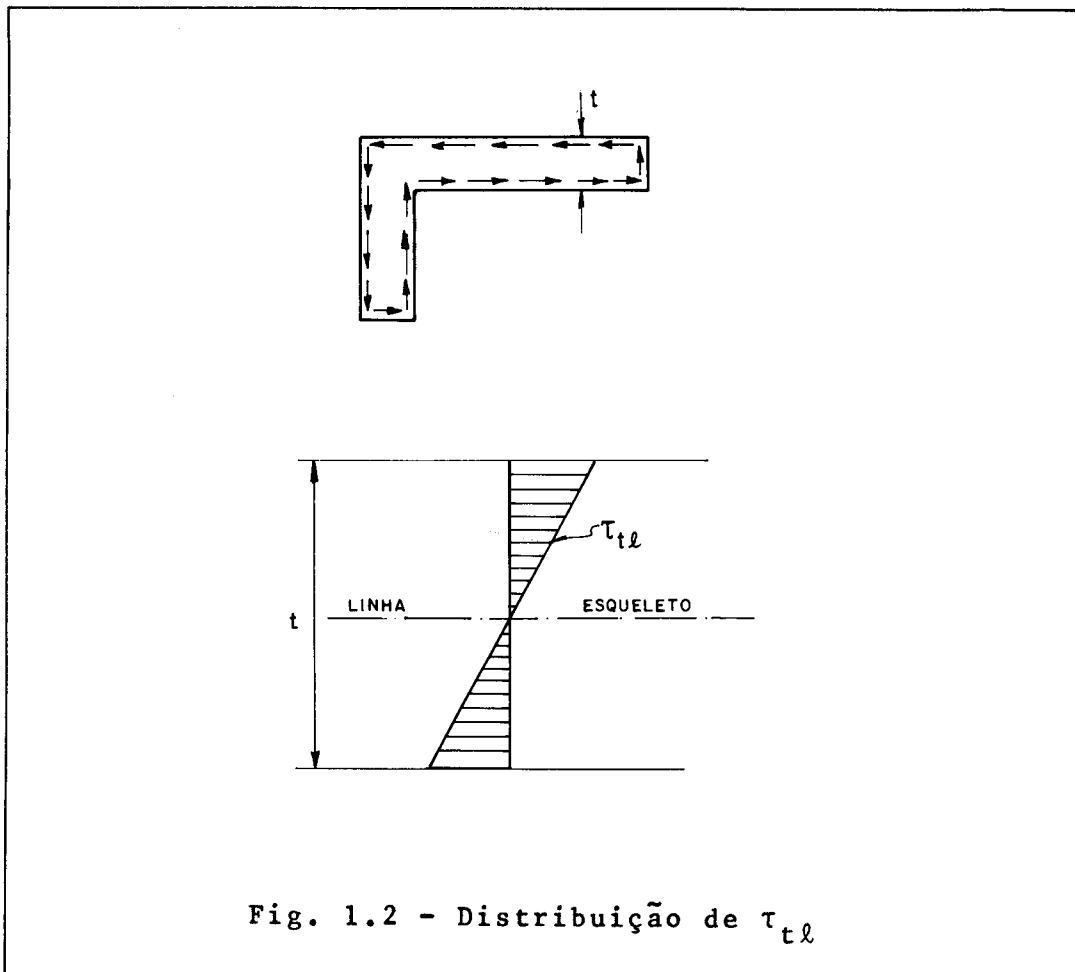
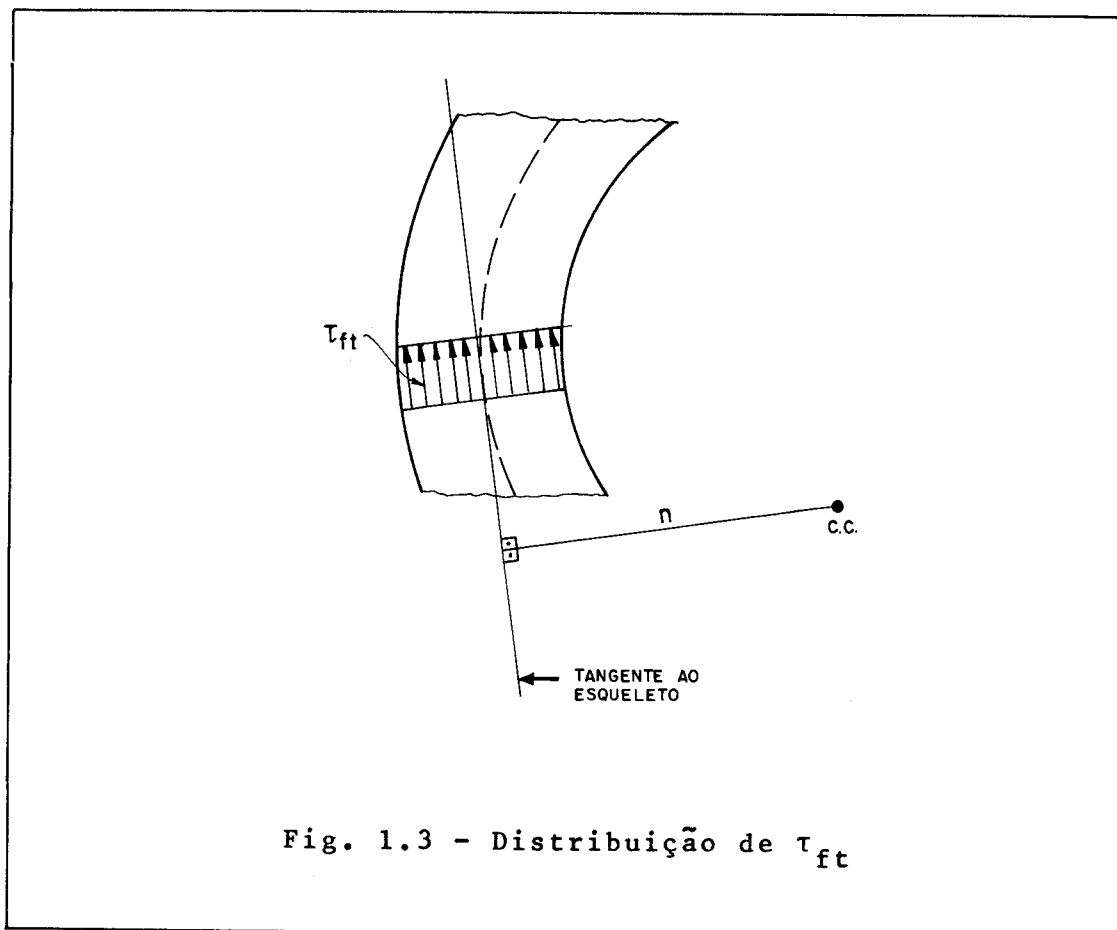


Fig. 1.2 - Distribuição de τ_{tl}

1.2.2.2 - Tensões de cisalhamento oriundas da flexo-torção
(τ_{ft})

Para as tensões de cisalhamento oriundas da flexo-torção pode-se considerá-las uniformemente distribuídas sobre a espessura t , nas peças de secção delgada, e com direção tangente à linha média ou linha esqueleto. Na figura 1.3, de acordo com RACHID (03), representam-se essas tensões de cisalhamento com a tangente à linha esqueleto e a distância desta ao centro de cisalhamento (c.c.), designada pela letra n .



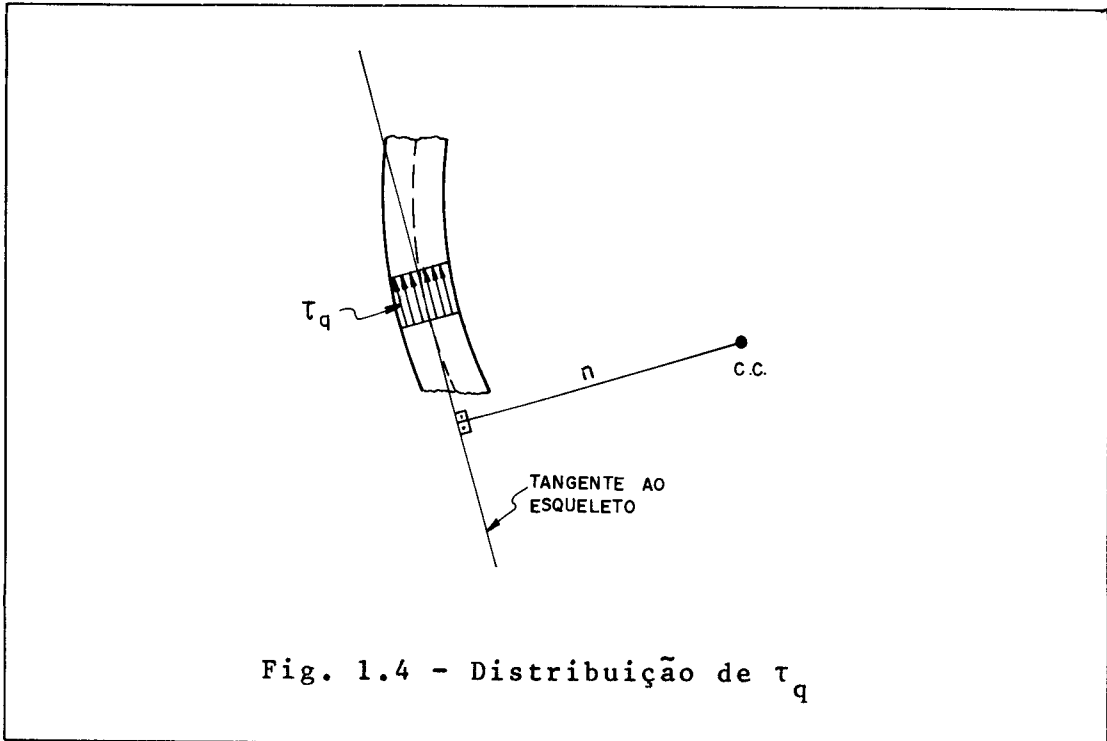
1.2.3 - Sobre a deformabilidade da secção transversal

A suposição básica de cálculo é que a secção transversal é indeformável em seu plano, portanto o seu deslocamento nesse plano será um deslocamento de corpo rígido. Assim na deformação por empenamento, a linha esqueleto mantém sua projeção no plano da secção transversal.

1.3 - Fórmulas para as coordenadas do centro de torção ou centro de cisalhamento

Centro de cisalhamento (c.c.) ou centro de torção é o ponto, pertencente ao plano da secção transversal, por onde deve passar a linha de ação das cargas transversais para que a peça estrutural fique submetida somente a esforços de flexão. Para determinar-se a posição do centro de cisa-

lhamento (c.c.) ou centro de torção, considerar-se-á que as tensões de cisalhamento provocadas pela força cortante τ_q se distribuem uniformemente na espessura e na direção da tangente à linha esqueleto da secção, ver figura 1.4.



Na figura 1.4 observa-se que a resultante das tensões de cisalhamento τ_q tem a direção da tangente ao esqueleto e terá um "braço de alavanca" igual a n em relação ao centro de cisalhamento (c.c.), sendo n a distância da tangente ao esqueleto ao centro de cisalhamento.

Considere-se a expressão das tensões de cisalhamento provenientes de esforço cortante:

$$\tau_q = \frac{Q M_s}{t J} \quad (1.1)$$

Em (1.1) Q é o esforço cortante, t a espessura da parede e momento estático M_s e momento de inércia J tomados em relação ao eixo apropriado.

Na figura 1.5 faz-se uma representação de um sistema de eixos XYZ, sendo X e Y eixos principais de inércia e Z um eixo longitudinal passando pelo centro de gravidade (c.g.) da secção.

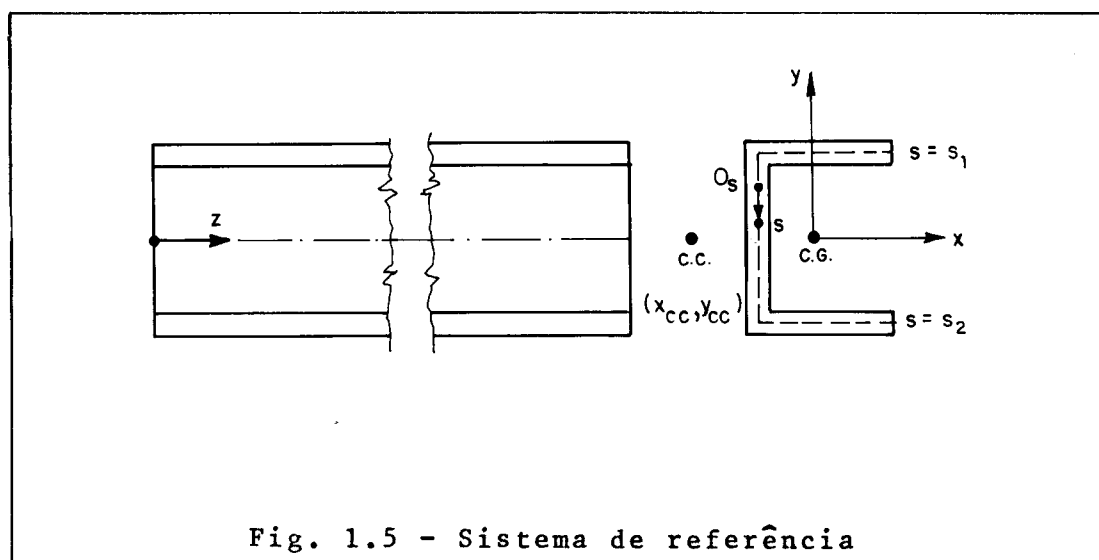


Fig. 1.5 - Sistema de referência

Na linha esqueleto é adotada uma ordenada s com origem O_s a ser estabelecida convenientemente. As extremidades do esqueleto têm, respectivamente, $s = s_1$ e $s = s_2$.

A espessura t pode variar com s e o elemento de área da secção é dado por:

$$dS = t \cdot ds \quad (1.2)$$

Seja suposto inicialmente um carregamento paralelo ao eixo Y. De (1.1) tem-se então:

$$Q = Q_y$$

$$J = J_x$$

$$M_s = \int_{s_1}^s y \, dS$$

A condição que fornece a posição do centro de cisalhamento (c.c.) é que a resultante dos momentos das tensões τ_q em relação ao centro de cisalhamento (c.c.) seja nula. Assim:

$$\int_{s_1}^{s_2} \tau_q dS n = 0 \quad (1.3)$$

Substituindo (1.1) e (1.2) em (1.3) tem-se:

$$\int_{s_1}^{s_2} \left(\int_{s_1}^s y dS \right) n ds = 0$$

Efetuada a integração por partes e lembrando que o momento estático é nulo nos pontos extremos da seção, obtém-se:

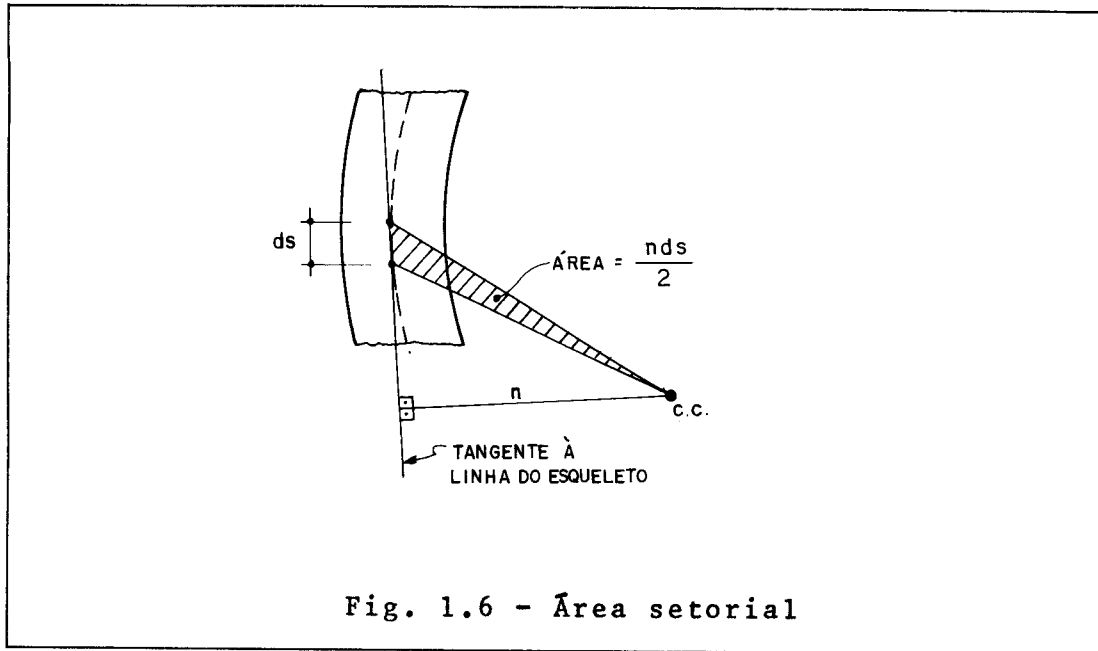
$$\int_{s_1}^{s_2} \left(\int_{s_1}^s n ds \right) y dS = 0 \quad (1.4)$$

Fazendo-se agora a mesma análise supondo um carregamento paralelo ao eixo X, de maneira análoga chega-se à seguinte condição para a posição do centro de cisalhamento:

$$\int_{s_1}^{s_2} \left(\int_{s_1}^s n ds \right) x dS = 0 \quad (1.5)$$

Será definida como área setorial a seguinte característica geométrica:

$$\omega = \int_{s_1}^s n ds \quad (1.6)$$



Na figura 1.6 tem-se que o elemento de área setorial $d\omega$ é o dobro da área do setor elementar com polo no centro de cisalhamento e que compreende o arco elementar ds . A área setorial ω é uma função da ordenada s .

Utilizando-se (1.6), as condições (1.4) e (1.5) para o centro de cisalhamento (c.c.) podem ser escritas como:

$$\int_s \omega y dS = 0$$
$$\int_s \omega x dS = 0$$

(1.7)

onde subentende-se que as integrais em (1.7) devem ser estendidas a toda a secção.

As condições em (1.7) independem da origem 0_s da coordenada s . De fato, a mudança de origem provocaria o acréscimo de uma constante na área setorial, a qual daria contribuição nula para as integrais de (1.7), por ser nulo o momento estático quando se considera a secção inteira. Tendo em vista facilitar as aplicações a seguir, escolhe-se a origem 0_s de maneira a satisfazer a condição:

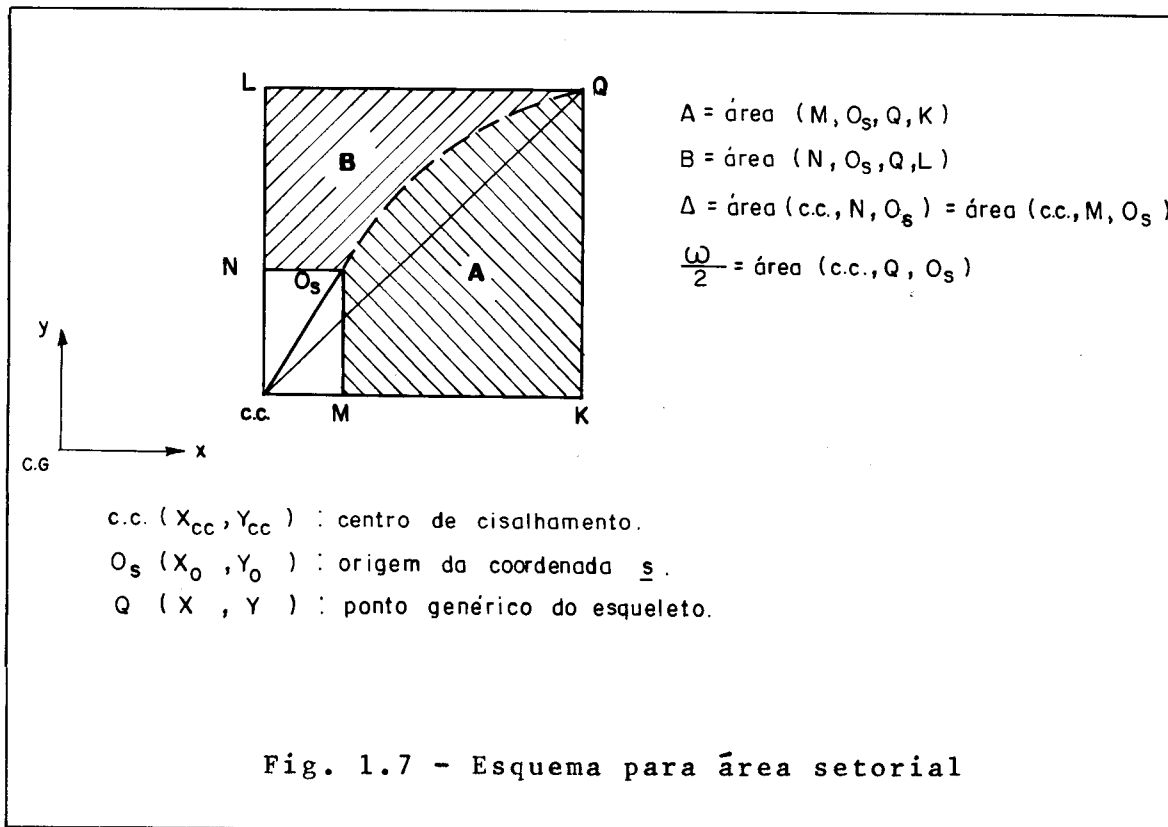
$$\int_S \omega \, dS = 0 \quad (1.8)$$

Caso se tenha a área setorial $\bar{\omega}$ com origem arbitrária e se queira a área setorial ω satisfazendo (1.8), faz-se como segue:

$$\omega = \bar{\omega} + C \quad (1.9)$$

Aplicando (1.8) em (1.9) encontra-se o valor de C:

$$C = \frac{-1}{S} \int_S \bar{\omega} \, dS \quad (1.10)$$



Na figura 1.7 faz-se uma esquematização gráfica para a interpretação da área setorial e, também, fornecem-se expressões explícitas das condições (1.7) para as coordenadas do centro de cisalhamento (x_{cc}, y_{cc}) .

Na figura 1.7 $Q(x,y)$ representa-se um ponto genérico do esqueleto e $O_s(x_0,y_0)$ é a origem da coordenada s . Pelos pontos c.c., O_s e Q são traçadas retas paralelas aos eixos principais de inércia X e Y . Sendo Δ a área do triângulo c.c., M,O_s (ou do c.c., N,O_s), tem-se que a área do quadrilátero c.c., K,Q,L é o dobro da área do triângulo c.c., Q,L , podendo-se escrever:

$$\bar{\text{área}} (\text{c.c.},K,Q,L) = 2 \bar{\text{área}} (\text{c.c.},Q,L)$$

$$A + B + 2\Delta = 2 \left(\frac{\omega}{2} + B + \Delta \right)$$

onde A e B são as áreas hachuradas da figura 1.7.

Da igualdade acima tira-se:

$$\omega = A - B \tag{1.11}$$

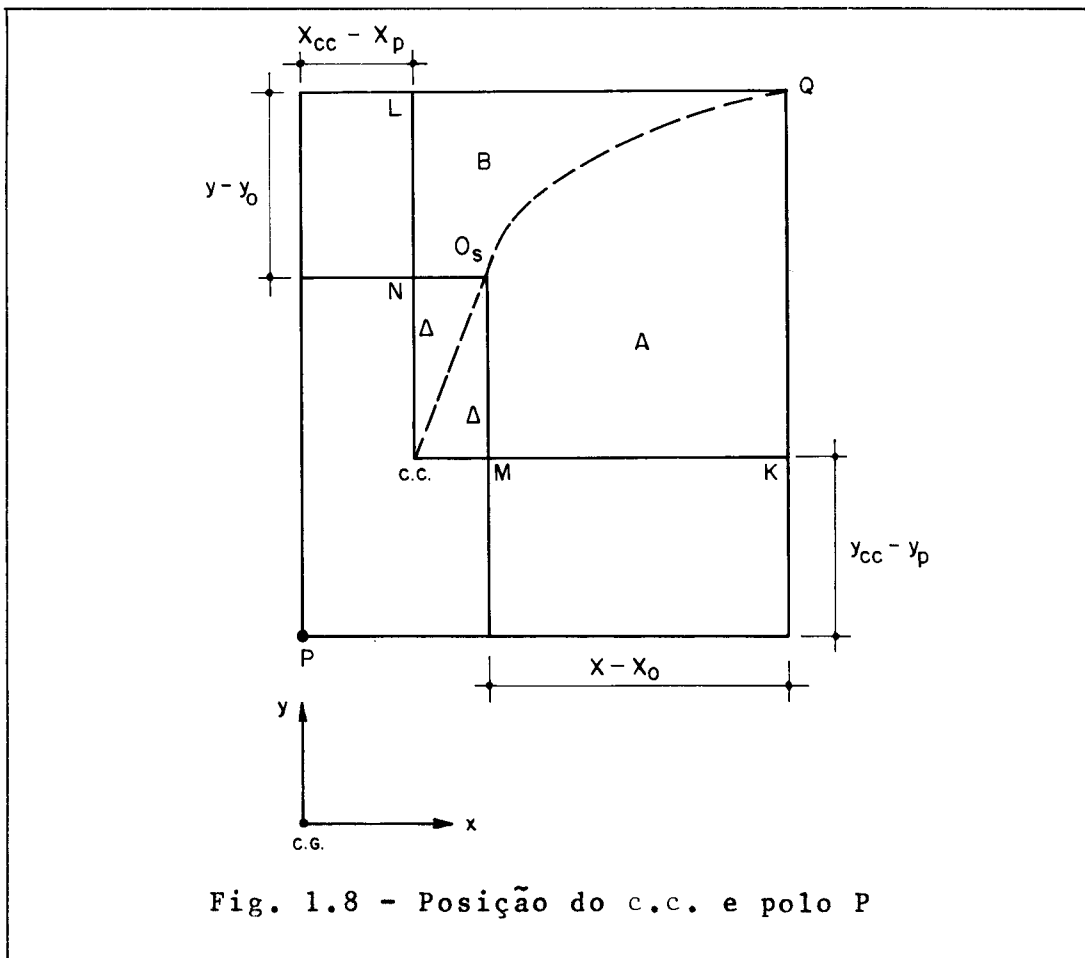


Fig. 1.8 - Posição do c.c. e polo P

Na figura 1.8 tem-se o centro de cisalhamento (c.c.), com coordenadas (x_{cc}, y_{cc}) , e é adotado um ponto $P(x_p, y_p)$, escolhido arbitrariamente, que servirá como polo provisório para a área setorial. Sendo ω_p a área setorial com polo provisório P e considerando a propriedade (1.11) da área setorial aplicada à esquematização da figura 1.8, pode-se escrever:

$$\omega_p = A + (x - x_o)(y_{cc} - y_p) - B - (y - y_o)(x_{cc} - x_p)$$

ou, ajustando os termos convenientemente e utilizando (1.11):

$$\omega = \omega_p + (y - y_o)(x_{cc} - x_p) - (x - x_o)(y_{cc} - y_p)$$

Substituindo esta expressão de ω nas integrais de (1.7), obtêm-se:

$$\int_S \omega y \, dS = \int_S \omega_p y \, dS + (x_{cc} - x_p) J_x = 0$$

e:

$$\int_S \omega x \, dS = \int_S \omega_p x \, dS - (y_{cc} - y_p) J_y = 0$$

onde estão sendo usadas as seguintes definições e propriedades:

$$\begin{aligned} \int_S y^2 \, dS &= J_x ; \int_S x^2 \, dS = J_y \quad \text{e} \quad \int_S y \, dS = \int_S x \, dS = \\ &= \int_S x y \, dS = 0 \end{aligned}$$

Resolvendo as expressões obtidas nas coordenadas x_{cc} e y_{cc} , obtêm-se as fórmulas para as coordenadas do centro de cisalhamento:

$$\begin{aligned}x_{cc} &= x_p - \frac{1}{J_x} \int_S \omega_p y \, dS \\ y_{cc} &= y_p + \frac{1}{J_y} \int_S \omega_p x \, dS\end{aligned}\tag{1.12}$$

1.4 - Torção pura de peças de secção aberta de paredes finas

1.4.1 - Introdução

No estudo da torção pura, ou livre, ou uniforme ou de SAINT-VENANT será suposto que o centro de cisalhamento, ou de torção, não se desloca durante a torção; assim o centro de torção é o centro de rotação no deslocamento de torção.

1.4.2 - Condições para a torção pura

Se uma peça tem secção constante em relação a seu eixo longitudinal (Z), se o momento de torção que solicita a peça é constante em relação a seu eixo longitudinal (Z) e se os vínculos extremos desta peça não impedem o deslocamento na direção longitudinal, tem-se o caso de TORÇÃO PURA.

Em resumo temos as seguintes condições:

- a) momento torçor M_t constante em Z
- b) secção constante em Z
- c) os vínculos não impedem deslocamentos em Z

Da Resistência dos Materiais, em seções delgadas tem-se que para a torção pura a tensão tangencial ($\tau_{t\ell}$) é dada por:

$$\tau_{t\ell} = \frac{M_{t\ell}}{J_t} t \quad (1.13)$$

A derivada do ângulo de giro (ϕ) é dada por:

$$\phi' = \frac{M_{t\ell}}{GJ_t} \quad (1.14)$$

Em (1.13) e (1.14) tem-se que $M_{t\ell}$ é o momento de torção livre, t é a espessura da parede, G é o módulo de elasticidade transversal ou de cisalhamento e J_t é o momento de inércia à torção dado como segue, por TIMOSHENKO(04):

No caso geral:
$$J_t = \frac{1}{3} \int_s t^3 ds$$

onde a integração se faz ao longo de toda a linha média ou linha esqueleto da secção transversal.

Se a secção transversal é formada por vários segmentos de espessuras diferentes, pode-se escrever:

$$J_t = \frac{1}{3} \sum_i m_i t_i^3$$

sendo m_i o comprimento da linha média para o segmento i da secção transversal, t_i a espessura e a somatória se estende a todos os segmentos da secção.

Para o caso mais particular onde a peça de secção aberta tem espessura constante t ao longo de toda a linha média, ou linha esqueleto, pode-se escrever como segue:

$$J_t = \frac{1}{3} m t^3$$

onde m é o comprimento da linha média da secção.

1.4.3 - Deslocamentos

Considerem-se agora os deslocamentos u na direção Z e v na direção de s .

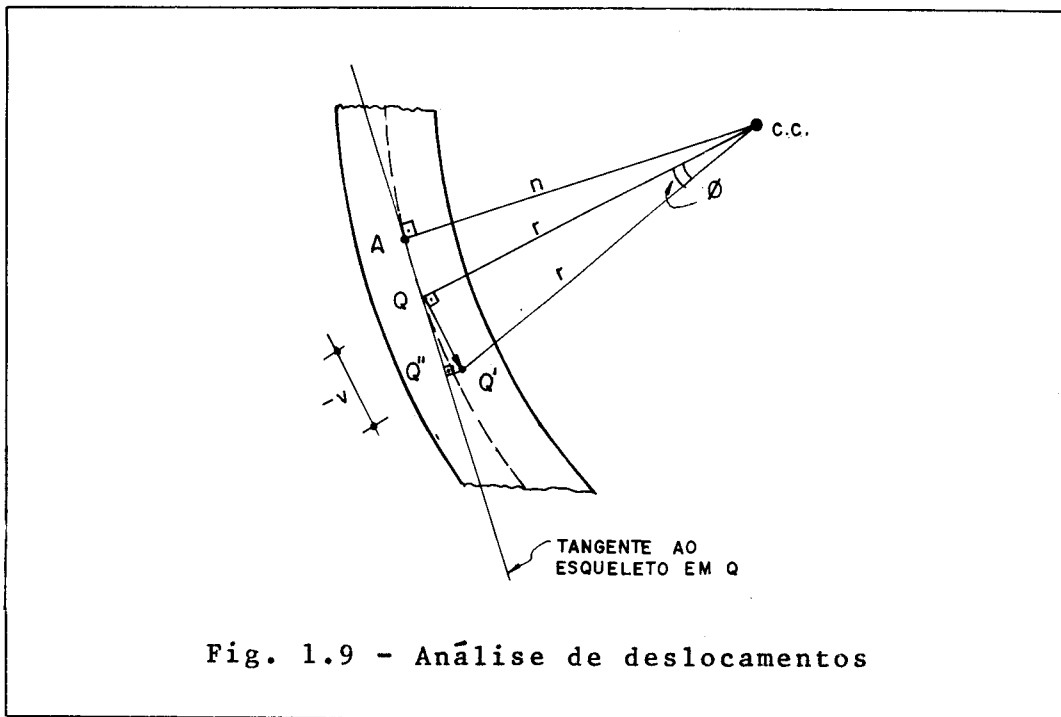


Fig. 1.9 - Análise de deslocamentos

Na figura 1.9, por RACHID (03), representa-se o deslocamento de um ponto genérico Q do esqueleto devido à rotação ϕ da secção em torno do centro de cisalhamento (c.c.). Este deslocamento $\overline{QQ'}$, para ângulos pequenos, é da do por:

$$\overline{QQ'} = r\phi$$

onde r é o comprimento do raio vetor que une o centro de cisalhamento com o ponto genérico Q do esqueleto.

Seja $\overline{QQ''}$ a projeção do deslocamento na direção da tangente ao esqueleto. Esta projeção $\overline{QQ''}$ é tomada negativa devido às hipóteses de convenção do ângulo de giro ϕ (positivo quando o giro é antihorário para um observador olhando no sentido positivo de Z) e da ordenada s (positi

va quando o raio vetor gira no sentido horário, para a posição mencionado do observador).

Da semelhança dos triângulos (c.c.,A,Q) e (Q,Q'',Q') tem-se:

$$\frac{\overline{QQ''}}{\overline{QQ'}} = \frac{\overline{c.c.A}}{\overline{c.c.Q}}$$

ou seja:

$$\frac{-v}{r\phi} = \frac{n}{r}$$

assim:

$$-v = n\phi$$

Derivando em relação a z, obtém-se:

$$v' = -n\phi' \quad (1.15)$$

Seja γ a distorção de um elemento ds.dz situado no esqueleto. Da teoria da elasticidade, por TIMOSHENKO(05), pode-se escrever:

$$\gamma = \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial z} \quad (1.16)$$

Como a tensão tangencial é suposta nula no esqueleto, pela lei de Hooke se conclui que a distorção γ também será nula.

Sabendo-se que a distorção γ é nula no esqueleto e utilizando (1.15) em (1.16), obtém-se:

$$\frac{\partial u}{\partial s} = n\phi' \quad (1.17)$$

Na torção pura o deslocamento longitudinal u é função só de s, $u = u(s)$, assim em (1.17) tem-se:

$$\frac{du}{ds} = n \phi'$$

Integrando a expressão acima desde a origem 0_s de s até o ponto genérico Q do esqueleto, obtém-se a expressão abaixo:

$$u = \phi' \int_{0_s}^Q n ds$$

Aplicando (1.6), obtém-se:

$$u = \omega \phi' \tag{1.18}$$

Os deslocamentos longitudinais u são convencionados positivos quando no sentido positivo do eixo longitudinal Z .

1.5 - Torção não uniforme de barras de secção aberta de paredes finas

1.5.1 - Introdução

No item anterior estudou-se o caso da torção pura ou uniforme, na qual é admitido que as seções transversais da barra são livres quanto ao deslocamento longitudinal, portanto não há vínculos que impeçam este deslocamento. No caso da torção não uniforme ou flexo-torção ocorre que algumas seções não são livres ao empenamento (deslocamento longitudinal) e o momento torçor pode variar ao longo do comprimento da barra.

1.5.2 - Hipóteses de cálculo

Considere-se somente as barras de secção constante em Z (eixo longitudinal), assim a ocorrência de flexo-torção ou torção não uniforme se dará nos casos em que o momento torçor variar ao longo do comprimento da barra ou quando houver vínculos que impeçam, parcial ou totalmente, os deslocamentos longitudinais. Em resumo tem-se as condições:

- a) impedimento parcial ou total dos deslocamentos longitudinais
- b) variação de momento torçor

Na torção não uniforme ou flexo-torção supõe-se válida a equação (1.18), sendo que a derivada da rotação (ϕ') não é constante como na torção pura.

1.5.3 - Tensão normal de flexo-torção

Sendo σ_z a tensão longitudinal e ξ_z a deformação longitudinal, utilizando-se a lei de Hooke pode-se escrever:

$$\sigma_z = E \xi_z \quad (1.19)$$

onde E é o módulo de elasticidade longitudinal.

Da teoria da elasticidade, por TIMOSHENKO (05), tem-se:

$$\xi_z = \frac{\partial u}{\partial z}$$

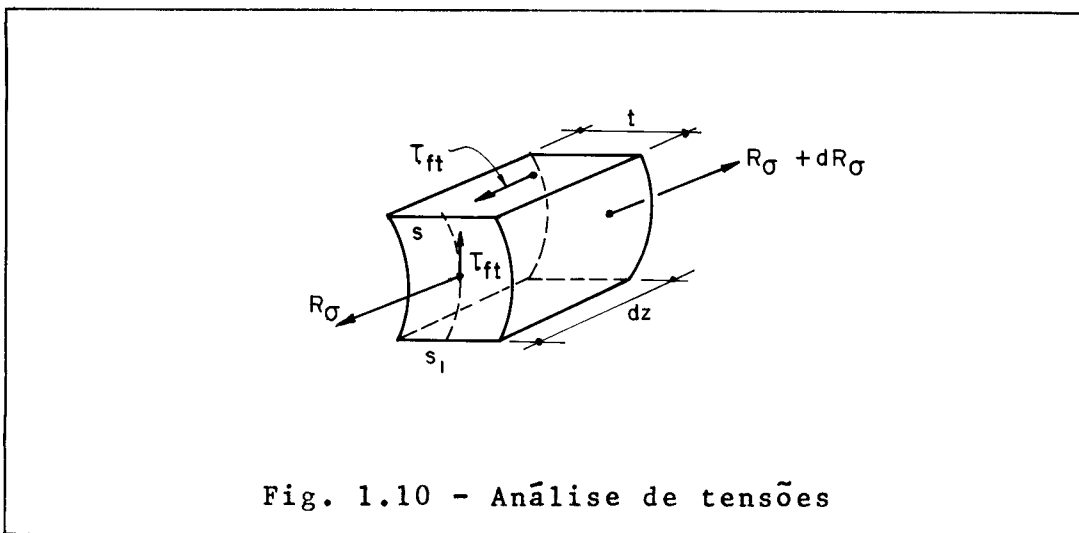
Substituindo em (1.19), encontra-se a tensão normal de flexo-torção:

$$\sigma_z = E \omega \phi'' \quad (1.20)$$

A equação (1.20) nos indica a proporcionalidade entre σ_z e ω e pode-se concluir por (1.7) e (1.8) que as tensões longitudinais não têm força nem momento resultantes na secção, sendo sua "resultante" um novo esforço solitante denominado BIMOMENTO.

1.5.4 - Tensão tangencial de flexo-torção (τ_{ft})

Considere-se o equilíbrio longitudinal do elemento de comprimento dz representado na figura 1.10



Conclui-se, pela variação da tensão axial, a existência de tensão tangencial em cortes longitudinais e pelo teorema CAUCHY também haverá tensão tangencial na secção transversal, como indicado na figura 1.10. Esta tensão tangencial é suposta uniforme na espessura e denomina-se tensão tangencial de flexo-torção, representada na figura 1.10 por τ_{ft} .

Na mesma figura 1.10 está representada a resultante das tensões σ_z por R_σ , dada por:

$$R_\sigma = \int_{s_1}^s \sigma_z \, dS \quad (1.21)$$

Substituindo-se (1.20) em (1.21), obtêm-se:

$$R_{\sigma} = E \phi'' \int_{s_1}^s \omega \, dS \quad (1.22)$$

Derivando em relação a z , tem-se:

$$\frac{dR_{\sigma}}{dz} = E \phi''' \int_{s_1}^s \omega \, dS \quad (1.23)$$

Do equilíbrio longitudinal do elemento representado na figura 1.10, obtêm-se:

$$\tau_{ft} \, t \, dz = dR_{\sigma} \quad (1.24)$$

De (1.23) e (1.24) encontra-se a expressão de τ_{ft} :

$$\tau_{ft} = \frac{E\phi'''}{t} \int_{s_1}^s \omega \, dS \quad (1.25)$$

Introduzindo, na expressão acima, a característica da secção transversal denominada de momento estático setorial (S_{ω}) definido como segue:

$$S_{\omega} = \int_{s_1}^s \omega \, dS \quad (1.26)$$

obtêm-se a expressão final para τ_{ft} :

$$\tau_{ft} = \frac{E\phi'''}{t} S_{\omega} \quad (1.27)$$

1.5.5 - Momento de flexo-torção (M_{ft})

Na análise da flexo-torção o momento torçor (M_t) será combatido pela soma de duas parcelas para o equilíbrio. A parcela referente ao momento de torção livre ou pura ($M_{t\ell}$) e a parcela referente ao momento de flexo-torção (M_{ft}). e

Assim pode-se escrever:

$$M_t = M_{t\ell} + M_{ft} \quad (1.28)$$

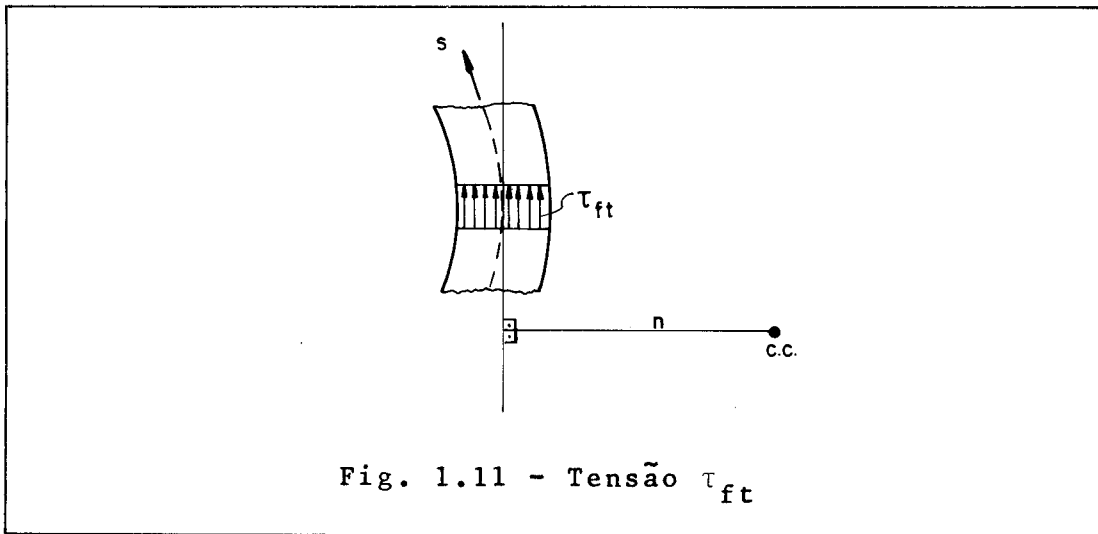


Fig. 1.11 - Tensão τ_{ft}

Utilizando a representação da figura 1.11, que indica as tensões τ_{ft} e a distância n ao centro de cisalhamento (c.c.), pode-se calcular o momento de flexo-torção (M_{ft}) como segue:

$$M_{ft} = \int_{s_1}^{s_2} \tau_{ft} dS n$$

Aplicando as equações (1.2) e (1.25) na expressão acima obtém-se:

$$M_{ft} = E \phi''' \int_{s_1}^{s_2} \left(\int_{s_1}^s \omega dS \right) n ds$$

Efetuada a integração por partes e utilizando-se das equações (1.6) e (1.8) obtém-se:

$$M_{ft} = - E \phi''' \int_{s_1}^{s_2} \omega^2 dS \quad (1.29)$$

Introduzindo em (1.29) a característica da seção transversal denominada momento setorial de inércia (J_ω) definido como:

$$J_\omega = \int_S \omega^2 dS \quad (1.30)$$

vem a expressão final para M_{ft} :

$$M_{ft} = - E J_\omega \phi''' \quad (1.31)$$

Substituindo (1.31) em (1.27), obtém-se:

$$\tau_{ft} = - \frac{M_{ft} \cdot S_\omega}{t \cdot J_\omega} \quad (1.32)$$

1.5.6 - Bimomento (B)

Define-se o bimomento como:

$$B = \int_S \sigma_z \omega dS \quad (1.33)$$

Utilizando-se da equação (1.20) em (1.33), tem-se:

$$B = E \phi'' \int_S \omega^2 dS$$

Usando (1.30) encontra-se:

$$B = E J_{\omega} \phi'' \quad (1.34)$$

Pela substituição de (1.34) em (1.20) obtém-se a expressão da tensão normal de flexo-torção em função do bi momento:

$$\sigma_z = \frac{B}{J_{\omega}} \omega \quad (1.35)$$

Derivando a equação (1.34) em relação a z e comparando com (1.31) encontra-se a relação entre M_{ft} e B:

$$M_{ft} = -B' \quad (1.36)$$

Substituindo (1.36) em (1.32), tem-se:

$$\tau_{ft} = \frac{B' \cdot S_{\omega}}{t \cdot J_{\omega}} \quad (1.37)$$

1.6 - Equação diferencial de flexo-torção

1.6.1 - Em função da rotação (ϕ)

Utilizando-se as equações (1.14) e (1.31) e substituindo-as em (1.28), obtém-se a equação diferencial de flexo-torção em função da rotação. Assim

$$E J_{\omega} \phi''' - G J_t \phi' = -M_t \quad (1.38)$$

1.6.2 - Em função do Bimomento (B)

Utilizando-se as equações (1.14) e (1.36) e substituindo-as em (1.28), obtém-se:

$$M_t = G J_t \phi' - B'$$

Derivando a expressão acima em relação a z, tem-se:

$$M_t' = G J_t \phi'' - B''$$

Utilizando (1.34) na expressão acima, tem-se:

$$M_t' = \frac{G J_t}{E J_\omega} B - B'' \quad (1.39)$$

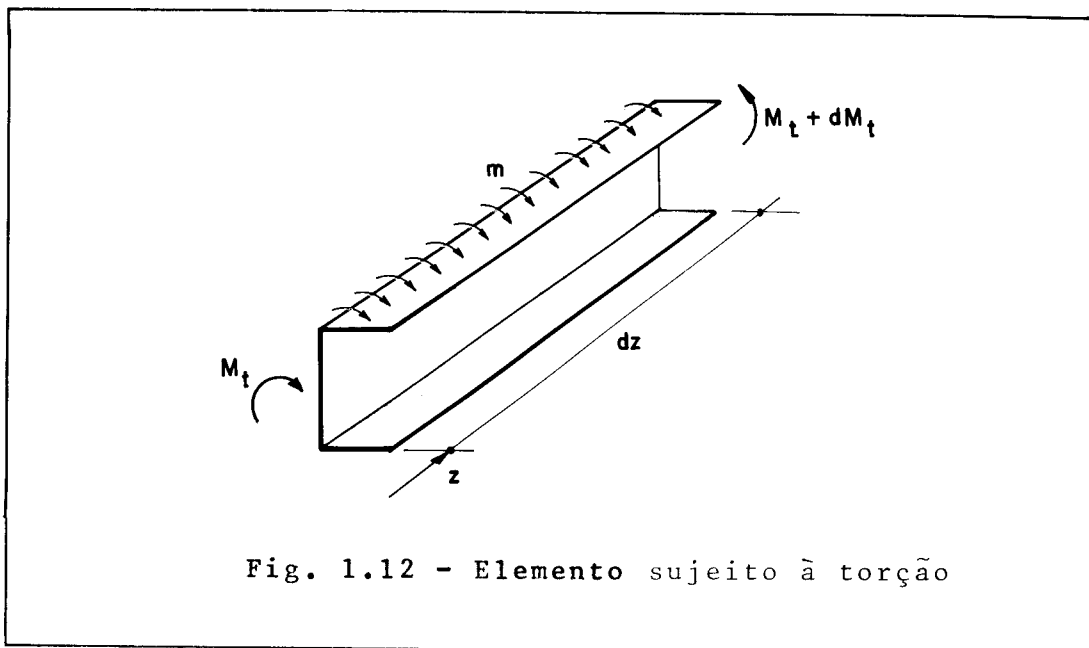


Fig. 1.12 - Elemento sujeito à torção

Na figura 1.12 faz-se a análise de um elemento de comprimento dz e representa-se na mesma os sentidos positivos das cargas torçoras M_t e m .

Da figura 1.12 obtém-se:

$$M_t + m dz = M_t + dM_t$$

ou, resolvendo-se:

$$\frac{dM_t}{dz} = m \quad (1.40)$$

Substituindo-se (1.40) em (1.39), obtém-se:

$$B'' - K^2 B = - m \quad (1.41)$$

com:

$$K^2 = \frac{G J_t}{E J_\omega}$$

Para o caso de m nulo, constante ou variando linearmente em z , a solução geral da equação diferencial (1.41) é dada por:

$$B = C_1 \sinh(K.z) + C_2 \cosh(K.z) + m_1$$

com:

$$m_1 = \frac{m}{K^2}$$

e:

C_1 e C_2 são constantes a determinar pelas condições de contorno.

Condições de contorno

a) Na extremidade livre

Se $\sigma_z = 0$, da equação (1.33) conclui-se:

$$B = 0$$

b) Na extremidade engastada

sendo o empenamento u (deslocamento longitudinal) nulo para qualquer ponto do esqueleto, da equação (1.18) conclui-se:

$$\phi' = 0$$

De (1.14) obtêm-se:

$$M_{t\ell} = 0$$

De (1.28) conclui-se:

$$M_t = - M_{ft}$$

De (1.36) tira-se:

$$B' = - M_t$$

c) Na extremidade com distribuição conhecida de tensões

Nesse caso se utiliza a equação (1.33) para a determinação de B.

d) Extremidade com cargas concentradas axiais

No caso em que sejam aplicadas cargas axiais P_i concentradas em pontos de área setorial ω_i , o bimomento será dado por:

$$B = \sum_i P_i \omega_i$$

PARTE II

ANÁLISE DA ESTRUTURA

Sistemas de Coordenadas e Matrizes de Rigidez

2.1 - Introdução

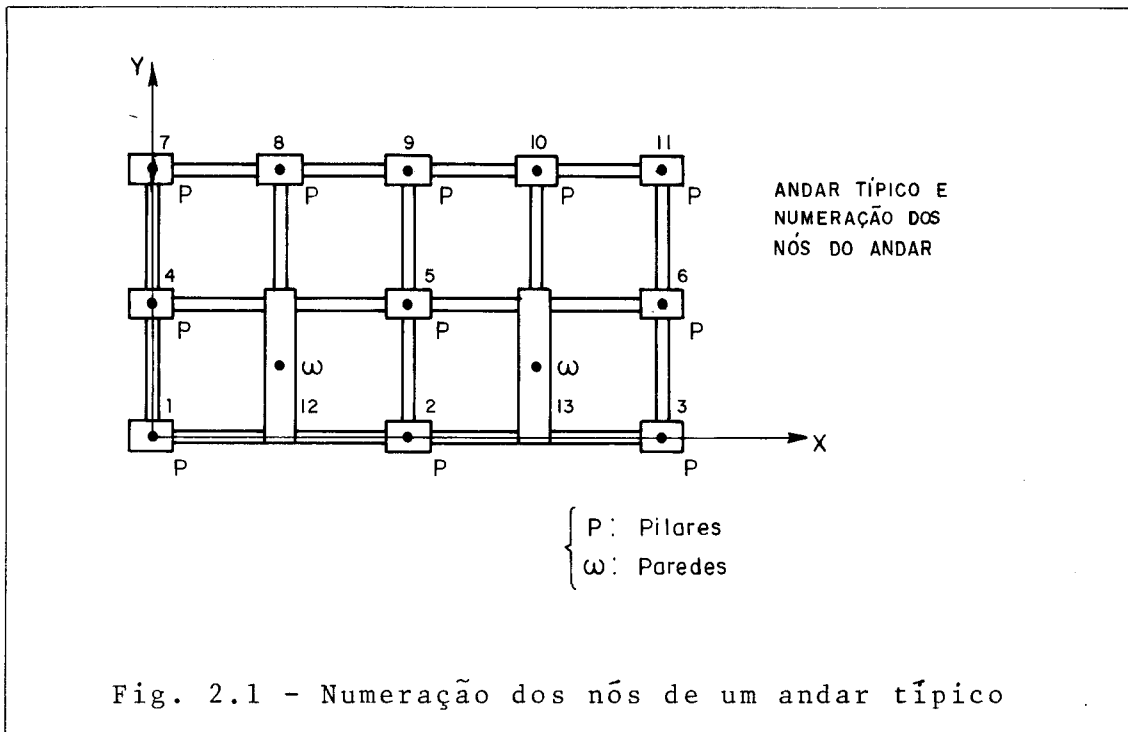
Os arranjos estruturais que são analisados neste trabalho são formados por pórticos espaciais retangulares e paredes estruturais, que podem ser associados na concepção da estrutura do edifício.

Na leitura dos dados do andar da estrutura caracterizam-se os NÓS, que são definidos como os pontos de interseção entre vigas e pilares ou um centro de cisalhamento de uma parede estrutural. Todas as coordenadas da estrutura serão definidas pelos NÓS da mesma.

2.2 - Numeração dos NÓS do andar

O sistema global de coordenadas será caracterizado por um sistema cartesiano de eixos globais OXYZ, perpendiculares entre si, sendo tomados de forma que o plano definido pelos eixos OXY contenha o andar do edifício, em planta, em seu primeiro quadrante ou quadrante definido pelos valores positivos de X e Y, o eixo OZ é um eixo normal ao plano definido pelos eixos OXY e definido a partir da base e ao longo da altura do edifício.

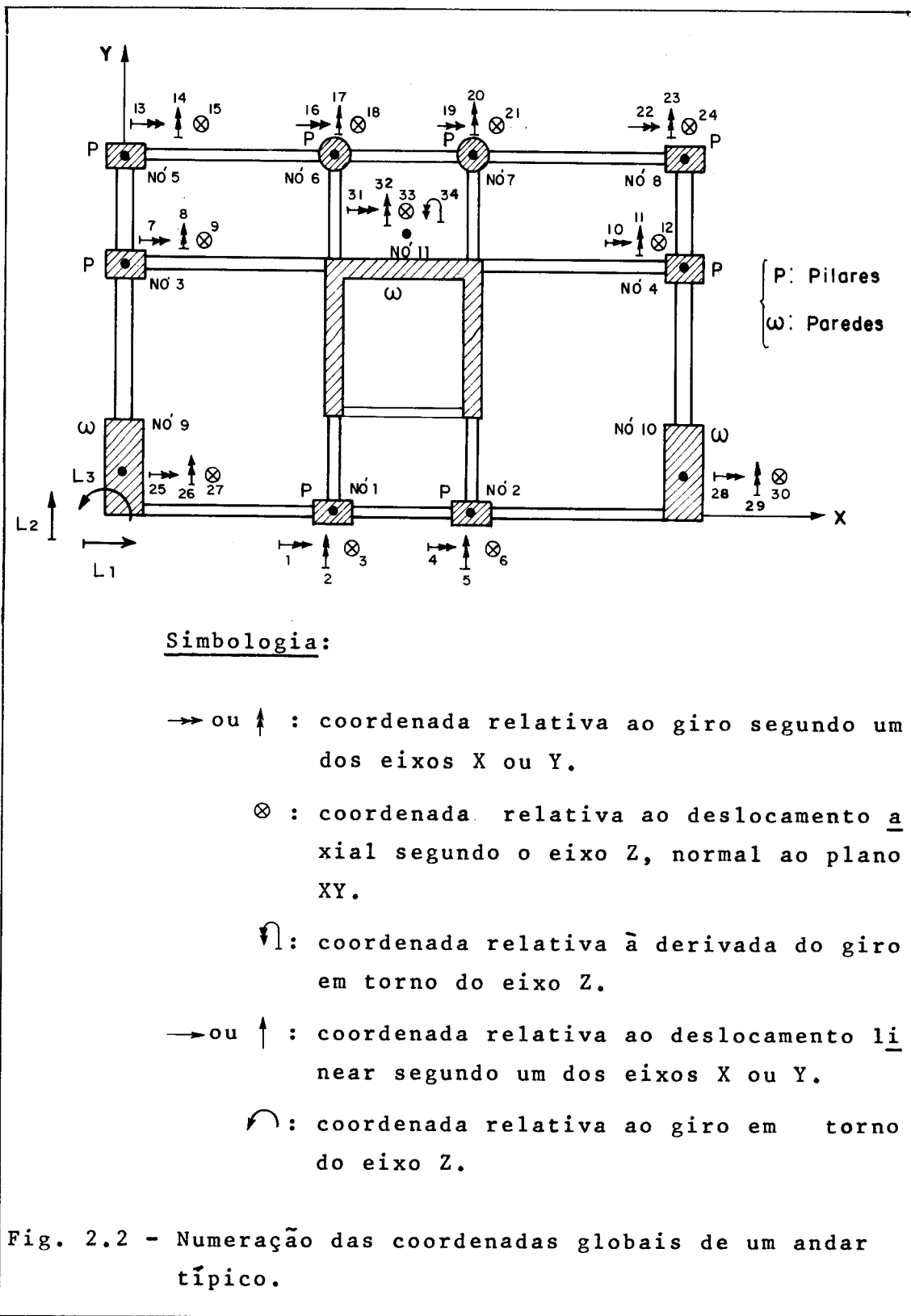
A partir do sistema de eixos globais OXYZ definem-se os NÓS do andar numerados, seqüencialmente, a partir da primeira prumada de pilares e segundo o semi-eixo OX, para em seguida numerarem-se os NÓS referentes a segunda prumada de pilares paralela ao semi-eixo OX e, por fim, após ter-se numerado os NÓS de todas as prumadas de pilares, numeram-se os NÓS relativos às paredes estruturais. Ver figura 2.1



2.3 - Sistema global de coordenadas-deslocamentos

No sistema global de coordenadas-deslocamentos são diferenciados os dois tipos de NÓS do andar pelo número de coordenadas definidos para os mesmos. Os NÓS característicos dos pilares têm 3 (três) coordenadas definidas no sistema global, que são as coordenadas relativas ao giro segundo os eixos globais X e Y e a coordenada relativa ao deslocamento axial segundo Z. Os NÓS característicos das paredes estruturais têm 4 (quatro) coordenadas definidas no sistema global, que são as coordenadas relativas ao giro segundo eixos globais X e Y, a coordenada relativa ao deslocamento axial em Z e a coordenada relativa à derivada do ângulo de giro em Z.

Para cada nível de andar são fixadas na origem do sistema global de eixos OXYZ as três coordenadas que definem o movimento de corpo rígido dos diafragmas dos andares, que são as coordenadas relativas aos deslocamentos que definem as translações segundo os eixos globais X e Y e a coordenada que define a rotação em torno do eixo Z. Ver figura 2.2



Na figura 2.2 vê-se que para os NÓS característicos dos pilares tem-se sempre 3 (três) coordenadas rela-

cionadas, respectivamente, com o giro segundo o eixo X, o giro segundo o eixo Y e a coordenada relativa ao deslocamento axial segundo o eixo Z. Observando-se ainda a figura 2.2 vê-se que os NÓS característicos das paredes estruturais, localizados nos seus respectivos centros de cisalhamento, são dotados de 4 (quatro) coordenadas relacionadas, respectivamente, com o giro segundo o eixo X, o giro segundo o eixo Y, a coordenada relativa ao deslocamento axial segundo o eixo Z e a coordenada relativa a derivada do giro em torno do eixo Z. Ainda na figura 2.2 tem-se as três coordenadas L1, L2 e L3, fixadas na origem do sistema de eixos, que correspondem aos deslocamentos livres ou de corpo rígido dos diafragmas ao nível dos andares. As coordenadas L1, L2 e L3 são numeradas independentemente das outras coordenadas que compõem o sistema de coordenadas globais do andar e recebem a numeração relativa, respectivamente, as coordenadas relacionadas com o deslocamento linear segundo o eixo X, deslocamento linear segundo o eixo Y e o giro que define a rotação em torno do eixo Z.

Na numeração do sistema global de coordenadas para o andar da figura 2.2 vê-se que para o NÓ 1 tem-se as coordenadas 1, 2 e 3, para o NÓ 2 tem-se as coordenadas 4, 5 e 6 e assim, seqüencialmente, para todos os NÓS característicos de pilares. Seja um NÓ genérico J característico de pilares relativo a um andar, assim as coordenadas correspondentes são, respectivamente, expressas por $3J-2$, $3J-1$ e $3J$. Sendo NCNO o número cumulativo de nós ou o número total de nós característicos de pilares, tem-se que o número total de coordenadas globais relativas aos nós característicos de pilares será dado pela expressão $3.NCNO$.

Para a numeração das coordenadas globais relativas às paredes estruturais, tem-se que a primeira parede, na convenção de leitura do andar, terá 4 (quatro) coordenadas com numeração posterior às dos nós característicos de

pilares, cujo número de coordenadas é dado por 3.NCNO. No andar típico representado na figura 2.2 vê-se que a primeira parede na leitura do andar é lida com o n.º de número 9(nove) e com coordenadas 25, 26, 27 e 28, assim tem-se que essas coordenadas podem ser escritas na forma 3.8+1, 3.8+2, 3.8+3 e 3.8+4 ou, de forma genérica, sob a forma 3.NCNO+1, 3.NCNO+2, 3.NCNO+3 e 3.NCNO+4. Para a segunda parede, na convenção de leitura do andar, tem-se o n.º de número 10(dez) e com coordenadas 29, 30, 31 e 32 ou 3.8+5, 3.8+6, 3.8+7 e 3.8+8 ou ainda, de forma genérica, sob a forma 3.NCNO+5, 3.NCNO+6, 3.NCNO+7 e 3.NCNO+8. Para uma parede genérica lida com número $N\omega$, número da parede, tem-se que as coordenadas correspondentes são dadas, respectivamente, pelas expressões 3.NCNO+4. $N\omega$ -3, 3.NCNO+4. $N\omega$ -2, 3.NCNO+4. $N\omega$ -1 e 3.NCNO+4. $N\omega$.

Em resumo pode-se escrever:

N.º J RELATIVO À PILARES

COORDENADA	EXPRESSÃO
giro segundo eixo X	3.J-2
giro segundo eixo Y	3.J-1
deslocamento axial Z	3.J

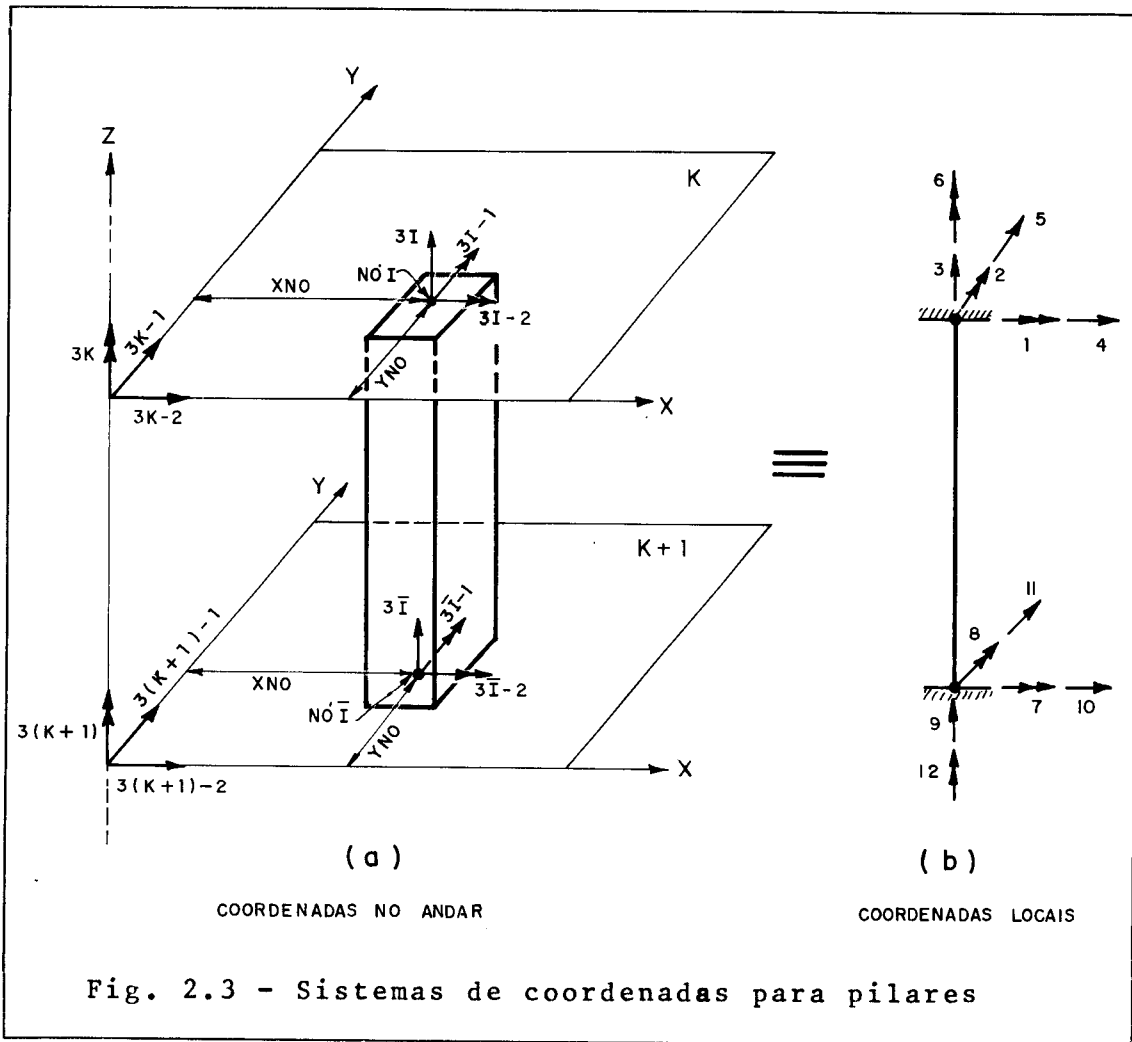
N.º RELATIVO À PAREDE $N\omega$

COORDENADA	EXPRESSÃO
giro segundo eixo X	3.NCNO+4. $N\omega$ -3
giro segundo eixo Y	3.NCNO+4. $N\omega$ -2
deslocamento axial Z	3.NCNO+4. $N\omega$ -1
derivada do giro segundo Z	3.NCNO+4. $N\omega$

Para as três coordenadas que definem o movimento de corpo rígido dos diafragmas ao nível dos andares L1, L2 e L3, o sistema de numeração é independente do sistema de coordenadas do andar e são definidas seqüencialmente para cada andar. A partir do andar do topo tem-se L1, L2 e L3 iguais, respectivamente, a 1, 2 e 3, para o andar imediatamente inferior tem-se L1, L2 e L3 iguais, respectivamente, a 4, 5 e 6 e assim sucessivamente até o último andar dessa seqüência ou o andar que define o primeiro diafragma acima da base da estrutura do edifício. Para um andar genérico K, numerado a partir do andar do topo, tem-se as coordenadas L1, L2 e L3 definidas, respectivamente, pelas expressões 3.K-2, 3.K-1 e 3.K.

2.4 - Matriz de rigidez dos pilares

Considere-se um elemento de pilar seccionado por dois planos, paralelos entre si, que correspondem a dois diafragmas consecutivos ou dois níveis consecutivos de andares, conforme figura 2.3. É mostrada também a forma simplificada de representação do pilar.



Para o sistema de coordenadas locais representadas na figura 2.3 (b), obtêm-se, por WEAVER & GERE (06), a seguinte matriz de rigidez:

$$\begin{matrix}
 i \\
 \downarrow \\
 1 \\
 2 \\
 3 \\
 4 \\
 5 \\
 6 \\
 7 \\
 8 \\
 9 \\
 10 \\
 11 \\
 12
 \end{matrix}
 \left[\begin{array}{cccccccccccc}
 4E \cdot IPX/H & & & & & & & & & & & & & \\
 & 4E \cdot IPY/H & & & & & & & & & & & & \\
 & & 0 & & & & & & & & & & & \\
 & & & 0 & & & & & & & & & & \\
 & & & & -6E \cdot IPY/H^2 & 0 & 12E \cdot IPY/H^3 & & & & & & & \\
 & & & & & 6E \cdot IPX/H^2 & 0 & 0 & 12E \cdot IPX/H^3 & & & & & \\
 & & & & & & 0 & 0 & 0 & G \cdot ITP/H & & & & \\
 & & & & & & & 2E \cdot IPX/H & 0 & 0 & 0 & 6E \cdot IPX/H^2 & 0 & 4E \cdot IPX/H \\
 & & & & & & & & 0 & 2E \cdot IPY/H & 0 & -6E \cdot IPY/H^2 & 0 & 0 & 4E \cdot IPY/H \\
 & & & & & & & & & & 0 & -E \cdot AP/H & 0 & 0 & 0 & E \cdot AP/H \\
 & & & & & & & & & & & -6E \cdot IPY/H^2 & 0 & -12E \cdot IPY/H^3 & 0 & 6E \cdot IPY/H^2 & 0 & 12E \cdot IPY/H^3 \\
 & & & & & & & & & & & & -6E \cdot IPX/H^2 & 0 & -12E \cdot IPX/H^3 & 0 & -6E \cdot IPX/H^2 & 0 & 12E \cdot IPX/H^3 \\
 & & & & & & & & & & & & & & & & & -G \cdot ITP/H & 0 & 0 & 0 & 0 & G \cdot ITP/H
 \end{array} \right]$$

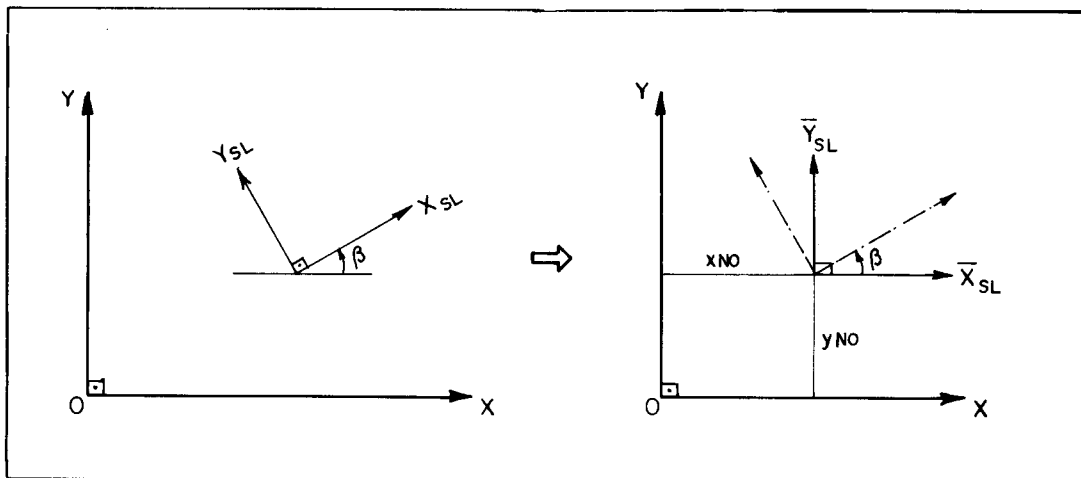
SIMÉTRICA

$$\left[RP \right] = \begin{matrix}
 j \rightarrow 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12
 \end{matrix}$$

Onde foram adotadas as seguintes notações para a matriz [RP]:

- E - módulo de elasticidade longitudinal
- G - módulo de elasticidade transversal
- H - altura dos pilares ou equivalente \tilde{h} do andar
- IPX - inércia \tilde{I} à flexão dos pilares em relação ao eixo X
- IPY - inércia \tilde{I} à flexão dos pilares em relação ao eixo Y
- ITP - inércia \tilde{I} à torção dos pilares
- AP - área da secção dos pilares

Considere-se agora a transformação da matriz de rigidez para o sistema global da estrutura:



onde:

β = ângulo entre os eixos local e global (X_{SL} e X).

Assim, tem-se para a rotação dos eixos

$$\{D_{sl}\} = [TP_i] \{\bar{D}_{sl}\} \quad (2.1)$$

onde na equação matricial (2.1) tem-se:

$\{ D_{sl} \}$ - vetor deslocamentos relacionado com o sistema local.

$\{ \overline{D}_{sl} \}$ - vetor deslocamentos em um sistema de eixos paralelos aos do sistema global.

$[TP_i]$ - matriz de transformação relativa à rotação dos eixos.

$$[TP_i] = \begin{bmatrix} [\overline{TP}_i] & [0] \\ [0] & [\overline{TP}_i] \end{bmatrix}$$

onde:

$$[\overline{TP}_i] = \begin{matrix} \theta_x & \theta_y & \delta_z & \delta_x & \delta_y & \phi_z \\ \left[\begin{array}{cccccc} \cos\beta & \text{sen}\beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\text{sen}\beta & \cos\beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\beta & \text{sen}\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\text{sen}\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \end{matrix}$$

Na equação (2.2) tem-se a matriz de rigidez de pilares em um sistema de eixos paralelos aos eixos globais:

$$[RP_i] = [TP_i]^t [RP_\ell] [TP_i] \quad (2.2)$$

onde em (2.2) tem-se:

$[RP_i]$ - matriz de rigidez dos pilares em um sistema de eixos paralelos aos do sistema global.

$[RP_\ell]$ - matriz de rigidez dos pilares no sistema de eixos local.

Procedendo agora a uma translação do sistema de eixos:

$$\{\overline{D}_{s\ell}\} = [TP_{ii}]\{D\} \quad (2.3)$$

onde na equação matricial (2.3) tem-se:

$\{\overline{D}_{s\ell}\}$ - vetor deslocamentos relacionado com o sistema local, após a rotação.

$\{D\}$ - vetor deslocamentos relacionado com o sistema global.

$[TP_{ii}]$ - matriz de transformação relativa à mudança para o sistema global.

$$[TP_{ii}] = \begin{bmatrix} [\overline{TP}_{ii}] & [0] \\ [0] & [TP_{ii}] \end{bmatrix}$$

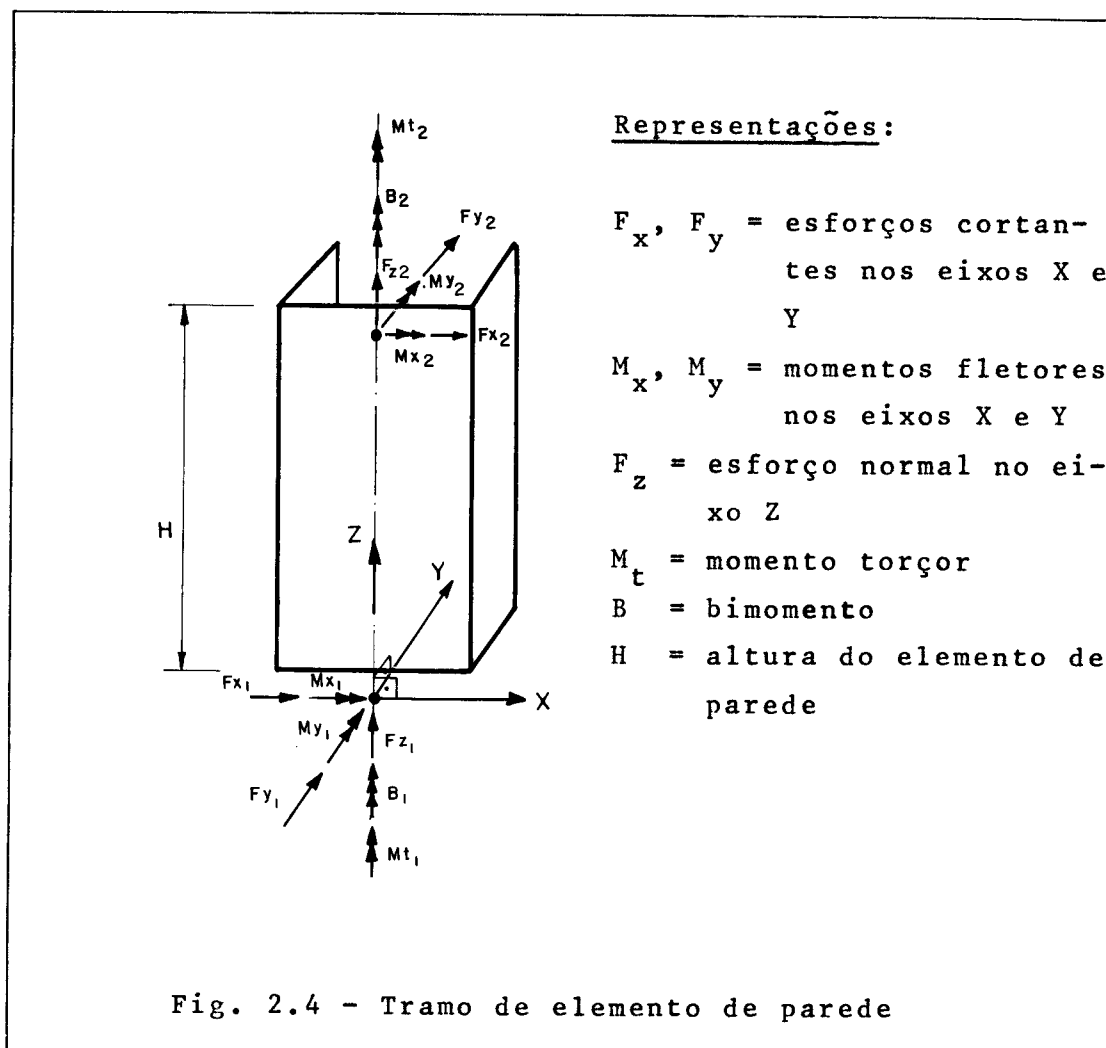
$$[\overline{TP}_{ii}] = \begin{matrix} \theta_x & \theta_y & \delta_z & \delta_x & \delta_y & \phi_z \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -YNO \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & XNO \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Em (2.4) tem-se a matriz de rigidez de pilares para o sistema global:

$$[R^{P_{ii}}] = [T^{P_{ii}}]^T [R^P_i] [T^{P_{ii}}] \quad (2.4)$$

2.5 - Matriz de rigidez de parede de secção aberta

Considere-se um elemento de parede compreendido entre dois andares consecutivos representado na figura 2.4, conforme BARBOSA (07).



Para uma extremidade genérica i, tem-se:

$$\{F_i\} = \begin{Bmatrix} M_{xi} \\ M_{yi} \\ F_{zi} \\ B_i \\ F_{xi} \\ F_{yi} \\ M_{ti} \end{Bmatrix} ; \quad \{D_i\} = \begin{Bmatrix} \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ \delta_{zi} \\ \phi'_{zi} \\ \delta_{xi} \\ \delta_{yi} \\ \phi_{zi} \end{Bmatrix}$$

VETOR DAS FORÇAS

VETOR DOS DESLOCAMENTOS

Sendo i o centro de cisalhamento da parede e X e Y eixos paralelos aos eixos principais de inércia.

2.5.1 - Contribuição dos termos de torção

Considere-se a equação diferencial de flexo-torção (1.36), desenvolvida na PARTE I, definida em função da rotação (ϕ_z):

$$G J_t \phi'_z - E J_\omega \phi''_z = M_t$$

ou, derivando-se em relação a z e utilizando-se a equação (1.38) tem-se:

$$G J_t \phi''_z - E J_\omega \phi'''_z = m \quad (2.5)$$

Para cargas concentradas ao nível dos pisos, tem-se $m = 0$ e conseqüentemente:

$$\phi_z = C_1 + C_2 \cdot z + C_3 \cdot \cosh(Kz) + C_4 \cdot \sinh(Kz) \quad (2.6)$$

onde:

$$K = \sqrt{G \cdot J_t / E \cdot J_\omega}$$

Para a determinação das constantes C_1 , C_2 , C_3 e C_4 aplicam-se as condições de contorno:

para $z = 0$, tem-se:

$$\phi_z = \phi_1$$

$$\phi'_z = \phi'_1$$

$$E J_\omega \phi''_z = B_1$$

$$G J_t \phi'_z - E J_\omega \phi'''_z = M_{t1}$$

Aplicando as condições de contorno em (2.6), vem:

$$\phi_1 = C_1 + C_3$$

$$\phi'_1 = C_2 + K C_4$$

$$E J_\omega \phi''_1 = E J_\omega K^2 C_3 = B_1 \quad \therefore \quad C_3 = B_1 / G J_t$$

$$G J_t (C_2 + K C_4) - E J_\omega (K^3 C_4) = M_{t1}$$

de onde se tira também:

$$C_1 = \phi_1 - B_1 / J_t \quad ;$$

$$C_2 = M_{t1} / G J_t \quad e$$

$$C_4 = \phi'_1 / K - M_{t1} / K G J_t$$

Substituindo-se os valores de C_1 , C_2 , C_3 e C_4 na equação (2.6), tem-se:

$$\phi_z = \phi_1 - \frac{B_1}{GJ_t} + \frac{M_{t1}}{GJ_t} z + \frac{B_1}{GJ_t} \cosh(Kz) + \left(\frac{\phi_1'}{K} - \frac{M_{t1}}{KGJ_t} \right) \sinh(Kz)$$

ou:

$$\phi_z = \phi_1 + \frac{\phi_1'}{K} \sinh(Kz) + \frac{B_1}{GJ_t} (\cosh(Kz) - 1) + \frac{M_{t1}}{KGJ_t} (Kz - \sinh(Kz))$$

$$\phi_z' = \phi_1' \cosh(Kz) + \frac{B_1 K}{GJ_t} \sinh(Kz) + \frac{M_{t1}}{GJ_t} (1 - \cosh(Kz))$$

$$\phi_z'' = K \phi_1' \sinh(Kz) + \frac{K^2 B_1}{GJ_t} \cosh(Kz) - \frac{M_{t1} K}{GJ_t} \sinh(Kz)$$

$$B_z = \frac{\phi_1' GJ_t}{K} \sinh(Kz) + B_1 \cosh(Kz) - \frac{M_{t1}}{K} \sinh(Kz)$$

$$\phi_z''' = K^2 \phi_1' \cosh(Kz) + \frac{K^3 B_1}{GJ_t} \sinh(Kz) - \frac{K^2 M_{t1}}{GJ_t} \cosh(Kz)$$

$$M_{tz} = GJ_t \phi_z' - EJ_\omega \phi_z''' \rightarrow M_{tz} = M_{t1}$$

Equacionando em forma matricial, tem-se:

$$\begin{Bmatrix} \phi_z \\ \phi_z' \\ B_z \\ M_{tz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sinh(Kz)}{K} & \frac{\cosh(Kz)-1}{GJ_t} & \frac{Kz-\sinh(Kz)}{KGJ_t} \\ 0 & \cosh(Kz) & \frac{K\sinh(Kz)}{GJ_t} & \frac{1-\cosh(Kz)}{GJ_t} \\ 0 & \frac{GJ_t \sinh(Kz)}{K} & \cosh(Kz) & \frac{-\sinh(Kz)}{K} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_1' \\ B_1 \\ M_{t1} \end{Bmatrix}$$

Para a extremidade (2) tem-se $z = H$ e, ainda, utilizando-se a notação simplificada SH e CH para, respectivamente, $\sinh(KH)$ e $\cosh(KH)$, vem:

$$\begin{Bmatrix} \phi_2 \\ \phi_2' \\ B_2 \\ M_{t2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{SH}{K} & \frac{CH-1}{GJ_t} & \frac{KH-SH}{KGJ_t} \\ 0 & CH & \frac{KSH}{GJ_t} & \frac{1-CH}{GJ_t} \\ 0 & \frac{GJ_t SH}{K} & CH & \frac{-SH}{K} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_1' \\ B_1 \\ M_{t1} \end{Bmatrix}$$

Observando-se as convenções adotadas para a teoria de flexo-torção (ft) desenvolvida na PARTE I e confrontando-as com convenções de sinais estabelecidas para o elemento de parede, tem-se:

ESFORÇOS	DESLOCAMENTOS
$M_{t1}^{ft} = M_{t1}$	$\phi_1^{ft} = -\phi_1$
$B_1^{ft} = B_1$	$\phi_2^{ft} = -\phi_2$
$M_{t2}^{ft} = -M_{t2}$	$\phi_1'^{ft} = -\phi_1'$
$B_2^{ft} = -B_2$	$\phi_2'^{ft} = -\phi_2'$

Assim, tem-se:

$$\begin{Bmatrix} -\phi_2 \\ -\phi_2' \\ -B_2 \\ -M_{t2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{SH}{K} & \frac{CH-1}{GJ_t} & \frac{KH-SH}{KGJ_t} \\ 0 & CH & \frac{KSH}{GJ_t} & \frac{1-CH}{GJ_t} \\ 0 & \frac{GJ_t SH}{K} & CH & \frac{-SH}{K} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\phi_1 \\ -\phi_1' \\ B_1 \\ M_{t1} \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

Para se ter a contribuição dos termos de torção à matriz de rigidez da estrutura, tem-se quatro casos em (2.7):

$$(a) \phi_1 = 1 \quad e \quad \phi_1' = \phi_2 = \phi_2' = 0$$

$$0 = -1 + \left(\frac{CH-1}{GJ_t}\right)B_1 + \left(\frac{KH-SH}{KGJ_t}\right)M_{t1}$$

$$0 = \left(\frac{KSH}{GJ_t}\right)B_1 + \left(\frac{1-CH}{GJ_t}\right)M_{t1} \quad \therefore \quad B_1 = -\left(\frac{1-CH}{KSH}\right)M_{t1}$$

$$-B_2 = (CH)B_1 - \left(\frac{SH}{K}\right)M_{t1}$$

$$-M_{t2} = M_{t1}$$

Resolvendo-se tem:

$$M_{t1} = \frac{KGJ_t SH}{2-2CH+KSH} ; \quad B_1 = (CH-1) \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH} ;$$

$$M_{t2} = -\frac{KGJ_t SH}{2-2CH+KSH} \quad e \quad B_2 = (CH-1) \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH}$$

ou ainda:

$$M_{t1} = \gamma KSH$$

$$M_{t2} = -\gamma KSH$$

$$B_1 = (CH-1)\gamma$$

$$B_2 = (CH-1)\gamma$$

onde:

$$\gamma = \frac{GJ_t}{2-2CH+KHS}$$

$$(b) \phi_1' = 1 \quad e \quad \phi_1 = \phi_2 = \phi_2' = 0$$

$$0 = -\frac{SH}{K} + \left(\frac{CH-1}{GJ_t}\right)B_1 + \left(\frac{KH-SH}{KGJ_t}\right)M_{t1}$$

$$0 = -CH + \left(\frac{KSH}{GJ_t}\right)B_1 + \left(\frac{1-CH}{GJ_t}\right)M_{t1}$$

$$-B_2 = -\frac{GJ_t SH}{K} + CHB_1 - \frac{SH}{K} M_{t1}$$

$$-M_{t2} = M_{t1}$$

Resolvendo-se tem:

$$M_{t1} = (CH-1) \frac{GJ_t}{2-2CH+KHS} ; B_1 = \left(HCH - \frac{SH}{K}\right) \frac{GJ_t}{2-2CH+KHS}$$

$$M_{t2} = -(CH-1) \frac{GJ_t}{2-2CH+KHS} \quad e \quad B_2 = \left(\frac{SH}{K} - H\right) \frac{GJ_t}{2-2CH+KHS}$$

ou ainda:

$$M_{t1} = \gamma(CH-1)$$

$$M_{t2} = -\gamma(CH-1)$$

$$B_1 = (HCH - \frac{SH}{K})\gamma$$

$$B_2 = (\frac{SH}{K} - H)\gamma$$

onde:

$$\gamma = \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH}$$

$$(c) \phi_2 = 1 \quad e \quad \phi_1 = \phi_1' = \phi_2' = 0$$

$$-1 = (\frac{CH-1}{GJ_t})B_1 + (\frac{KH-SH}{KGJ_t})M_{t1}$$

$$0 = (\frac{KSH}{GJ_t})B_1 + (\frac{1-CH}{GJ_t})M_{t1}$$

$$-B_2 = (CH)B_1 - (\frac{SH}{K})M_{t1}$$

$$-M_{t2} = M_{t1}$$

Resolvendo-se tem:

$$M_{t1} = -(KSH)\frac{GJ_t}{2-2CH+KSH} \quad ; \quad B_1 = -(CH-1)\frac{GJ_t}{2-2CH+KSH} \quad ;$$

$$M_{t2} = (KSH)\frac{GJ_t}{2-2CH+KSH} \quad e \quad B_2 = -(CH-1)\frac{GJ_t}{2-2CH+KSH}$$

ou ainda:

$$M_{t1} = - \gamma KSH$$

$$M_{t2} = \gamma KSH$$

$$B_1 = - (CH-1)\gamma$$

$$B_2 = - (CH-1)\gamma$$

onde:

$$\gamma = \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH}$$

$$(d) \phi_2' = 1 \quad e \quad \phi_1 = \phi_1' = \phi_2 = 0$$

$$0 = \left(\frac{CH-1}{GJ_t}\right) B_1 + \left(\frac{KH-SH}{KGJ_t}\right) M_{t1}$$

$$-1 = \left(\frac{KSH}{GJ_t}\right) B_1 + \left(\frac{1-CH}{GJ_t}\right) M_{t1}$$

$$-B_2 = (CH)B_1 - \left(\frac{SH}{K}\right) M_{t1}$$

$$-M_{t2} = M_{t1}$$

Resolvendo-se tem:

$$M_{t1} = (CH-1) \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH} ; B_1 = \left(\frac{SH}{K} - H\right) \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH} ;$$

$$M_{t2} = - (CH-1) \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH} \quad e \quad B_2 = \left(HCH - \frac{SH}{K}\right) \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH}$$

ou ainda:

$$M_{t1} = \gamma(CH-1)$$

$$M_{t2} = -\gamma(CH-1)$$

$$B_1 = \left(\frac{SH}{K} - H\right)\gamma$$

$$B_2 = \left(HCH - \frac{SH}{K}\right)\gamma$$

onde:

$$\gamma = \frac{GJ_t}{2-2CH+KSH}$$

Portanto se tem a contribuição dos termos de torção à matriz de rigidez da parede estrutural de secção aberta e que podem ser escritos sob a forma da sub-matriz:

$$\left[R_{\omega_t} \right] = \gamma \begin{bmatrix} \phi_1 & \phi_1' & \phi_2 & \phi_2' \\ K.SH & CH-1 & -KSH & CH-1 \\ CH-1 & HCH - \frac{SH}{K} & -(CH-1) & \frac{SH}{K} - H \\ -KSH & -(CH-1) & KSH & -(CH-1) \\ CH-1 & \frac{SH}{K} - H & -(CH-1) & HCH - \frac{SH}{K} \end{bmatrix}$$

Considere-se agora o caso particular das paredes estruturais que possuem momento de inércia setorial, J_{ω} , nulo. As paredes com essa particularidade serão submetidas à torção sem empenamento da secção transversal, ou seja, para cargas concentradas ao nível dos pisos, esta torção será uma torção livre e governada pela equação (1.14) definida na PARTE I como segue:

$$\phi'_z = \frac{M_{t1}}{GJ_t}$$

ou:

$$\phi'_z = C_1 \rightarrow \phi_z = C_1 z + C_2$$

Aplicando-se as condições de contorno para os extremos (1) e (2), tem-se:

para $z = 0$:

$$\phi_z = \phi_1 \rightarrow C_2 = \phi_1$$

$$GJ_t \phi'_z = M_{t1} \rightarrow C_1 = \frac{M_{t1}}{GJ_t}$$

ou, em forma matricial:

$$\begin{Bmatrix} \phi_z \\ M_{tz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z/GJ_t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ M_{t1} \end{Bmatrix}$$

para $z = H$:

$$\begin{Bmatrix} \phi_2 \\ M_{t2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & H/GJ_t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ M_{t1} \end{Bmatrix}$$

Adaptando à convenção de sinais, tem-se:

$$\begin{Bmatrix} -\phi_2 \\ -M_{t2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & H/GJ_t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\phi_1 \\ M_{t1} \end{Bmatrix}$$

Para se ter a contribuição à matriz de rigidez da parede, tem-se dois casos:

(a) $\phi_1 = 1$ e $\phi_2 = 0$

$$0 = -1 + \frac{H}{GJ_t} M_{t1}$$

$$-M_{t2} = M_{t1}$$

Resolvendo-se tem:

$$M_{t1} = \frac{GJ_t}{H} \quad \text{e} \quad M_{t2} = -\frac{GJ_t}{H}$$

(b) $\phi_2 = 1$ e $\phi_1 = 0$

$$-1 = \frac{H}{GJ_t} M_{t1}$$

$$-M_{t2} = M_{t1}$$

Resolvendo-se tem:

$$M_{t1} = -\frac{GJ_t}{H} \quad \text{e} \quad M_{t2} = \frac{GJ_t}{H}$$

Escrevendo-se em forma de sub-matriz tem-se:

$$[R\omega_t] = \frac{GJ_t}{H} \begin{bmatrix} \phi_1 & \phi_1' & \phi_2 & \phi_2' \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.5.2 - Contribuição dos termos de flexão

Considere-se um sistema de eixos com origem no centro de gravidade da secção transversal de um elemento de parede. Ver figura 2.5.

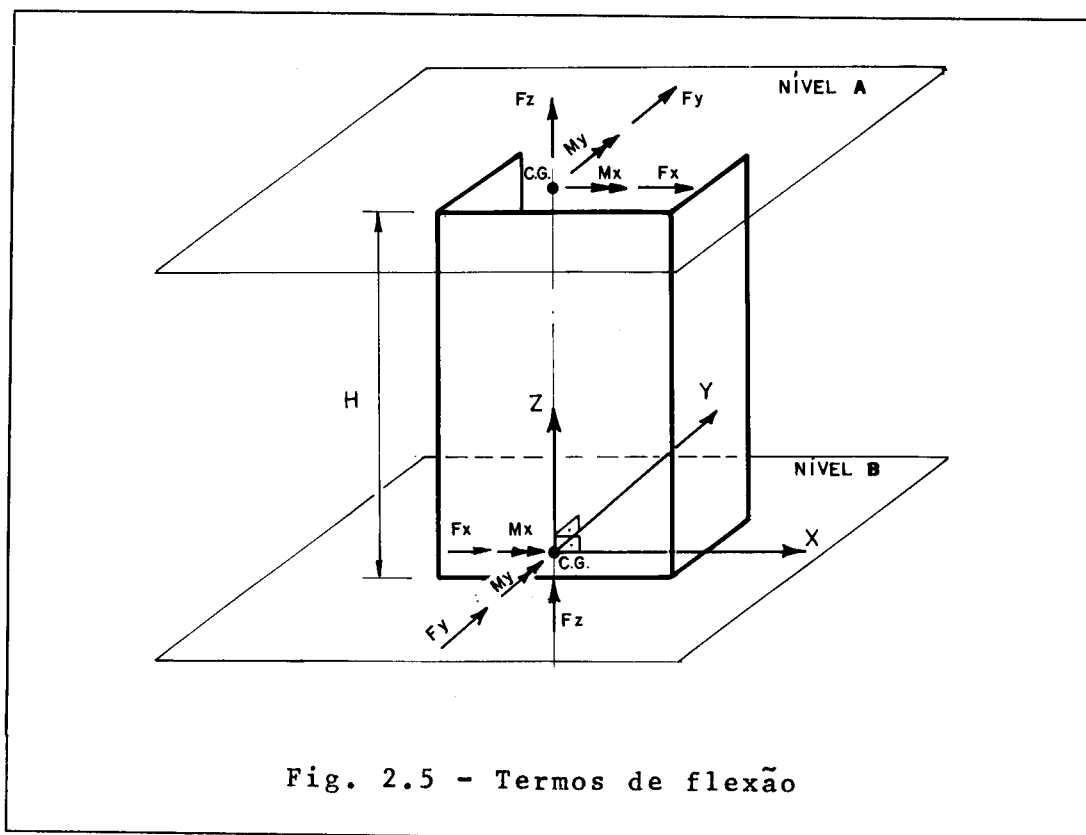


Fig. 2.5 - Termos de flexão

Na contribuição dos termos de flexão à matriz de rigidez da parede tem-se que a mesma está referenciada ao

c.g. (centro de gravidade) segundo os eixos principais de inércia. O comprimento do elemento de parede é designado por H e a área da secção transversal por $A\omega$. Os momentos principais de inércia são designados por $XI\omega$ e $YI\omega$ com relação aos eixos X e Y, respectivamente. O módulo de elasticidade longitudinal definido por E e o módulo de elasticidade transversal por G.

Identifica-se por g_x o fator de flexibilidade ao cisalhamento na direção X e define-se, de acordo com MANNING JR. (08), por:

$$g_x = \frac{12EYI\omega}{GA_x H^2}$$

onde A_x é a área efetiva ao cisalhamento na direção X. Da mesma maneira define-se o fator de flexibilidade ao cisalhamento na direção Y, de acordo com MANNING JR. (08), por:

$$g_y = \frac{12EXI\omega}{GA_y H^2}$$

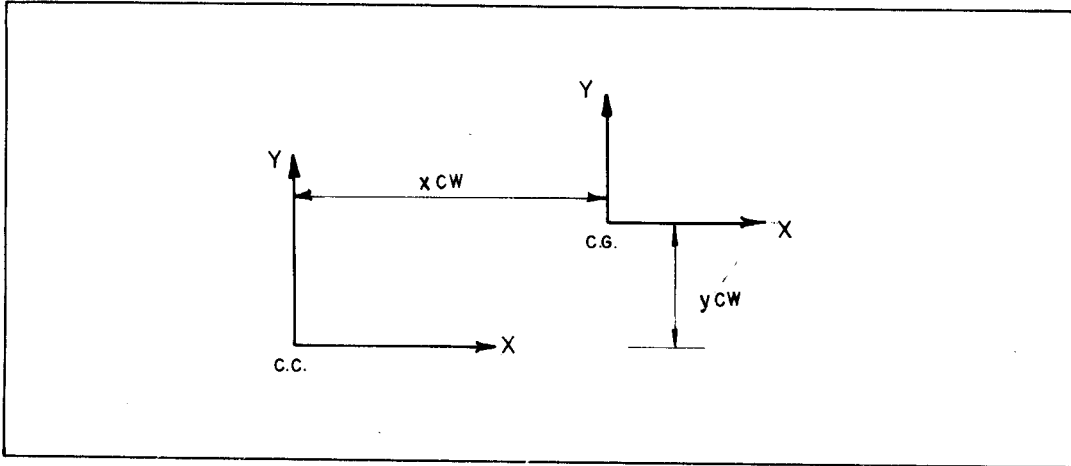
onde A_y é a área efetiva ao cisalhamento na direção Y. Assim, os elementos de rigidez relativos aos termos de flexão, são determinados impondo-se deslocamentos unitários em cada coordenada, mantendo-se os outros impedidos. Assim, por MANNING JR. (08), tem-se a contribuição dos termos de flexão na matriz de rigidez da parede:

	θ _x	θ _y	δ _z	δ _x	δ _y	θ _x	θ _y	δ _z	δ _x	δ _y
	$\frac{(4+g_y)E_x I \omega}{(1+g_y)H}$	$\frac{(4+g_x)E_y I \omega}{(1+g_x)H}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	$\frac{EA\omega}{H}$	0	0	0	0	0	0	0
	0	$-\frac{6E_y I \omega}{(1+g_x)H^2}$	0	$\frac{12E_y I \omega}{(1+g_x)H^3}$	0	0	0	0	0	0
	$\frac{6E_x I \omega}{(1+g_y)H^2}$	0	0	0	$\frac{12E_x I \omega}{(1+g_y)H^3}$	0	0	0	0	0
	$\frac{(2-g_y)E_x I \omega}{(1+g_y)H}$	0	0	0	0	$\frac{(4+g_y)E_x I \omega}{(1+g_y)H}$	0	0	0	0
	0	$\frac{(2-g_x)E_y I \omega}{(1+g_x)H}$	0	$-\frac{6E_y I \omega}{(1+g_x)H^2}$	0	0	$\frac{(4+g_x)E_y I \omega}{(1+g_x)H}$	0	0	0
	0	0	$-\frac{EA\omega}{H}$	0	0	0	0	$\frac{EA\omega}{H}$	0	0
	0	$\frac{6E_y I \omega}{(1+g_x)H^2}$	0	$-\frac{12E_y I \omega}{(1+g_x)H^3}$	0	0	$\frac{6E_y I \omega}{(1+g_x)H^2}$	0	$\frac{12E_y I \omega}{(1+g_x)H^3}$	0
	$-\frac{6E_x I \omega}{(1+g_y)H^2}$	0	0	0	$-\frac{12E_x I \omega}{(1+g_y)H^3}$	$-\frac{6E_x I \omega}{(1+g_y)H^2}$	0	0	0	$\frac{12E_x I \omega}{(1+g_y)H^3}$

SIMÉTRICA

= [R_f^ω] c.g.

Seja agora a transformação de eixos do c.g., centro de gravidade, para o c.c., centro de cisalhamento.



A relação entre os deslocamentos do c.g. com o c.c. escreve-se:

$$\{D\}_{c.g.} = [T_1] \{D\}_{c.c.} \quad (2.8)$$

onde na equação matricial (2.8) tem-se:

$\{D\}_{c.g.}$ - vetor deslocamentos com eixos no c.g.

$\{D\}_{c.c.}$ - vetor deslocamentos com eixos no c.c.

$[T_1]$ - matriz de transformação

Sabe-se que:

$$\{D\}_{c.g.} = \begin{Bmatrix} \theta_x^{c.g.} \\ \theta_y^{c.g.} \\ \delta_z^{c.g.} \\ \delta_x^{c.g.} \\ \delta_y^{c.g.} \end{Bmatrix} ; \quad \{D\}_{c.c.} = \begin{Bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ \delta_z \\ \delta_x \\ \delta_y \end{Bmatrix}$$

$$\theta_x = 1 \rightarrow \theta_x^{c.g.} = 1 \quad \therefore \quad \delta_z^{c.g.} = YC\omega$$

$$\theta_y = 1 \rightarrow \theta_y^{c.g.} = 1 \quad \therefore \quad \delta_z^{c.g.} = -XC\omega$$

$$\delta_z = 1 \rightarrow \delta_z^{c.g.} = 1$$

$$\delta_x = 1 \rightarrow \delta_x^{c.g.} = 1$$

$$\delta_y = 1 \rightarrow \delta_y^{c.g.} = 1$$

Assim tem-se:

$$[T_1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ YC\omega & -XC\omega & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Portanto a sub-matriz de rigidez dos termos de flexão, $[R\omega_f]$, será transformada do c.g. para o c.c. como segue:

$$[R\omega_f]_{c.c.} = [T_2]^t [R\omega_f]_{c.g.} [T_2] \quad (2.9)$$

onde em (2.9) tem-se:

$$[T_2] = \begin{bmatrix} [T_1] & [0] \\ [0] & [T_1] \end{bmatrix}$$

ou ainda:

$$[T_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ YC\omega & -XC\omega & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & YC\omega & -XC\omega & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sendo $[T_2]^t$ a transposta da matriz $[T_2]$ e, portanto, dada por:

$$[T_2]^t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & YC\omega & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -XC\omega & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & YC\omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -XC\omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Assim a sub-matriz de rigidez dos termos de flexão, $[R_{\omega_f}]_{c.c.}$, ficará como segue:

$$\begin{aligned}
 & \left[R_{\omega}^f \right]_{c.c.} = \begin{bmatrix}
 \theta_x^A & \theta_y^A & \delta_z^A & \delta_x^A & \delta_y^A \\
 \frac{(4+g_y)EXI\omega}{(1+g_y)H} + \frac{EA\omega YC\omega^2}{H} & \frac{(4+g_x)EYI\omega}{(1+g_x)H} + \frac{EA\omega XC\omega^2}{H} & \frac{EA\omega}{H} & 0 & 0 \\
 -\frac{EA\omega XC\omega YC\omega}{H} & -\frac{EA\omega XC\omega}{H} & 0 & \frac{12EYI\omega}{(1+g_x)H^3} & \frac{12EXI\omega}{(1+g_y)H^3} \\
 \frac{EA\omega YC\omega}{H} & -\frac{EA\omega XC\omega}{H} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{6EYI\omega}{(1+g_x)H^2} & 0 & 0 & 0 \\
 \frac{6EXI\omega}{(1+g_y)H^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \frac{(2-g_y)EXI\omega}{(1+g_y)H} - \frac{EA\omega YC\omega^2}{H} & \frac{EA\omega XC\omega YC\omega}{H} & -\frac{EA\omega YC\omega}{H} & 0 & \frac{6EXI\omega}{(1+g_x)H^2} \\
 \frac{EA\omega XC\omega YC\omega}{H} & \frac{(2-g_x)EYI\omega}{(1+g_x)H} - \frac{EA\omega XC\omega^2}{H} & \frac{EA\omega XC\omega}{H} & -\frac{6EYI\omega}{(1+g_x)H^2} & 0 \\
 -\frac{EA\omega YC\omega}{H} & \frac{EA\omega XC\omega}{H} & -\frac{EA\omega}{H} & 0 & 0 \\
 0 & \frac{6EYI\omega}{(1+g_x)H^2} & 0 & -\frac{12EYI\omega}{(1+g_x)H^3} & 0 \\
 -\frac{6EXI\omega}{(1+g_y)H^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EXI\omega}{(1+g_y)H^3}
 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

δ_y^B

δ_x^B

δ_z^B

θ_y^B

θ_x^B

SIMÉTRICA

$$\frac{(4+g_y) E_x I \omega}{(1+g_y) H} + \frac{E_A \omega Y C \omega^2}{H}$$

$$\frac{(4+g_x) E_y I \omega}{(1+g_x) H} + \frac{E_A \omega X C \omega^2}{H}$$

$$-\frac{E_A \omega X C \omega Y C \omega}{H}$$

$$\frac{E_A \omega Y C \omega}{H}$$

$$-\frac{E_A \omega X C \omega}{H}$$

$$\frac{E_A \omega}{H}$$

$$\frac{12 E_y I \omega}{(1+g_x) H^3}$$

$$\frac{6 E_x I \omega}{(1+g_x) H^2}$$

0

$$-\frac{6 E_x I \omega}{(1+g_y) H^2}$$

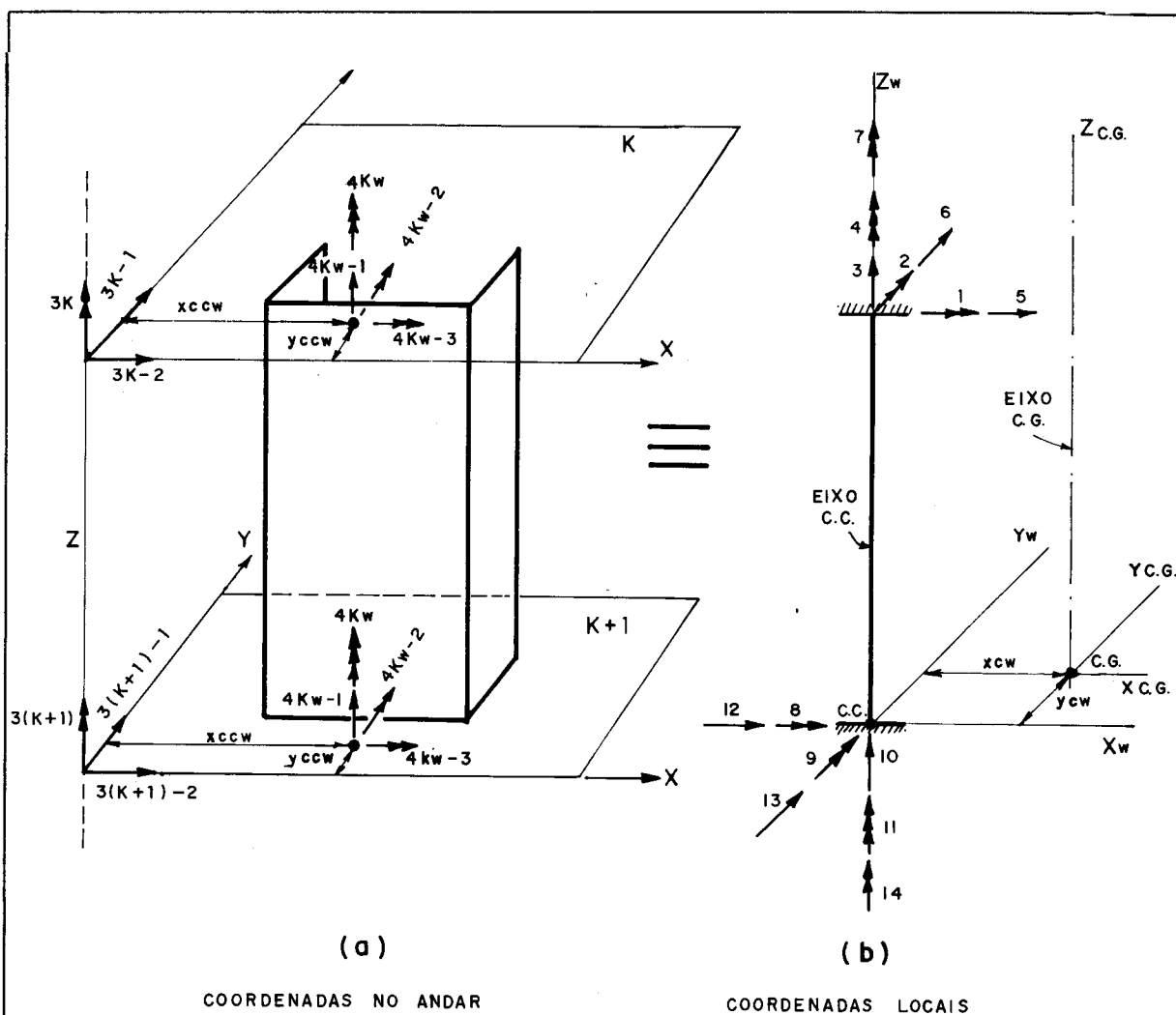
0

0

0

$$\frac{12 E_x I \omega}{(1+g_y) H^3}$$

Considere-se agora o sistema de numeração das coordenadas locais para um elemento de parede, representado por seu eixo longitudinal passando pelo centro de cisalhamento da parede. Também faz-se a representação do sistema de coordenadas para um andar. Ver figura 2.6.



X_{Cw} , Y_{Cw} - posição do c.g. em relação ao c.c.
 X_{CCw} , Y_{CCw} - posição do nó em relação ao sistema global

Obs.: As coordenadas do nó da parede K_w estão numeradas após a numeração dos nós dos pilares.

Fig. 2.6 - Sistemas de coordenadas para paredes

Para o sistema de coordenadas locais da figura 2.6 monta-se a matriz de rigidez da parede com a contribuição dos termos de torção, $[R\omega_t]$, e com a contribuição dos termos de flexão, $[R\omega_f]$.

SIMÉTRICA

$$\frac{(4+g_y)EXI\omega}{(1+g_y)H} + \frac{EA\omega YC\omega^2}{H}$$

$$\frac{(4+g_x)EYI\omega}{(1+g_x)H} + \frac{EA\omega XC\omega^2}{H}$$

$$\frac{EA\omega YC\omega}{H}$$

$$-\frac{EA\omega XC\omega}{H}$$

$$\frac{EA\omega}{H}$$

0

0

$\gamma(HCH - \frac{SH}{K})$

0

$$\frac{6EYI\omega}{(1+g_x)H^2}$$

$$0$$

$$\frac{12EYI\omega}{(1+g_x)H^3}$$

$$-\frac{6EXI\omega}{(1+g_y)H^2}$$

0

$$\frac{12EXI\omega}{(1+g_y)H^3}$$

0

0

$-(CH-1)\gamma$

0

$\gamma(KSH)$

- - -

REPRESENTAÇÃO DA MATRIZ $[R\omega]$ EM SUBMATRIZES $[R\omega_{ij}]$:

O particionamento da matriz de rigidez da parede em submatrizes, visa adequá-la ao particionamento da matriz de rigidez da estrutura adotado neste trabalho.

Seja o particionamento representado abaixo:

$$[R\omega] = \begin{bmatrix} [R\omega_{11}] & [R\omega_{13}] & [R\omega_{12}] & [R\omega_{14}] \\ [R\omega_{31}] & [R\omega_{33}] & [R\omega_{32}] & [R\omega_{34}] \\ [R\omega_{21}] & [R\omega_{23}] & [R\omega_{22}] & [R\omega_{24}] \\ [R\omega_{41}] & [R\omega_{43}] & [R\omega_{42}] & [R\omega_{44}] \end{bmatrix}$$

Onde os índices numéricos subscritos tem o seguinte significado:

1 e 2 → Deslocamentos não relacionados com o movimento de corpo rígido dos diafragmas, ou seja $\theta_x, \theta_y, \delta_z, \phi'_z$

sendo:

1 → para a extremidade do diafragma K

2 → para a extremidade do diafragma K+1

3 e 4 → Deslocamentos relacionados com o movimento de corpo rígido dos diafragmas, ou seja $\delta_x, \delta_y, \phi_z$.

sendo:

3 → para a extremidade do diafragma K

4 → para a extremidade do diafragma K+1

Assim, tem-se:

$$[R_{11}^{\omega}] = \begin{bmatrix} \frac{(4+g_y)EXI\omega}{(1+g_y)H} + \frac{EA\omega YC\omega^2}{H} & -\frac{EA\omega XC\omega YC\omega}{H} & \frac{EA\omega YC\omega}{H} & 0 \\ -\frac{EA\omega XC\omega YC\omega}{H} & \frac{(4+g_x)EYI\omega}{(1+g_x)H} + \frac{EA\omega XC\omega^2}{H} & -\frac{EA\omega XC\omega}{H} & 0 \\ \frac{EA\omega YC\omega}{H} & -\frac{EA\omega XC\omega}{H} & \frac{EA\omega}{H} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma(HCH - \frac{SH}{K}) \end{bmatrix}$$

onde, tem-se: $[R_{22}^{\omega}] = [R_{11}^{\omega}]$

$$[R_{12}^{\omega}] = \begin{bmatrix} \frac{(2-g_y)EXI\omega}{(1+g_y)H} - \frac{EA\omega YC\omega^2}{H} & \frac{EA\omega XC\omega YC\omega}{H} & -\frac{EA\omega YC\omega}{H} & 0 \\ \frac{EA\omega XC\omega YC\omega}{H} & \frac{(2-g_x)EYI\omega}{(1+g_x)H} - \frac{EA\omega XC\omega^2}{H} & \frac{EA\omega XC\omega}{H} & 0 \\ -\frac{EA\omega YC\omega}{H} & \frac{EA\omega XC\omega}{H} & -\frac{EA\omega}{H} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma(\frac{SH}{K} - H) \end{bmatrix}$$

onde, tem-se: $[R_{21}^{\omega}] = [R_{12}^{\omega}]$

$$[R_{13}^{\omega}] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{6EXI\omega}{(1+g_y)H^2} & 0 \\ -\frac{6EYI\omega}{(1+g_x)H^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma(CH-1) \end{bmatrix}$$

onde, tem-se:

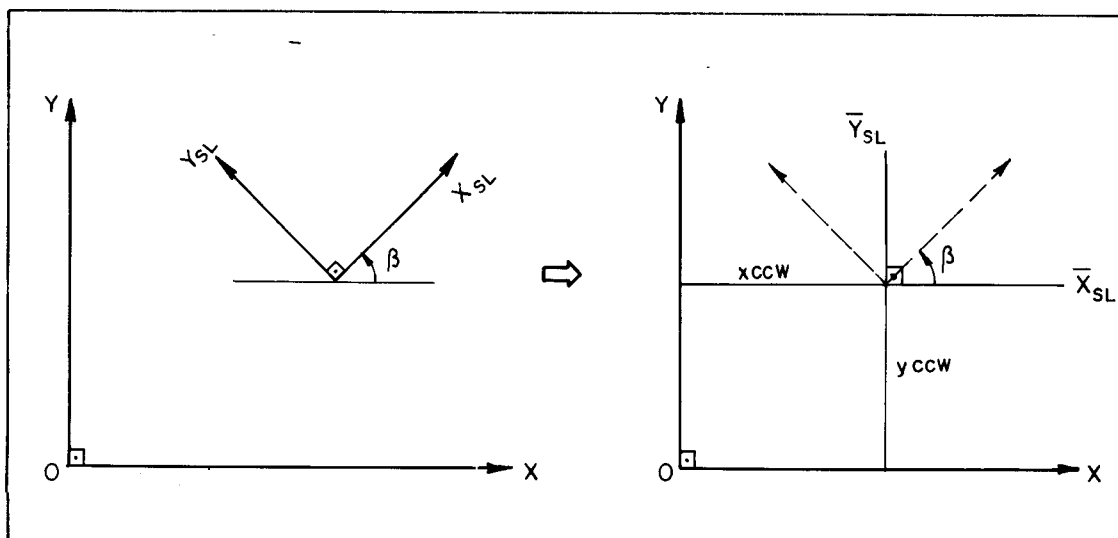
$$\begin{aligned} [R\omega_{31}]^t &= -[R\omega_{41}]^t = [R\omega_{32}]^t = -[R\omega_{42}]^t = -[R\omega_{14}] = \\ &= [R\omega_{23}] = -[R\omega_{24}] = [R\omega_{13}] \end{aligned}$$

$$[R\omega_{33}] = \begin{bmatrix} \frac{12EYI\omega}{(1+g_y)H^3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EXI\omega}{(1+g_y)H^3} & 0 \\ 0 & 0 & \gamma(KSH) \end{bmatrix}$$

onde, tem-se:

$$[R\omega_{44}] = -[R\omega_{34}] = -[R\omega_{43}] = [R\omega_{33}]$$

Considere-se agora a transformação da matriz de rigidez para o sistema global da estrutura:



onde:

$\beta = \hat{\text{â}}\text{ngulo entre os eixos local e global } (X_{SL} \text{ e } X).$

Assim, tem-se para a rotação do sistema de eixos:

$$\{D_{sl}\} = [T\omega_i] \{\bar{D}_{sl}\} \quad (2.10)$$

onde na equação matricial (2.10) tem-se:

$\{D_{sl}\}$ - vetor deslocamentos relacionado com o sistema local.

$\{\bar{D}_{sl}\}$ - vetor deslocamentos em um sistema de eixos paralelos ao do sistema global.

$[T\omega_i]$ - matriz de transformação relativa à rotação dos eixos.

$$[T\omega_i] = \begin{bmatrix} [\overline{T\omega_i}] & [0] \\ [0] & [\overline{T\omega_i}] \end{bmatrix}$$

onde:

$$[\overline{T\omega_i}] = \begin{matrix} \theta_x & \theta_y & \delta_z & \phi'_z & \delta_x & \delta_y & \phi_z \\ \begin{bmatrix} \cos\beta & \text{sen}\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\text{sen}\beta & \cos\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\beta & \text{sen}\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\text{sen}\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Logo, tem-se em (2.11) a transformação da matriz $[R\omega]$ para um sistema de eixos paralelos aos eixos globais, correspondente a uma translação do sistema local:

$$[R\omega_i] = [T\omega_i]^t [R\omega] [T\omega_{ii}] \quad (2.11)$$

Assim, para o sistema global tem-se:

$$\{\overline{D}_{s\ell}\} = [T\omega_{ii}] \{D\} \quad (2.12)$$

onde na equação matricial (2.12) tem-se:

$\{\overline{D}_{s\ell}\}$ - vetor deslocamentos relacionado com o sistema local, após a rotação dos eixos deste.

$\{D\}$ - vetor deslocamentos relacionado com o sistema global.

$[T\omega_{ii}]$ - matriz de transformação relativa à mudança para o sistema global.

$$[T\omega_{ii}] = \begin{bmatrix} [\overline{T\omega_{ii}}] & [0] \\ [0] & [T\omega_{ii}] \end{bmatrix}$$

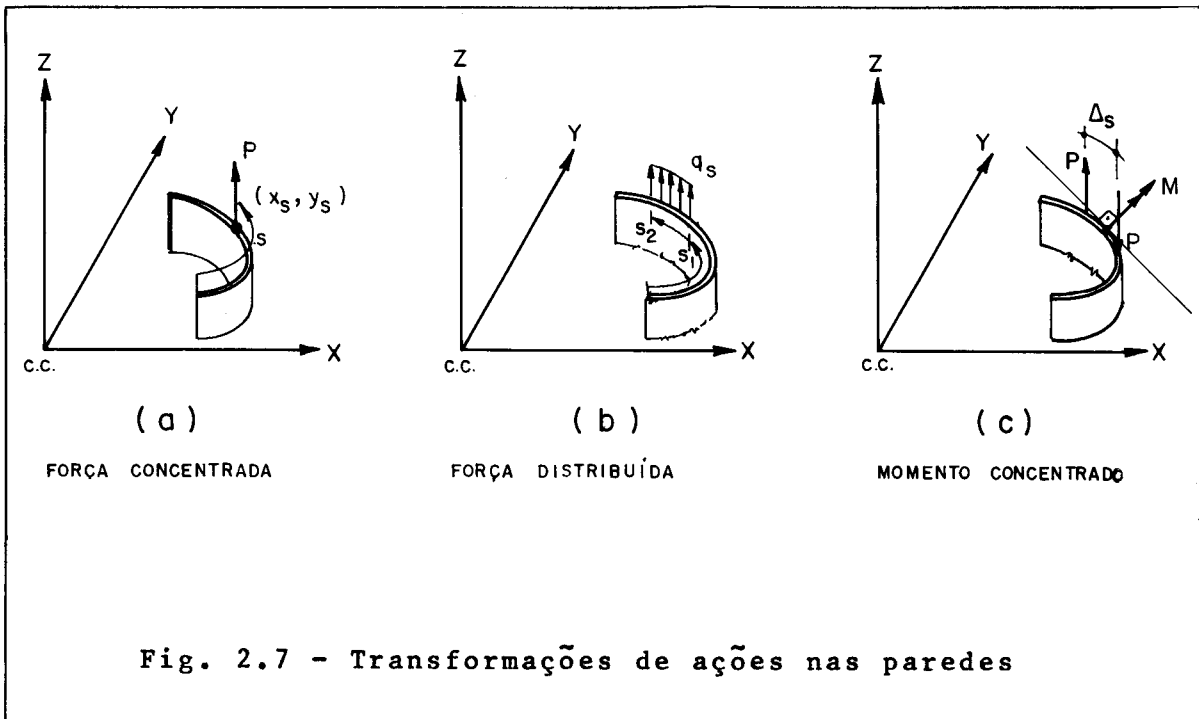
$$[\overline{T\omega_{ii}}] = \begin{matrix} & \theta_x & \theta_y & \delta_z & \phi'_z & \delta_x & \delta_y & \phi_z \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -YCC\omega \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & XCC\omega \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

logo, tem-se:

$$[R\omega_{ii}] = [T\omega_{ii}]^t [R\omega_i][T\omega_{ii}] \quad (2.13)$$

Com a expressão indicada na equação (2.13) consegue-se fazer a transformação da matriz de rigidez das paredes para o sistema de eixos globais da estrutura.

2.5.3 - Equações de transformação de ações e deslocamentos



Considere-se um sistema de coordenadas para forças equivalente ao correspondente sistema de coordenadas para deslocamentos. Assim sendo tem-se que F_x , F_y e F_z são forças nas direções dos eixos X, Y e Z, respectivamente. M_x e M_y são os momentos em relação aos eixos X e Y e M_t e B são, respectivamente, momento torçor e bimomento. Todas as forças são referidas ao centro de cisalhamento.

Da figura 2.7 conclui-se:

Caso (a) : Carga P

$$\begin{aligned} F_z &= P & \dots & M_y = - P x_s \\ M_x &= P y_s & \dots & B = P \omega_s \end{aligned}$$

Caso (b) : Carga q_s

$$\begin{aligned} F_z &= \int_{s_1}^{s_2} q_s ds & \dots & M_y = -(F_z) x_s \\ M_x &= (F_z) y_s & \dots & B = \int_{s_1}^{s_2} q_s \omega_s ds \end{aligned}$$

Caso (c) : Momento M

$$B = \frac{M}{\Delta s} \omega_s - (\omega_s + \Delta \omega_s) \frac{M}{\Delta s} = - \left(\frac{M}{\Delta s} \right) \Delta \omega_s$$

tomando-se o limite $\Delta s \rightarrow 0$, tem-se:

$$B = - M \left(\frac{d\omega}{ds} \right) \dots B = - M.n$$

onde n é a distância do centro de cisalhamento à tangente a linha esqueleto no ponto considerado e definido na PARTE I.

Obs.: Sõ a componente de M na direção normal ao plano tangente é que contribui para o bimomento.

Da figura 2.8 tira-se:

$$u_h = \omega_h \phi'_z \dots \frac{du_h}{ds} = \phi'_z \left(\frac{d\omega_h}{ds} \right)$$

Assim:

$$\left(\frac{du}{ds} \right)_h = \phi'_z n_h$$

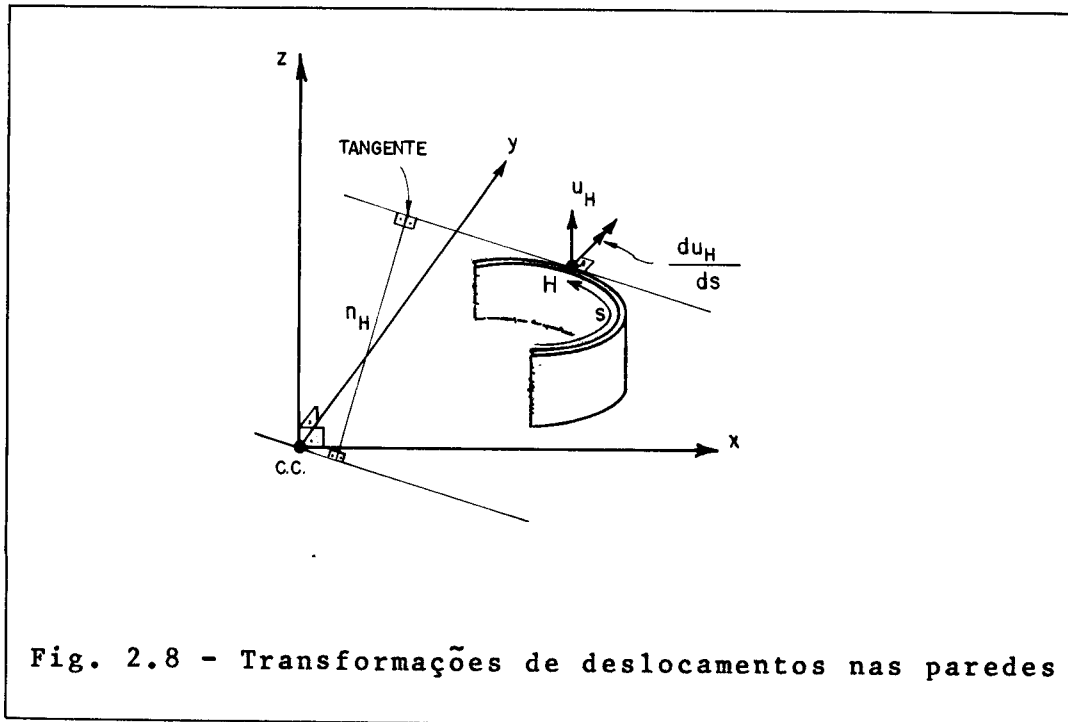


Fig. 2.8 - Transformações de deslocamentos nas paredes

2.6 - Matriz de rigidez das vigas

Os arranjos estruturais estudados neste trabalho são constituídos de paredes estruturais e p \ddot{o} r \ddot{t} icos espaciais retangulares. Assim, as vigas são definidas na concepção de um andar da estrutura pelas duas direções principais do sistema de eixos ortogonais, sendo designadas por VIGAS-X e VIGAS-Y significando, respectivamente, vigas na direção do eixo X e vigas na direção do eixo Y.

2.6.1 - Vigas-X

Para as VIGAS-X (vigas na direção do eixo global X), tem-se um sistema de coordenadas locais definido de acordo com a ordem de numeração do sistema global de coordenadas do andar da estrutura. Ver figura 2.9.

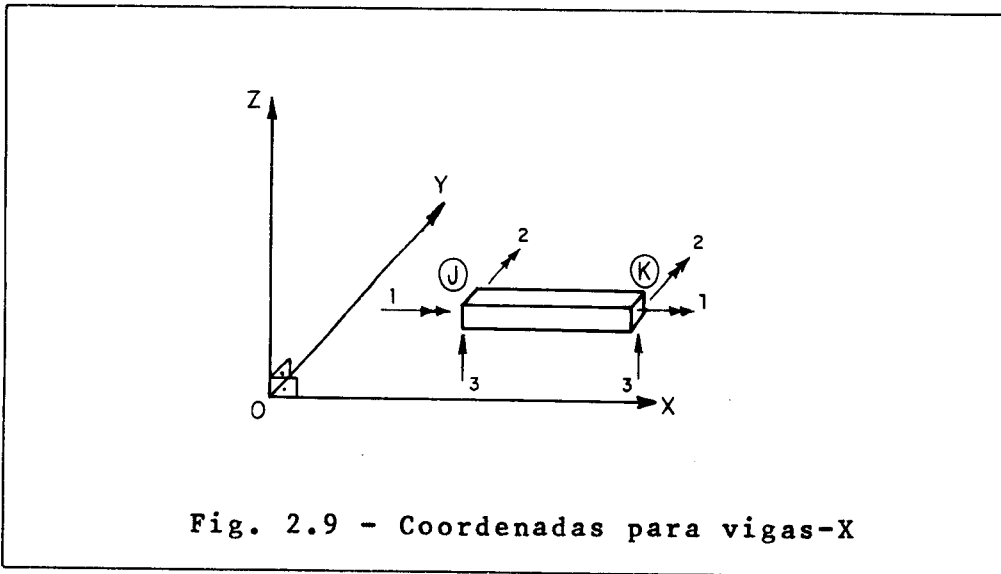


Fig. 2.9 - Coordenadas para vigas-X

Assim tem-se:

$$[RV]_x = \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix}$$

onde, por WEAVER & GERE (06), tem-se:

$$[RVJJ] = \begin{bmatrix} GJTV_x/L_x & 0 & 0 \\ 0 & 4EJFV_x/L_x & -6EJFV_x/L_x^2 \\ 0 & -6EJFV_x/L_x^2 & 12EJFV_x/L_x^3 \end{bmatrix}$$

$$[RVKK] = \begin{bmatrix} -GJTV_x/L_x & 0 & 0 \\ 0 & 4EJFV_x/L_x & 6EJFV_x/L_x^2 \\ 0 & 6EJFV_x/L_x^2 & 12EJFV_x/L_x^3 \end{bmatrix}$$

$$[RVJK] = \begin{bmatrix} -G_{\cdot}ITV_x/L_x & 0 & 0 \\ 0 & 2E_{\cdot}IFV_x/L_x & 6E_{\cdot}IFV_x/L_x^2 \\ 0 & -6E_{\cdot}IFV_x/L_x^3 & -12E_{\cdot}IFV_x/L_x^3 \end{bmatrix}$$

$$[RVKJ] = \begin{bmatrix} -G_{\cdot}ITV_x/L_x & 0 & 0 \\ 0 & 2E_{\cdot}IFV_x/L_x & -6E_{\cdot}IFV_x/L_x^2 \\ 0 & 6E_{\cdot}IFV_x/L_x^2 & -12E_{\cdot}IFV_x/L_x^3 \end{bmatrix}$$

Onde foram adotadas as seguintes notações para a matriz $[RV]_x$:

E - módulo de elasticidade longitudinal

G - módulo de elasticidade transversal

L_x - comprimento do tramo de viga-X

IFV_x - inércia à flexão de viga-X

ITV_x - inércia à torção de viga-X

2.6.2 - Vigas-Y

Para as VIGAS-Y ou vigas na direção do eixo global Y, tem-se um sistema de coordenadas locais definido de acordo com a ordem de numeração do sistema global de coordenadas do andar da estrutura. Ver figura 2.10.

Assim tem-se:

$$[RV]_y = \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix}$$

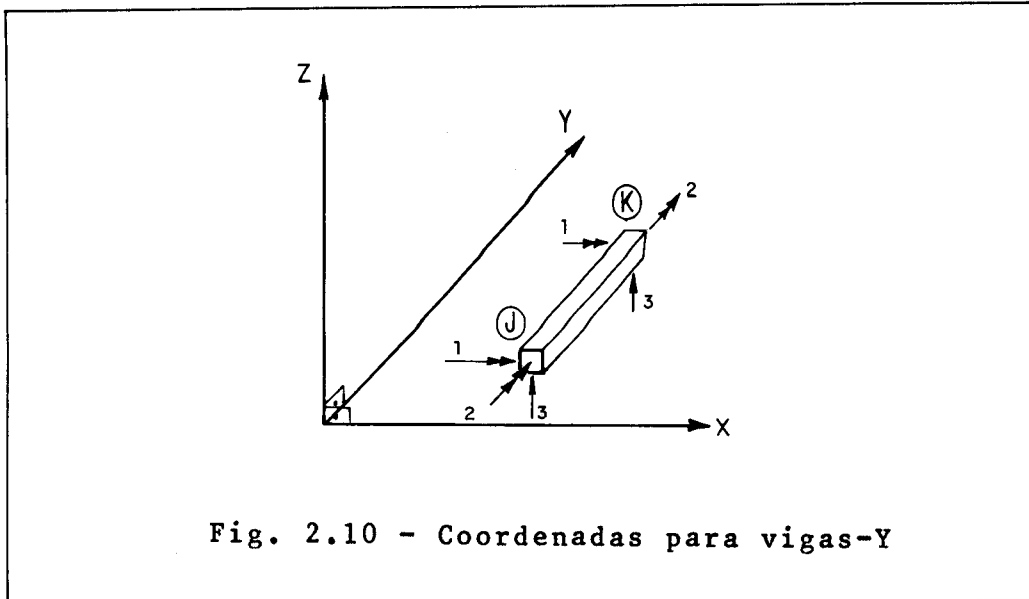


Fig. 2.10 - Coordenadas para vigas-Y

onde, por WEAVER & GERE (06), tem-se:

$$[RVJJ] = \begin{bmatrix} 4E_y I_y V_y / L_y & 0 & 6E_y I_y V_y / L_y^2 \\ 0 & G_y I_y T_y / L_y & 0 \\ 6E_y I_y V_y / L_y^2 & 0 & 12E_y I_y V_y / L_y^3 \end{bmatrix}$$

$$[RVKK] = \begin{bmatrix} 4E_y I_y V_y / L_y & 0 & -6E_y I_y V_y / L_y^2 \\ 0 & G_y I_y T_y / L_y & 0 \\ -6E_y I_y V_y / L_y^2 & 0 & 12E_y I_y V_y / L_y^3 \end{bmatrix}$$

$$[RVJK] = \begin{bmatrix} 2E_y I_y V_y / L_y & 0 & -6E_y I_y V_y / L_y^2 \\ 0 & -G_y I_y T_y / L_y & 0 \\ 6E_y I_y V_y / L_y^2 & 0 & -12E_y I_y V_y / L_y^3 \end{bmatrix}$$

$$[RVKJ] = \begin{bmatrix} 2E \cdot IFV_y / L_y & 0 & 6E \cdot IFV_y / L_y^2 \\ 0 & -G \cdot ITV_y / L_y & 0 \\ -6E \cdot IFV_y / L_y^2 & 0 & -12E \cdot IFV_y / L_y^3 \end{bmatrix}$$

onde foram adotadas as seguintes notações para a matriz $[RV]_y$:

E - módulo de elasticidade longitudinal

G - módulo de elasticidade transversal

L_y - comprimento do tramo de viga-Y

IFV_y - inércia à flexão de viga-Y

ITV_y - inércia à torção de viga-Y

2.7 - Matriz de compatibilização viga-parede

Na análise da compatibilização dos deslocamentos na interface entre as vigas e paredes estruturais, vê-se que a viga tem que deslocar-se com a parede estrutural no ponto de interação. Como resultado tem-se que o número de graus de liberdade independentes ao nível dos andares será consideravelmente reduzido.

Na figura 2.11 representam-se os deslocamentos do centro de cisalhamento da parede. Considerando-se um ponto P com coordenadas (x_p, y_p) , em relação ao sistema de eixos indicado, e também os deslocamentos D_1 , D_2 e D_3 neste ponto como função dos deslocamentos do centro de cisalhamento e, utilizando a hipótese de que as seções planas permanecem planas após a deformação, nas deformações de flexão, pode-se relacionar os deslocamentos do ponto P através de uma matriz de transformação dada pela equação (2.14), e de acordo com MANNING JR. (08):

$$\{D\} = [TV\omega] \{D\omega\} \quad (2.14)$$

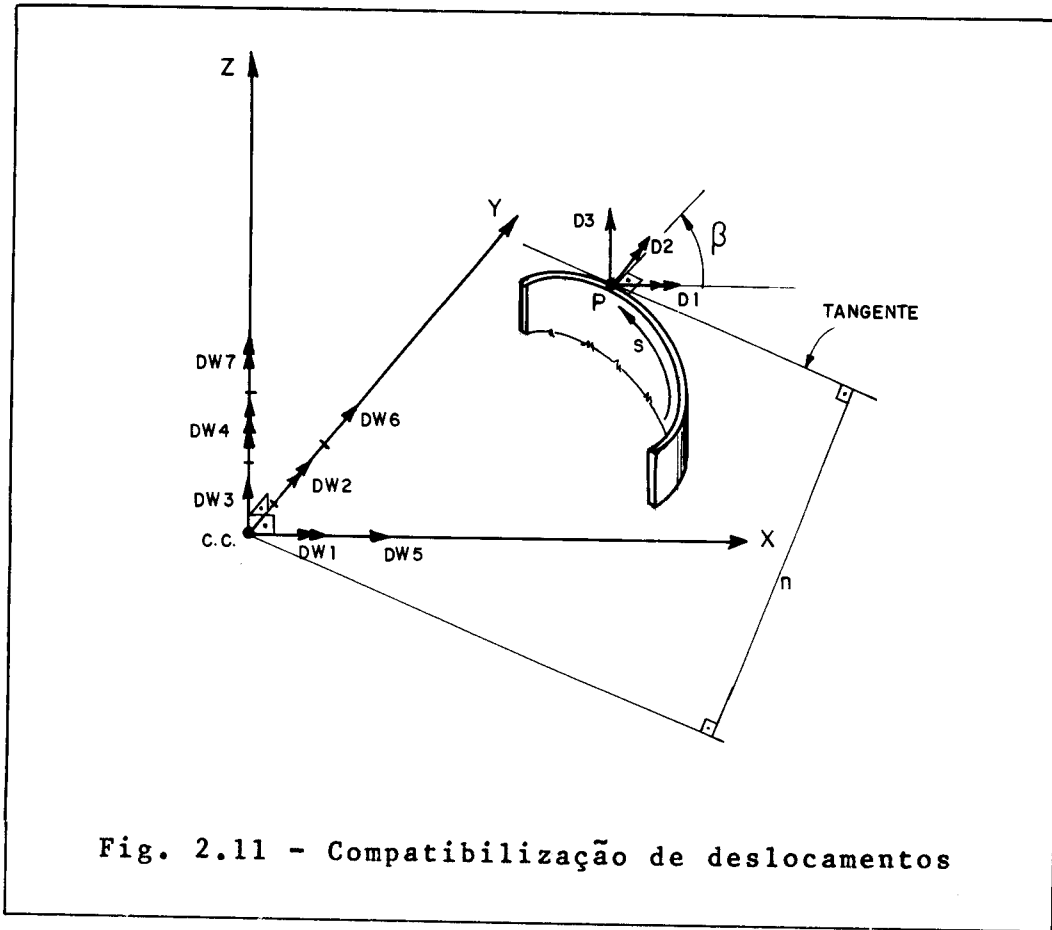


Fig. 2.11 - Compatibilização de deslocamentos

Ou tornando (2.14) em forma explícita:

$$\begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -n \cos \beta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -n \sin \beta & 0 & 0 & 0 \\ y_p & -x_p & 1 & \omega_{sp} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D\omega_1 \\ D\omega_2 \\ D\omega_3 \\ D\omega_4 \\ D\omega_5 \\ D\omega_6 \\ D\omega_7 \end{Bmatrix}$$

pois sabe-se que:

$$u = \omega_s \phi'$$

$$\frac{du}{ds} = -n \phi'$$

(2.15)

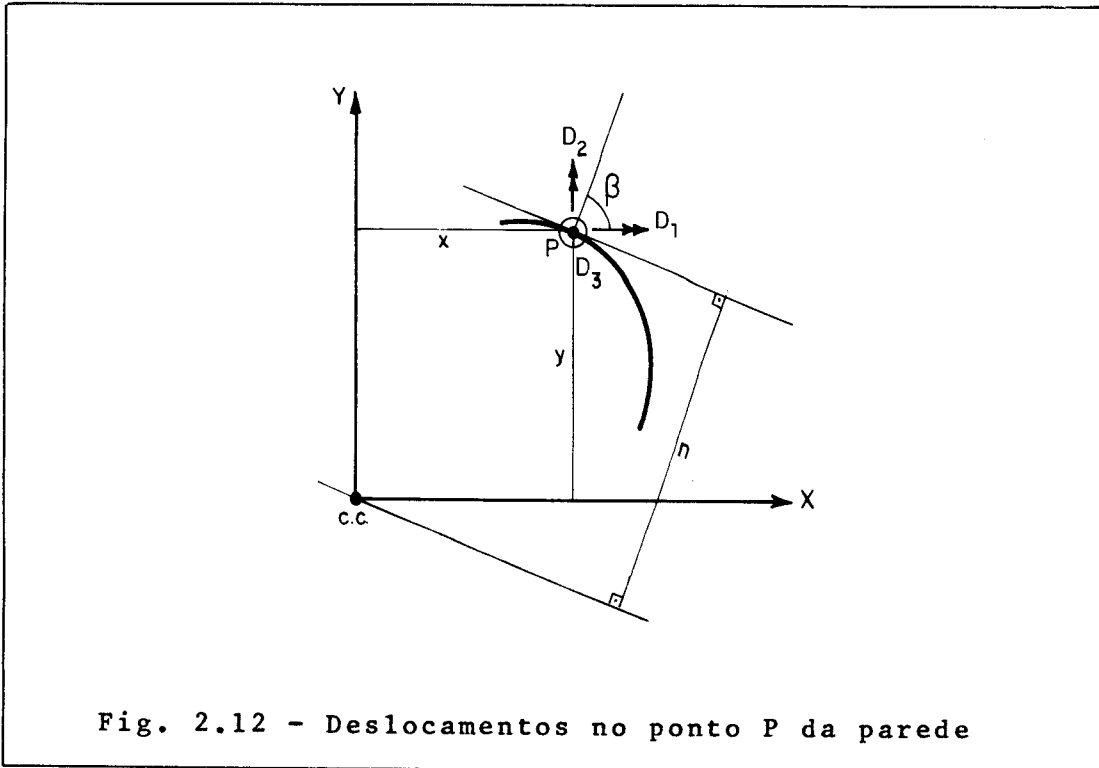


Fig. 2.12 - Deslocamentos no ponto P da parede

Se se fizer $\phi' = D\omega_4 = 1$ em (2.15), tem-se

onde ω_{sp} é o valor do diagrama de área setorial medido no ponto P da seção transversal da parede.

$$u = D_3 = \omega_{sp}$$

assim:

$$D_1 = \frac{du}{ds} \cos\beta \rightarrow D_1 = -n \cos\beta$$

e:

$$D_2 = \frac{du}{ds} \sin\beta \rightarrow D_2 = -n \sin\beta$$

Portanto a matriz $[TV\omega]$ é uma matriz de transformação geométrica que relaciona deslocamentos no centro de cisalhamento com deslocamentos em qualquer ponto ao longo da parede.

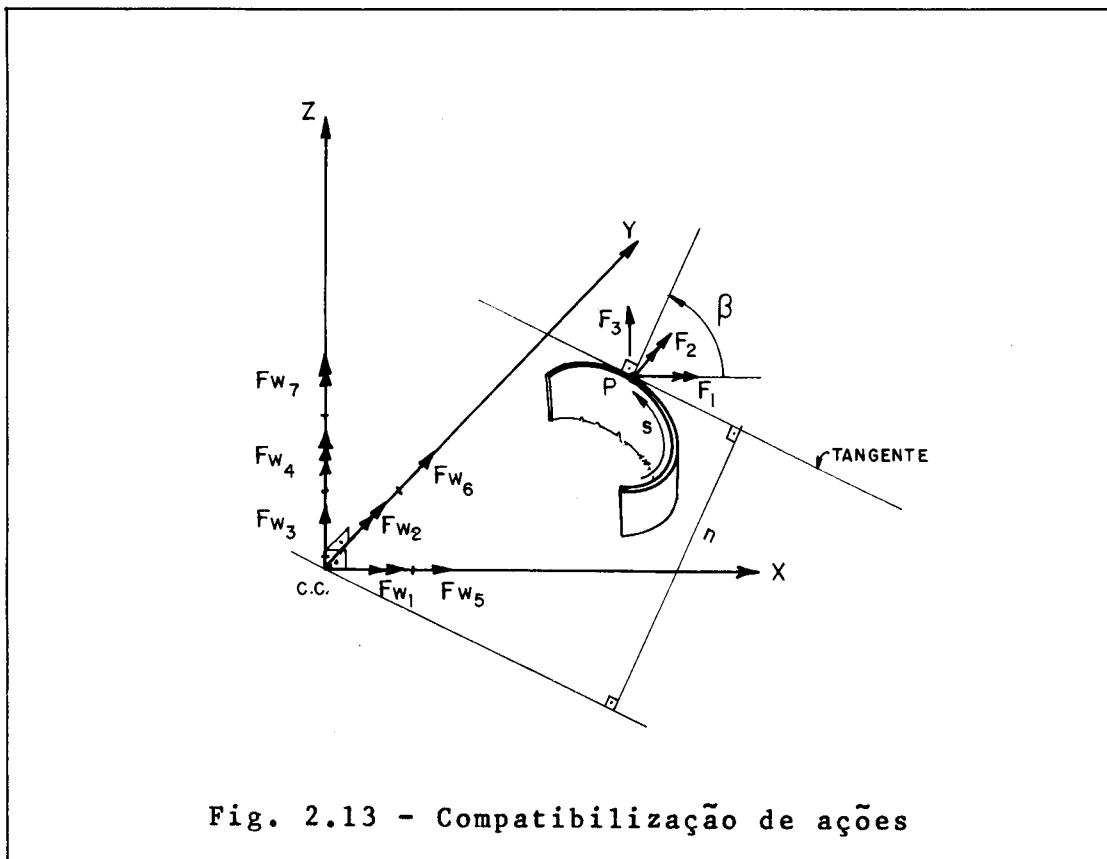


Fig. 2.13 - Compatibilização de ações

De maneira análoga, as forças aplicadas no centro de cisalhamento da parede podem ser relacionadas com as forças aplicadas num ponto P qualquer da parede. Na figura 2.13 as forças em P correspondem às forças de extremidade da viga, onde só os momentos nas direções X e Y (F_1 e F_2) e a força na direção Z (F_3) são consideradas. As equações de transformação das forças definem a relação entre as forças e o bimomento no centro de cisalhamento, enquanto as forças restantes serão determinadas pela estática.

Assim tem-se:

$$F\omega_1 = F_1 + yF_3$$

$$F\omega_2 = F_2 - xF_3$$

$$F\omega_3 = F_3$$

$$F\omega_4 = -nF_1\cos\beta - nF_2\sin\beta + \omega_{sp}F_3$$

$$F\omega_5 = F\omega_6 = F\omega_7 = 0$$

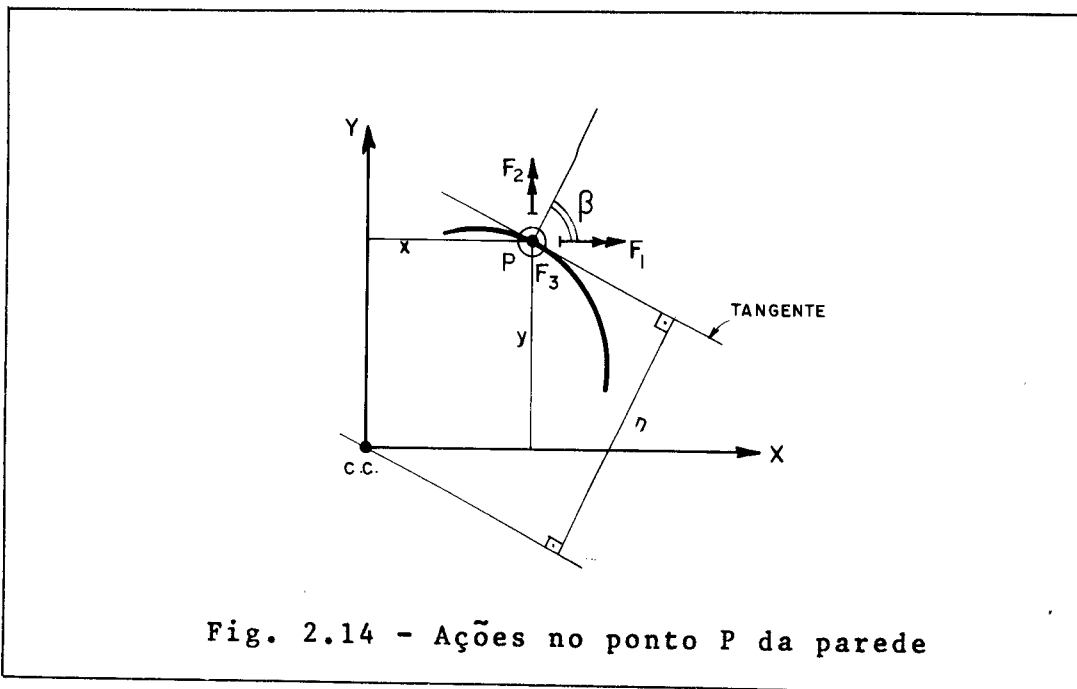


Fig. 2.14 - Ações no ponto P da parede

Expressando-se em forma matricial, tem-se:

$$\{ F\omega \} = \left[\overline{TV\omega} \right] \{ F \} \quad (2.16)$$

ou ainda, tornando (2.16) em forma explícita:

$$\begin{Bmatrix} F\omega_1 \\ F\omega_2 \\ F\omega_3 \\ F\omega_4 \\ F\omega_5 \\ F\omega_6 \\ F\omega_7 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & y_p \\ 0 & 1 & -x_p \\ 0 & 0 & 1 \\ -n\cos\beta & -n\sin\beta & \omega_{sp} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}$$

Obs.: Note-se que $\left[\overline{TV\omega} \right] = \left[TV\omega \right]^t$.

A matriz de rigidez de uma viga com extremo comum à interface de uma parede estrutural, pode ser determinada agora considerando-se a equação que relaciona as forças com os deslocamentos para as vigas.

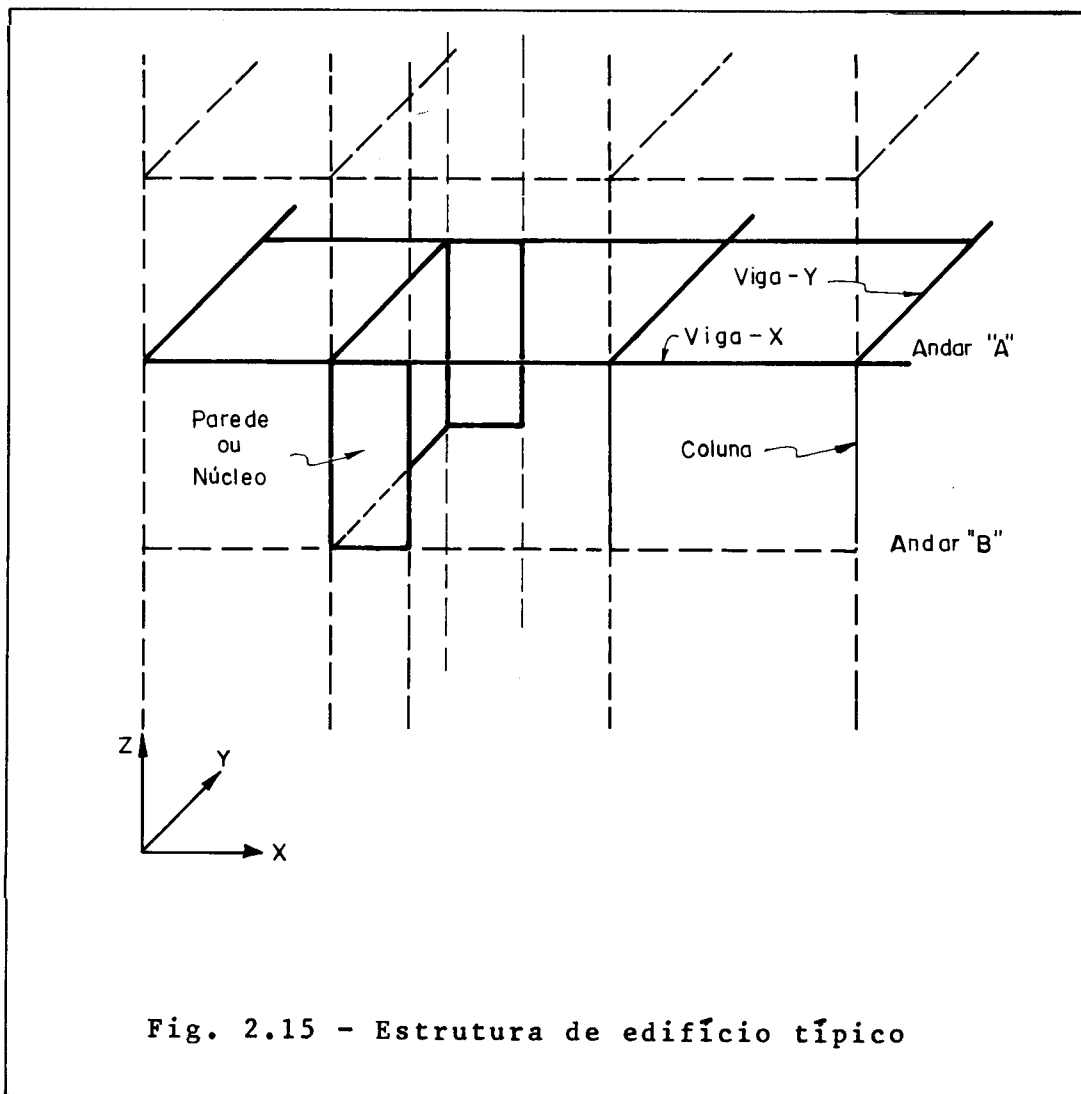


Fig. 2.15 - Estrutura de edifício típico

Para o equacionamento das vigas tem-se:

$$\{FV\} = [RV] \{DV\} \quad (2.17)$$

Onde em (2.17) tem-se:

$$\{ \text{FV} \} = \begin{Bmatrix} \{ \text{FVJ} \} \\ \{ \text{FVK} \} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{FJ}_1 \\ \text{FJ}_2 \\ \text{FJ}_3 \\ \text{FK}_1 \\ \text{FK}_2 \\ \text{FK}_3 \end{Bmatrix}$$

$$\{ \text{DV} \} = \begin{Bmatrix} \{ \text{DVJ} \} \\ \{ \text{DVK} \} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{DJ}_1 \\ \text{DJ}_2 \\ \text{DJ}_3 \\ \text{DK}_1 \\ \text{DK}_2 \\ \text{DK}_3 \end{Bmatrix}$$

$$[\text{RV}] = \begin{bmatrix} [\text{RVJJ}] & [\text{RVJK}] \\ [\text{RVKJ}] & [\text{RVKK}] \end{bmatrix}$$

Da figura 2.15 vê-se que três casos são possíveis de ocorrer:

19) O extremo (J) da viga, ou extremo inicial, é vinculado à parede ou núcleo estrutural:

As forças e os deslocamentos são dados pelas equações (2.16) e (2.14). Se se fizer a mudança de $\{ \text{DVJ} \}$ por $\{ \text{D}\omega \}$ na equação (2.14) e substituir-se na equação (2.17), tem-se o seguinte:

$$\begin{Bmatrix} \{FVJ\} \\ \{FVK\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0'] & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D\omega J\} \\ \{DVK\} \end{Bmatrix} \quad (2.18)$$

(6×1) (6×6) (6×10) (10×1)

Se premultiplicarmos a equação matricial (2.18) pela transposta da matriz de transformação, ou seja:

$$\begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0'] & [I] \end{bmatrix}^t = \begin{bmatrix} [TV\omega]^t & [0'] \\ [0] & [I] \end{bmatrix}$$

Assim:

$$\begin{bmatrix} [TV\omega]^t & [0'] \\ [0] & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{FVJ\} \\ \{FVK\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [TV\omega]^t & [0'] \\ [0] & [I] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0'] & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D\omega J\} \\ \{DVK\} \end{Bmatrix}$$

(10×6) (6×1) (10×6) (6×6) (6×10) (10×1)

Assim encontra-se:

$$\begin{Bmatrix} \{F\omega J\} \\ \{FVK\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [TV\omega]^t & [0'] \\ [0] & [I] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0'] & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D\omega J\} \\ \{DVK\} \end{Bmatrix}$$

(10×1) (10×6) (6×6) (6×10) (10×1)

Portanto é visto que a matriz de rigidez da viga para o caso do extremo (J) da viga vinculado à parede é dada por (2.19):

$$[RV]_j = [TV\omega]_j^t [RV] [TV\omega]_j \quad (2.19)$$

onde:

$$[TV\omega]_j = \begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0'] & [I] \end{bmatrix}$$

sendo as matrizes $[0]$ e $[0']$ constituídas de elementos nulos, ou matrizes nulas, com ordem 3×3 e 3×7 , respectivamente. E sendo $[I]$ uma matriz identidade de ordem 3×3 . A matriz $[TV\omega]_j^t$ é a transposta da matriz $[TV\omega]_j$.

2º) O extremo \textcircled{K} da viga, ou extremo final, é vinculado à parede ou núcleo estrutural:

As forças e os deslocamentos são dados pelas equações (2.16) e (2.14). Se se fizer a mudança de $\{DVK\}$ por $\{D\omega\}$ na equação (2.14) e substituir-se na equação (2.17), tem-se o seguinte:

$$\begin{Bmatrix} \{FVJ\} \\ \{FVK\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I] & [0'] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{DVJ\} \\ \{D\omega K\} \end{Bmatrix} \quad (2.20)$$

$(6 \times 1) \qquad \qquad (6 \times 6) \qquad \qquad (6 \times 10) \qquad \qquad (10 \times 1)$

Se premultiplicarmos a equação matricial (2.20) pela transposta da matriz de transformação, ou seja:

$$\begin{bmatrix} [I] & [0'] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix}^t = \begin{bmatrix} [I] & [0] \\ [0'] & [TV\omega]^t \end{bmatrix}$$

Assim:

$$\begin{bmatrix} [I] & [0] \\ [0'] & [TV\omega]^t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{FVJ\} \\ \{FVK\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [I] & [0] \\ [0'] & [TV\omega]^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVKJ] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I] & [0'] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{DVJ\} \\ \{D\omega K\} \end{Bmatrix}$$

(10x6) (6x1) (10x6) (6x6) (6x10) (10x1)

Assim encontra-se:

$$\begin{Bmatrix} \{FVJ\} \\ \{F\omega K\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [I] & [0] \\ [0'] & [TV\omega]^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I] & [0'] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{DVJ\} \\ \{D\omega K\} \end{Bmatrix}$$

(10x1) (10x6) (6x6) (6x10) (10x1)

Portanto é visto que a matriz de rigidez da viga para o caso do extremo \textcircled{K} da viga vinculado à parede é dada por (2.21):

$$[RV]_k = [TV\omega]_k^t [RV] [TV\omega]_k \quad (2.21)$$

onde:

$$[TV\omega]_k = \begin{bmatrix} [I] & [0'] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix}$$

sendo as matrizes $[0]$ e $[0']$ constituídas de elementos nulos, ou matriz nulas, com ordem 3×3 e 3×7 , respectivamente. E sendo $[I]$ uma matriz identidade de ordem 3×3 . A matriz $[TV\omega]_k^t$ é a transposta da matriz $[TV\omega]_k$.

39) Se ambos os extremos da viga, \textcircled{J} e \textcircled{K} , estão vinculados à mesma parede ou à diferentes paredes:

Fazendo-se a transformação em (2.14) para $\{DVJ\}$ e $\{DVK\}$ e substituindo-se na equação (2.17), tem-se:

$$\begin{Bmatrix} \{FVJ\} \\ \{FVK\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D\omega J\} \\ \{D\omega K\} \end{Bmatrix} \quad (2.22)$$

(6×1) (6×6) (6×14) (14×1)

Se premultiplicarmos a equação matricial (2.22) pela transposta da matriz de transformação, ou seja:

$$\begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix}^t = \begin{bmatrix} [TV\omega]^t & [0] \\ [0] & [TV\omega]^t \end{bmatrix}$$

Assim:

$$\begin{bmatrix} [TV\omega]^t & [0] \\ [0] & [TV\omega]^t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{FVJ\} \\ \{FVK\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [TV\omega]^t & [0] \\ [0] & [TV\omega]^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D\omega J\} \\ \{D\omega K\} \end{Bmatrix}$$

(14×6) (6×1) (14×6) (6×6) (6×14) (14×1)

Assim encontra-se:

$$\begin{Bmatrix} \{F\omega J\} \\ \{F\omega K\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [TV\omega]^t & [0] \\ [0] & [TV\omega]^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [RVJJ] & [RVJK] \\ [RVKJ] & [RVKK] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{D\omega J\} \\ \{D\omega K\} \end{Bmatrix}$$

(14×1) (14×6) (6×6) (6×14) (14×1)

Portanto é visto que a matriz de rigidez da viga para o caso dos extremos (J) e (K) vinculados à uma parede ou à diferentes paredes é dada por (2.23):

$$[RV]_{jk} = [TV\omega]_{jk}^t [RV] [TV\omega]_{jk}^t \quad (2.23)$$

onde:

$$[TV\omega]_{jk} = \begin{bmatrix} [TV\omega] & [0] \\ [0] & [TV\omega] \end{bmatrix}$$

sendo a matriz [0] constituída de elementos nulos, ou matriz nula, de ordem 3x7. A matriz $[TV\omega]_{jk}^t$ é a transposta da matriz $[TV\omega]_{jk}$.

2.8 - Matriz de rigidez da estrutura

Entre dois níveis A e B a contribuição para a matriz de rigidez da estrutura será dividida em nove submatrizes que são definidas como segue:

$$[R] = \begin{bmatrix} [RAA] & [RAB] & [RAL] \\ [RBA] & [RBB] & [RBL] \\ [RLA] & [RLA] & [RLL] \end{bmatrix}$$

Onde as letras A, B e L das submatrizes têm o seguinte significado:

A = subscrito relativo ao nível de andar "A" e que corresponde às coordenadas não diretamente associadas com o movimento de corpo rígido dos andares. E tem-se:

3 coordenadas para pilares

4 coordenadas para paredes

B = subscrito relativo ao nível de andar "B" e que corresponde às coordenadas não diretamente associadas com o movimento de corpo rígido dos andares. E tem-se:

3 coordenadas para pilares

4 coordenadas para paredes

L = subscrito relativo às coordenadas que definem o movimento de corpo rígido dos andares.

3 coordenadas por andar

Observando-se a figura 2.15 vê-se que os pilares e as paredes estruturais contribuem para todas as nove submatrizes e contribuem, assim, para a rigidez de n \bar{o} e lateral em ambos os níveis de andares A e B. Vê-se também que as vigas do nível A contribuem s \bar{o} para a rigidez de n \bar{o} do mesmo nível.

O particionamento da matriz de rigidez da estrutura nas 9(nove) submatrizes assim definidas torna imediata a contribuição dos elementos, que compõem a estrutura, na matriz de rigidez da estrutura. Esta contribuição pode ser feita de maneira direta para todos os elementos da estrutura, como segue.

2.8.1 - Contribuição das vigas na matriz de rigidez da estrutura

Sabe-se que as vigas de um nível A s \bar{o} contribuem para rigidez de n \bar{o} no nível A e, portanto, s \bar{o} contribuem para a submatriz [RAA] na matriz de rigidez da estrutura. A contribuição das vigas é feita lendo-se os n \bar{o} s inicial e final da viga em análise. Sendo J o n \bar{o} inicial e K o n \bar{o} final da viga e sendo NCE o número de coordenadas de n \bar{o} s do andar da estrutura, tem-se:

COORDENADAS DA ESTRUTURA

$$\begin{matrix}
 \text{COORDENADAS DA VIGA} \\
 \text{ⓐ} \\
 \text{ⓑ}
 \end{matrix}
 \left[\begin{matrix}
 \text{ⓐ} \\
 \text{ⓑ}
 \end{matrix} \right]
 \begin{matrix}
 1 & 2 & \dots & 3J-2 & 3J-1 & 3J & \dots & 3K-2 & 3K-1 & 3K & \dots & \text{NCE} \\
 \left[\begin{matrix}
 1 \\
 2 \\
 3 \\
 4 \\
 5 \\
 6
 \end{matrix} \right]
 \begin{bmatrix}
 0 & 0 & \vdots & 1 & 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\
 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & 1 & \vdots & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\
 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 & 1 & 0 & \vdots & 0 \\
 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0
 \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

Onde $[\beta V]$ é denominada matriz de Incidência cinemática relacionada com vigas não vinculadas à paredes.

Assim tem-se que a contribuição de uma viga i na matriz de rigidez da estrutura é dada por:

$$[RAA]_V = [\beta V]_i^t [RV]_i [\beta V] \quad (2.24)$$

Sendo $[\beta V]_i^t$ a transposta da matriz $[\beta V]$. Se se quiser dar contribuição de todas as vigas do andar A na submatriz $[RAA]$, aplica-se a somatória do número de vigas NV , do andar, assim:

$$[RAA]_V = \sum_{i=1}^{NV} [\beta V]_i^t [RV]_i [\beta V]_i \quad (2.25)$$

Onde com a expressão (2.25) tem-se a contribuição de todas as vigas do andar A à submatriz $[RAA]$, e portanto à matriz de rigidez da estrutura.

Fazendo-se a contribuição de forma direta tem-se que as coordenadas do andar são correspondentes com as coordenadas locais das vigas e, assim sendo, a contribuição é feita diretamente na submatriz $[RAA]$ da matriz de rigidez da estrutura.

COORDENADAS NO ANDAR A

	1	2	3	3J-2	3J-1	3J	.....	3K-2	3K-1	3K	NCE
1												
2												
3												
.....												
3J-2						[RVJJ]				[RVJK]		
3J-1												
3J												
.....												
3K-2												
3K-1						[RVKJ]				[RVKK]		
3K												
.....												
NCE												

COORDENADAS NO ANDAR A
[RAA] =

2.8.2 - Contribuição dos pilares na matriz de rigidez da estrutura

Observando-se a figura 2.3 (a) vê-se que um elemento de pilar tem os dois extremos nos níveis de andares A e B definidos pelo mesmo N^o I. Assim sendo, tem-se que na contribuição dos pilares para a matriz de rigidez da estrutura há as seguintes simplificações imediatas:

$$[RAA] = [RBB]$$

NOTA:

$$[RAB] = [RBA]$$

$$[RAL] = [RLA]^t$$

$$[RBL] = [RLB]^t$$

A matriz de rigidez dos pilares $[RP]$, definida em 2.4, será representada por seus elementos $RP(i,j)$, onde $i=1,12$ e $j = 1,12$.

Para se obter a contribuição de um elemento de pilar, figura 2.3 (a), na submatriz $[RAA]$ da matriz de rigidez da estrutura faz-se de forma direta, sabendo-se que para o N^o I, característico de pilares, tem-se as três coordenadas $3I-2$, $3I-1$ e $3I$ nas coordenadas globais do andar da estrutura. Assim sendo e sabendo-se que as coordenadas $3I-2$, $3I-1$ e $3I$ correspondem às coordenadas locais 1, 2 e 3 dos pilares, conforme figura 2.3 (b), tem-se então a contribuição de forma direta, onde analisaram-se os casos em que o ângulo β é nulo:

COORDENADAS NO ANDAR A

		1	2	.....	3I-2	3I-1	3I	.....	NCE	
[RAA] =	COORDENADAS NO ANDAR A	1								
		2								
		⋮								
		⋮								
		3I-2				RP(1,1)	RP(1,2)	RP(1,3)		
		3I-1				RP(2,1)	RP(2,2)	RP(2,3)		
		3I				RP(3,1)	RP(3,2)	RP(3,3)		
⋮										
⋮										
⋮										
	NCE									

Para a submatriz [RAB] tem-se que a contribuição de um elemento de pilar faz-se de maneira análoga, uma vez que o N^o I de um nível de andar inferior B é uma projeção na vertical do mesmo N^o I no nível de andar superior A. Assim sendo, a contribuição de um elemento de pilar na submatriz [RAB] da matriz de rigidez da estrutura dar-se-á como segue:

COORDENADAS NO ANDAR B

		1	2	.....	3 \bar{I} -2	3 \bar{I} -1	3 \bar{I}	.....	NCE	
[RAB] =	COORDENADAS NO ANDAR A	1								
		2								
		⋮								
		⋮								
		3I-2				RP(1,7)	RP(1,8)	RP(1,9)		
		3I-1				RP(2,7)	RP(2,8)	RP(2,9)		
		3I				RP(3,7)	RP(3,8)	RP(3,9)		
⋮										
⋮										
⋮										
	NCE									

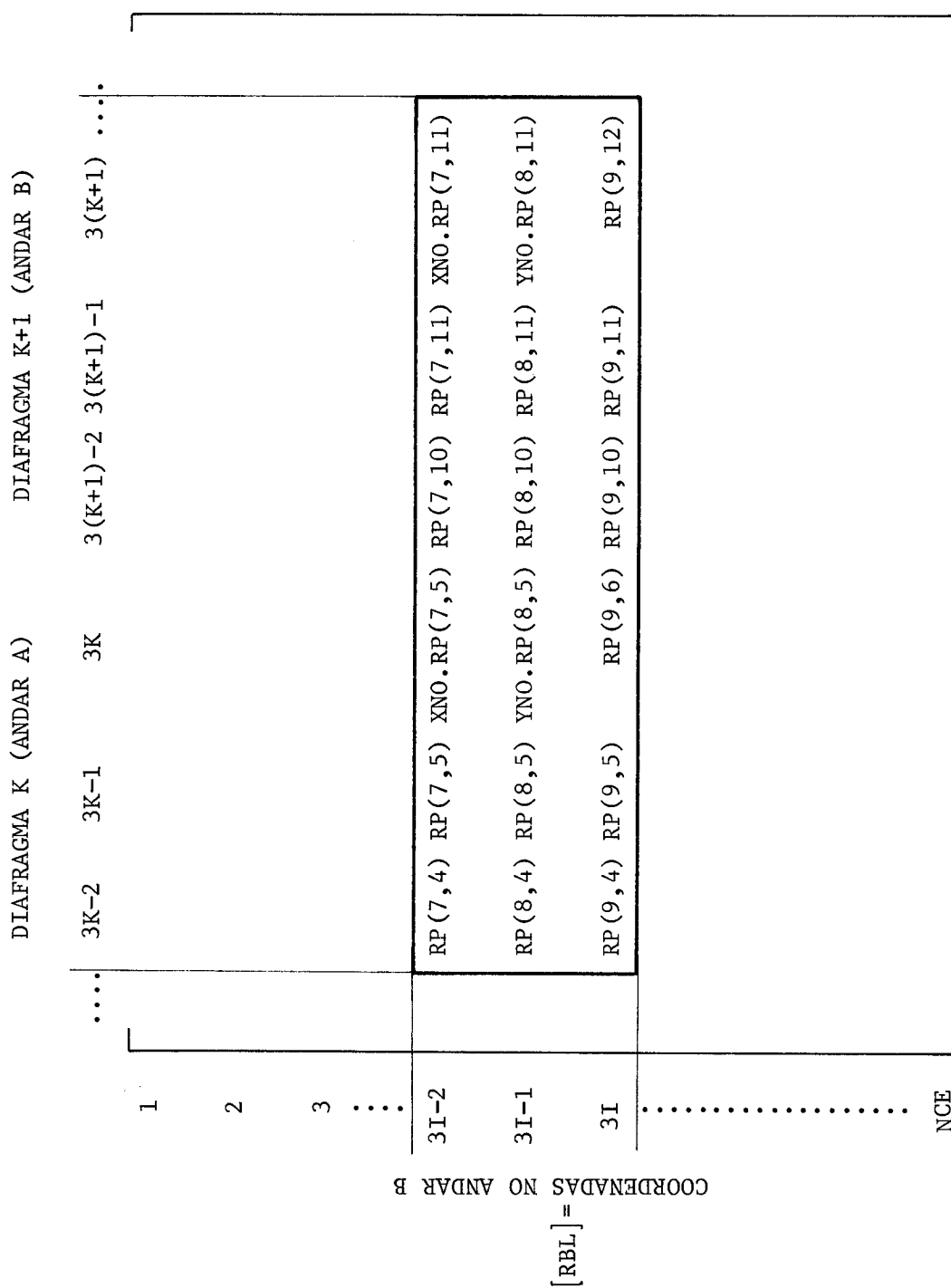
Para se obter a contribuição de um elemento de pilar, como representado na figura 2.3 (a), na submatriz [RAL] da matriz de rigidez da estrutura procede-se de maneira direta, observando-se que a posição do N^o I em relação ao sistema global do andar é definida pelos valores X_{N0} e Y_{N0}, respectivamente, em relação aos eixos X e Y. A transformação matricial para o sistema global está implícita na equação (2.4) e dela chega-se às submatrizes [RAL], [RBL], [RLA], [RLB] e [RLL]. Fazendo-se de forma direta tem-se:

		DIAFRAGMA K (ANDAR A)			DIAFRAGMA K+1 (ANDAR B)		
		3K-2	3K-1	3K	3(K+1)-2	3(K+1)-1	3(K+1)
COORDENADAS NO ANDAR A	1	.....				
	2	.....				
	3	.....				
					
	3I-2	RP(1,4)	RP(1,5)	XNO.RP(1,5)	RP(1,10)	RP(1,11)	XNO.RP(1,11)
	3I-1	RP(2,4)	RP(2,5)	YNO.RP(2,5)	RP(2,10)	RP(2,11)	YNO.RP(2,11)
	3I	RP(3,4)	RP(3,5)	RP(3,6)	RP(3,10)	RP(3,11)	RP(3,12)
					
	NCE	.....				

[RAL] =

Obtendo-se assim a contribuição de um elemento de pilar na submatriz $[RAL]$ da matriz de rigidez da estrutura com uma simples adequação da matriz de rigidez dos pilares referida às coordenadas locais, como representado na figura 2.3 (b).

Para a submatriz $[RBL]$, a contribuição de um elemento de pilar é feita de maneira análoga ao procedimento adotado para a submatriz $[RAL]$ e pode ser obtida diretamente como segue:



Para a submatriz $[RLL]$ a contribuição de um elemento de pilar é dada como segue:

		DIAFRAGMA K (ANDAR A)				DIAFRAGMA K+1 (ANDAR B)			
		3K-2	3K-1	3K	3(K+1)-2	3(K+1)-1	3(K+1)	...	
DIAFRAGMA K (ANDAR A)	3K-2	RP(4,4)	RP(4,5)	-YNO.RP(4,4)	RP(4,10)	RP(4,11)	-YNO.RP(4,10)		
	3K-1	RP(5,4)	RP(5,5)	XNO.RP(5,5)	RP(5,10)	RP(5,11)	XNO.RP(5,11)		
	3K	-YNO.RP(4,4)	XNO.RP(5,5)	RAUX	-YNO.RP(4,10)	XNO.RP(5,11)	-RAUX		
	3(K+1)-2	RP(10,4)	RP(10,5)	-YNO.RP(10,4)	RP(10,10)	RP(10,11)	-YNO.RP(10,10)		
	3(K+1)-1	RP(11,4)	RP(11,5)	XNO.RP(11,5)	RP(11,10)	RP(11,11)	XNO.RP(11,11)		
3(K+1)	-YNO.RP(10,4)	XNO.RP(11,5)	-RAUX	-YNO.RP(10,10)	XNO.RP(11,11)	RAUX			
DIAFRAGMA K+1 (ANDAR B)									

onde tem-se:

$$RAUX = RP(6,6) + XNO^2 \cdot RP(5,5) + YNO^2 \cdot RP(4,4)$$

2.8.3 - Contribuição das paredes na matriz de rigidez da estrutura

Para se obter a contribuição de um elemento de parede na matriz de rigidez da estrutura procede-se de maneira análoga à contribuição dos pilares. Da figura 2.6 (a) observam-se as seguintes simplificações:

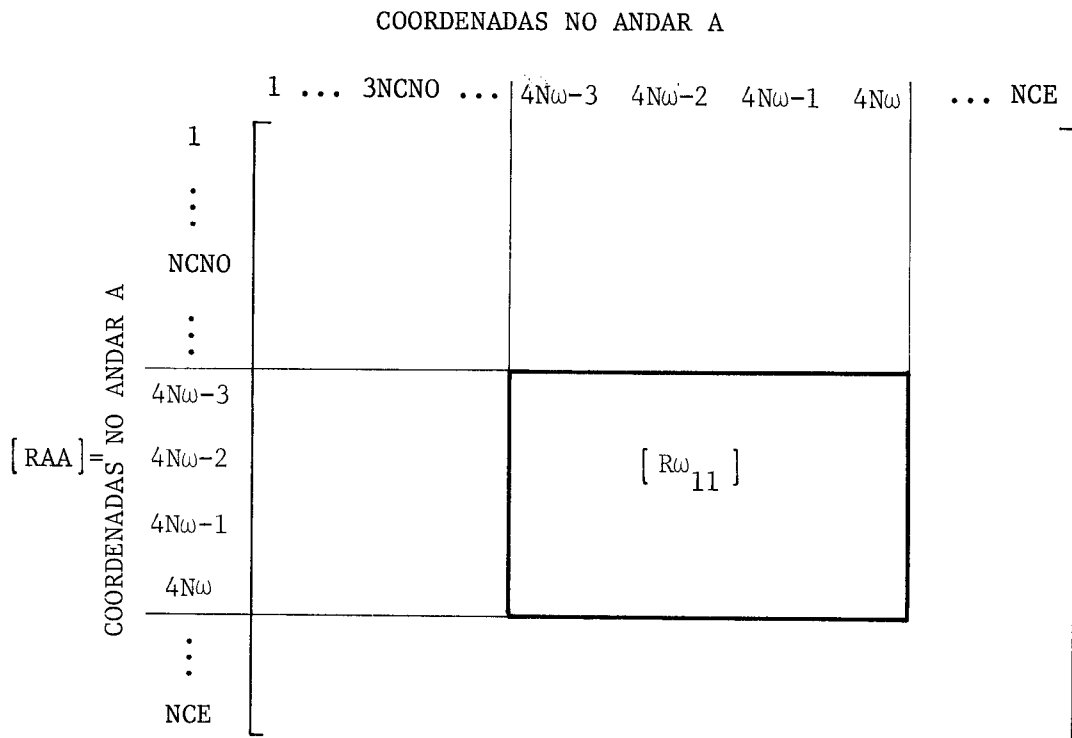
$$[RAA] = [RBB]$$

$$[RAB] = [RBA]$$

$$[RAL] = [RLA]^t$$

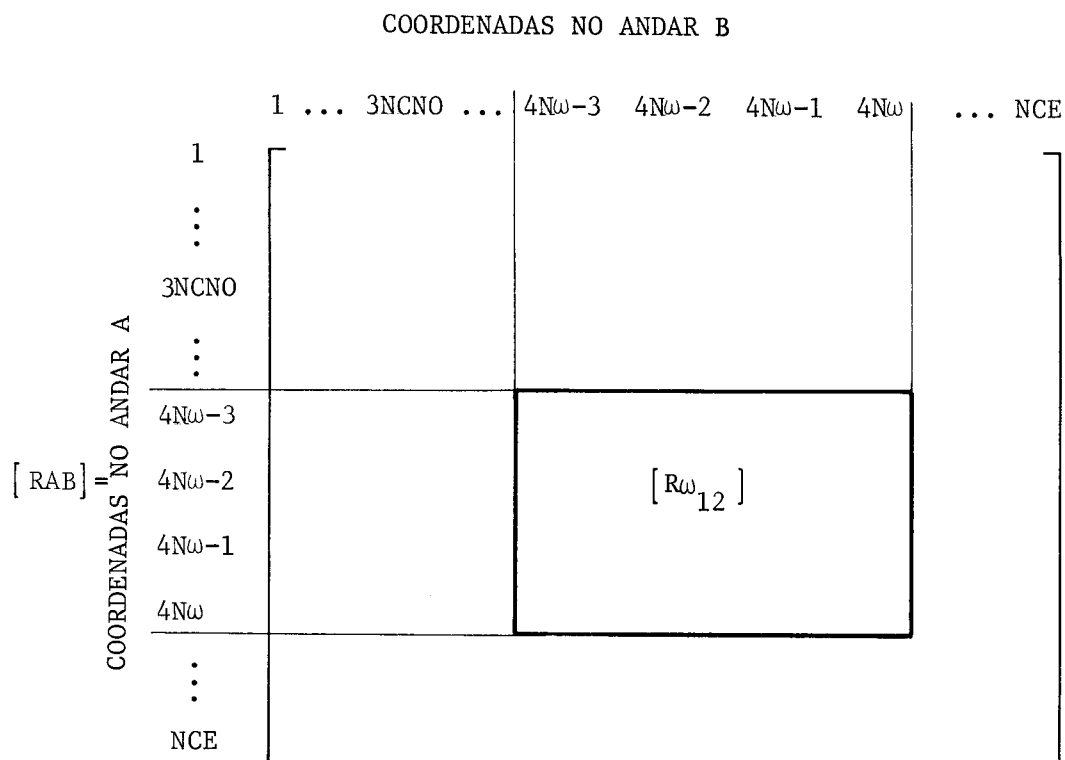
$$[RBL] = [RLB]^t$$

Para a submatriz $[RAA]$ a contribuição de um elemento é feita diretamente da submatriz $[R\omega_{11}]$, definida no particionamento da matriz $[R\omega]$. Assim:



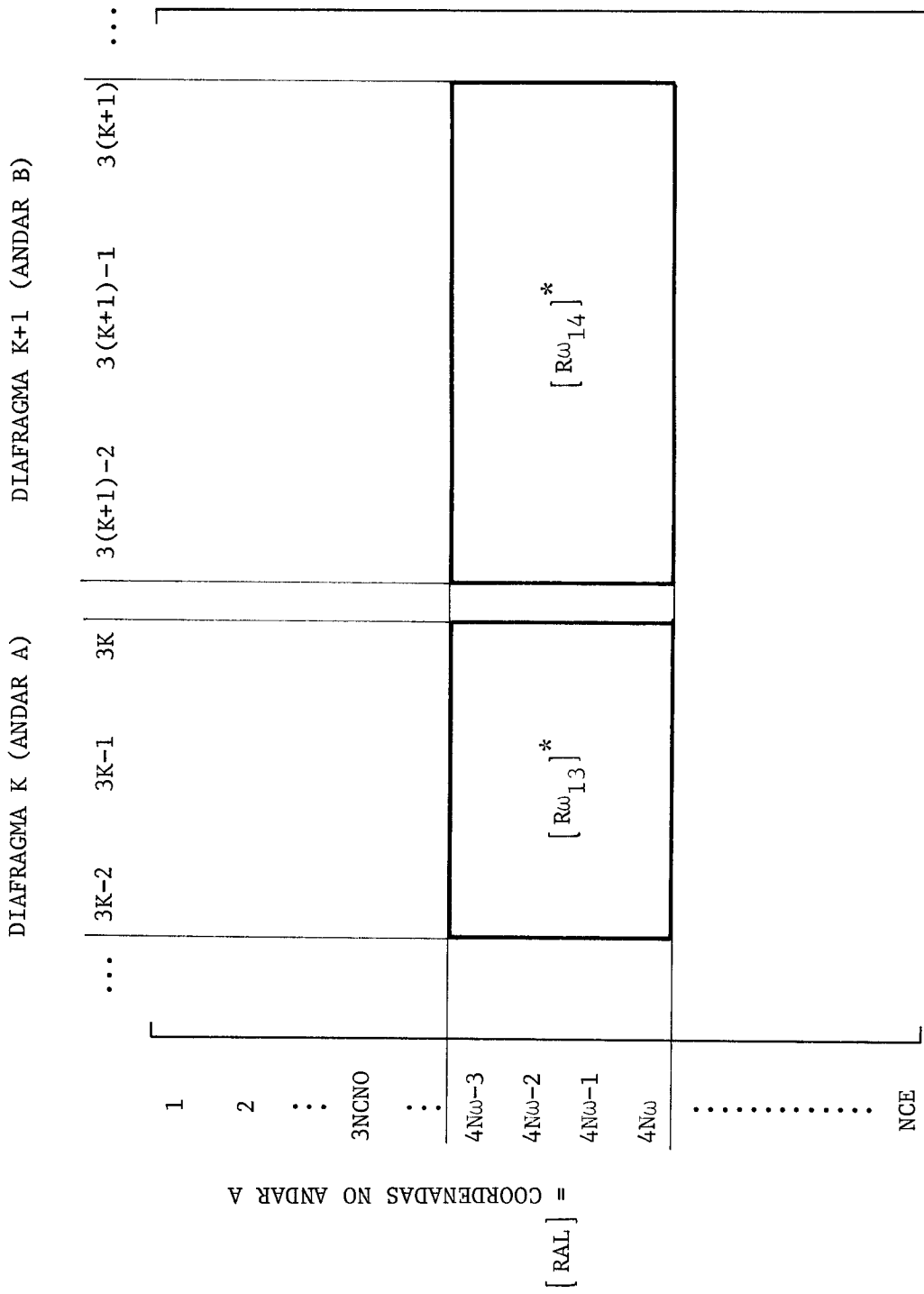
Onde $NCNO$ é o número cumulativo de nós relativos à pilares e $N\omega$ é o número da parede.

Para a submatriz $[RAB]$ a contribuição de um elemento de parede é dada diretamente pela submatriz $[R\omega_{12}]$, definida no particionamento da matriz $[R\omega]$. Assim tem-se:



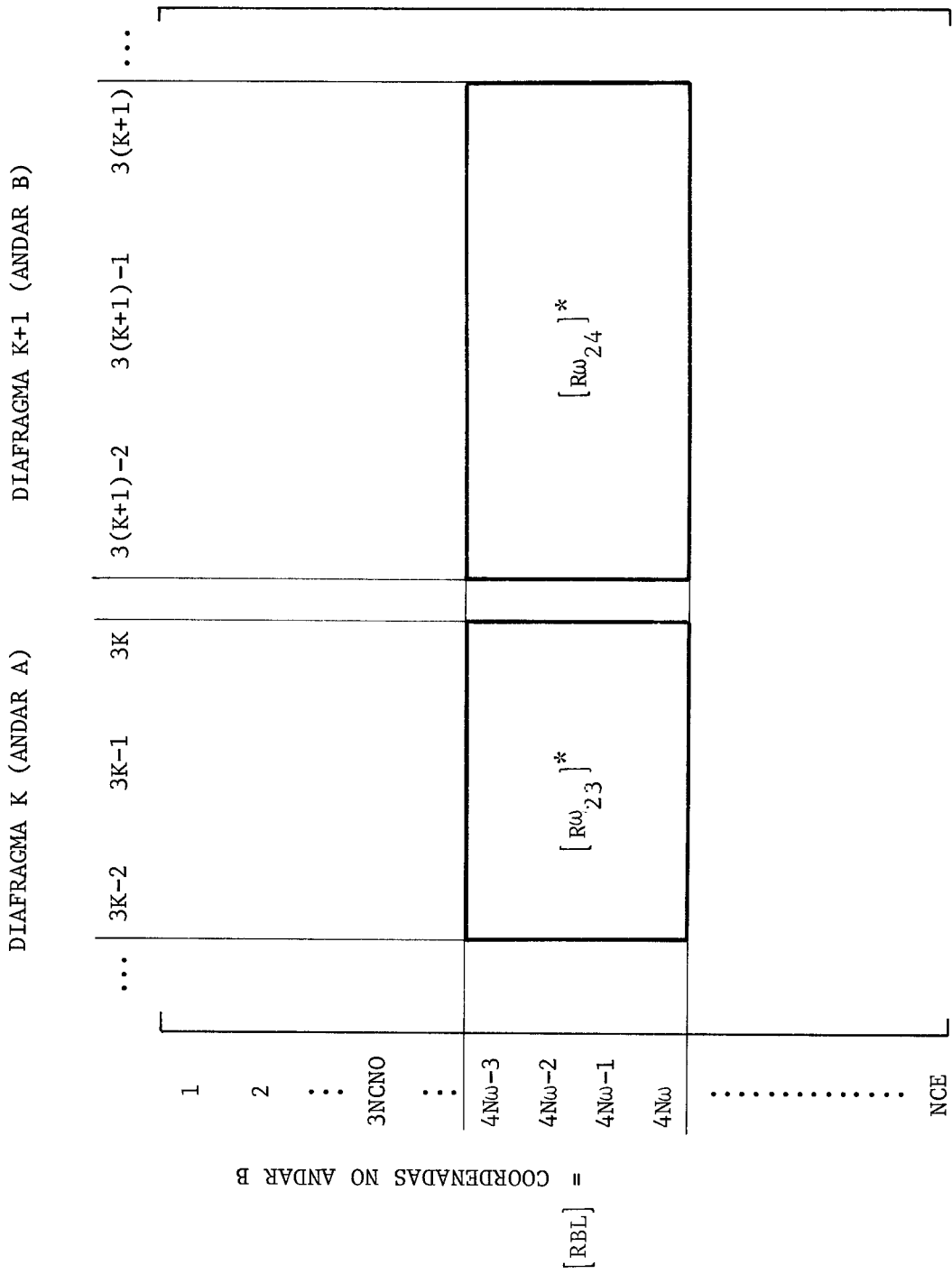
A equação de transformação matricial (2.13) fornece a mudança da matriz de rigidez $[R\omega]$, dada no sistema local da figura 2.6 (b), para o sistema global do andar da figura 2.6 (a). Obtém-se assim a contribuição de $[R\omega]$ nas submatrizes $[RAL]$, $[RBL]$ e $[RLL]$.

Para a submatriz $[RAL]$, a contribuição de um elemento de parede é dada como segue:



Onde as submatrizes $[R_{13}^{\omega}]^*$ e $[R_{14}^{\omega}]^*$ são obtidas da equação de transformação matricial definida em (2.13).

Para a submatriz $[RBL]$, a contribuição de um elemento de parede é dada como segue:



Onde as submatrizes $[R\omega_{23}]^*$ e $[R\omega_{24}]^*$ são obtidas da equação de transformação matricial definida em (2.13).

Para a submatriz $[RLL]$, a contribuição de um elemento de parede também é dada, diretamente, como segue:

		DIAFRAGMA K (ANDAR A)			DIAFRAGMA K+1 (ANDAR B)				
		...	3K-2	3K-1	3K	3(K+1)-2	3(K+1)-1	3(K+1)	...
$[RLL]$	DIAFRAGMA K (ANDAR A)	...							...
	3K-2								
	3K-1			$[R\omega_{33}]^*$				$[R\omega_{34}]^*$	
	3K								
	DIAFRAGMA K+1 (ANDAR B)	3(K+1)-2							
	3(K+1)-1			$[R\omega_{43}]^*$				$[R\omega_{44}]^*$	
	3(K+1)								
	...								

Onde as submatrizes $[R\omega_{33}]^*$, $[R\omega_{34}]^*$, $[R\omega_{43}]^*$ e $[R\omega_{44}]^*$ são obtidas da equação de transformação matricial definida em (2.13).

2.9 - Geração da matriz de rigidez lateral $[RLL]$:

A matriz de rigidez lateral, $[RLL]$, acopla as coordenadas de deslocamentos de corpo rígido de todos os andares do edifício. A técnica de condensação de matriz utilizada na geração da matriz de rigidez lateral consiste, inicialmente, na contribuição à matriz $[RLL]$ onde, ao se imporem deslocamentos unitários nas 3(três) coordenadas livres do andar, todos os nós descrevem, livremente, o movimento de corpo rígido do diafragma, mantendo impedidas as outras deslocabilidades. Começando no andar do topo, as contribuições

dos elementos individuais são adicionados à matriz de rigidez da estrutura. Antes do procedimento para o andar imediatamente inferior, uma matriz de rigidez modificada da estrutura é determinada, na qual todas as coordenadas de nós impedidos, não diretamente associadas com o movimento de corpo rígido dos andares, são eliminadas. Este procedimento é repetido andar por andar até a base, onde supõe-se que todos os deslocamentos são nulos, quando a matriz de rigidez lateral, $[RLL]^*$, terá ordem $3NA \times 3NA$, sendo NA o número de andares do edifício. O vetor das forças laterais, $\{FL\}^*$, é determinado no processo de eliminação.

Durante o processo de eliminação, entre dois níveis de andar A e B, as equações AÇÃO-DESLOCAMENTO podem ser representadas, por MANNING JR. (08), na forma:

$$\begin{bmatrix} [RAA] & [RAB] & [RAL] \\ [RBA] & [RBB] & [RBL] \\ [RLA] & [RLB] & [RLL] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{DA\} \\ \{DB\} \\ \{DL\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{FA\} \\ \{FB\} \\ \{FL\} \end{Bmatrix} \quad (2.26)$$

Onde em (2.26) as letras A, B e L dos vetores deslocamentos, $\{D\}$, e de forças, $\{F\}$, têm o mesmo significado de coordenadas definidos para a matriz de rigidez da estrutura. O vetor $\{DL\}$ refere-se aos níveis A e B.

Desenvolvendo-se o sistema (2.26), tem-se:

$$[RAA] \{DA\} + [RAB] \{DB\} + [RAL] \{DL\} = \{FA\} \dots (1)$$

$$[RBA] \{DA\} + [RBB] \{DB\} + [RBL] \{DL\} = \{FB\} \dots (2) \quad (2.27)$$

$$[RLA] \{DA\} + [RLB] \{DB\} + [RLL] \{DL\} = \{FL\} \dots (3)$$

Do sistema de equações (2.27), tem-se:

De (1):

$$\{DA\} = [RAA]^{-1} (\{FA\} - [RAB]\{DB\} - [RAL]\{DL\}) \quad (4)$$

Substituindo-se (4) em (2):

$$\begin{aligned} [RBA]([RAA]^{-1} (\{FA\} - [RAB]\{DB\} - [RAL]\{DL\})) + \dots \\ \dots + [RBB]\{DB\} + [RBL]\{DL\} = \{FB\} \end{aligned} \quad (5)$$

Desenvolvendo e arrumando os termos em (5), vem:

$$\boxed{[RBB]^* \{DB\} + [RBL]^* \{DL\} = \{FB\}^*} \quad (6)$$

onde em (6), tem-se:

$$[RBB]^* = [RBB] - [RBA][RAA]^{-1}[RAB]$$

$$[RBL]^* = [RBL] - [RBA][RAA]^{-1}[RAL]$$

$$\{FB\}^* = \{FB\} - [RBA][RAA]^{-1}\{FA\}$$

Substituindo-se (4) em (3):

$$\begin{aligned} [RLA]([RAA]^{-1} (\{FA\} - [RAB]\{DB\} - [RAL]\{DL\})) + \dots \\ \dots + [RLB]\{DB\} + [RLL]\{DL\} = \{FL\} \end{aligned} \quad (7)$$

Desenvolvendo e arrumando os termos em (7), vem:

$$\boxed{[RLB]^* \{DB\} + [RLL]^* \{DL\} = \{FL\}^*} \quad (8)$$

onde em (8), tem-se:

$$[RLB]^* = [RLB] - [RLA][RAA]^{-1}[RAB]$$

$$[RLL]^* = [RLL] - [RLA][RAA]^{-1}[RAL]$$

$$\{FL\}^* = \{FL\} - [RLA][RAA]^{-1}\{FA\}$$

No andar da base, onde $\{DB\}$ é tomado nulo, a equação (8) torna-se:

$$\boxed{[RLL]^* \{DL\} = \{FL\}^*} \quad (9)$$

Assim tem-se que, após a última eliminação, a matriz $[RLL]^*$ é a própria matriz de rigidez lateral desejada. Da resolução da equação (9) têm-se os deslocamentos de corpo rígido de todos os andares do edifício. No presente trabalho adotou-se o algoritmo de GAUSS para resolução da equação (9).

Depois que o vetor de deslocamento de corpo rígido dos andares, $\{DL\}$, é determinado, calculam-se os deslocamentos $\{DA\}$ dados pela equação (4), começando da base onde $\{DB\}$ é nulo. No processo de retro-substituição o vetor $\{DA\}$ passa a ser $\{DB\}$ para o nível de andar acima. Os produtos matriciais $[RAA]^{-1}\{FA\}$, $[RAA]^{-1}[RAB]$ e $[RAA]^{-1}[RAL]$, gerados durante o processo de eliminação, são armazenados para cada nível de andar na eliminação.

2.10 - Determinação de esforços

2.10.1 - Esforços em vigas

Os esforços nos extremos das vigas, $\{ESFV\}$, são obtidos colocando-se os elementos do vetor $\{DA\}$, relacionados com os extremos da viga, dentro do vetor deslocamentos

{DV} para viga. Assim, sendo [RV] a matriz de rigidez da viga, tem-se:

$$\{ESFV\} = [RV] \{DV\} \quad (2.28)$$

Com (2.28) obtêm-se os esforços nos extremos das vigas, dados pelo vetor {ESFV}.

2.10.2 - Esforços em pilares

Os esforços nos extremos dos pilares, {ESFP}, são obtidos colocando-se os elementos dos vetores {DA} e {DB} relacionados com os nós relativo ao elemento de pilar, nos níveis A e B, dentro do vetor {DP} e também os deslocamentos do vetor {DL} transportados para o pilar. Assim, sendo [RP] a matriz de rigidez do pilar, tem-se:

$$\{ESFP\} = [RP] \{DV\} \quad (2.29)$$

Com (2.29) obtêm-se os esforços nos extremos dos pilares, dados pelo vetor {ESFP}.

2.10.3 - Esforços em paredes

Os esforços nos extremos das paredes, {ESF ω }, são obtidos colocando-se os elementos dos vetores {DA} e {DB} relacionados com os nós relativo ao elemento de parede, nos níveis A e B, dentro do vetor {D ω } e também os deslocamentos do vetor {DL} transportados para a parede. Assim, sendo [R ω] a matriz de rigidez da parede, tem-se:

$$\{ESF\omega\} = [R\omega] \{D\omega\} \quad (2.30)$$

Com (2.30) obtêm-se os esforços nos extremos das paredes, dados pelo vetor {ESF ω }.

PARTE III

PROGRAMA PARA CÁLCULO AUTOMÁTICO

3.1 - Introdução

Com base na teoria apresentada nas partes I e II, confeccionou-se um programa para cálculo automático por computadores. Este programa usa a linguagem FORTRAN IV e foi desenvolvido para o computador IBM-370/148.

3.2 - Considerações iniciais

Algumas hipóteses foram impostas na elaboração do programa visando facilitar a introdução das paredes de seção aberta associadas com pórticos espaciais no arranjo estrutural de edifícios altos. Os pórticos espaciais analisados no programa são do tipo retangular ou compostos por prumadas de pilares situadas nas duas direções ortogonais do sistema de eixos globais da estrutura. As paredes estruturais analisadas no programa são compostas por segmentos de retângulos, ortogonais entre si, e com espessura constante.

Apresenta-se a seguir uma listagem do programa para cálculo automático desenvolvido em linguagem FORTRAN IV, contendo comentários sobre as variáveis de entrada de dados e sobre os passos desenvolvidos nos processos de eliminação e resolução das estruturas analisadas no mesmo.

L I S T A G E M P R O G R A M A


```

*) ,REB(140,140),TR1(140,140,20),FA(140),TR2(140,63,20),CW(5),MW(5),
*XIw(5),YIw(5),GX(5),GY(5),XCw(5),YCw(5),GAMA(5),YNO(9),MODW(5),ZW(
*5),VWX(5,50),VWY(5,50),IVY(9,9),LINTX(9,9),LINTY(9,9),NVW(50)
REAL IFVX(9,9),IFVY(9,9),ITVX(9,9),ITVY(9,9),IPX(9,9),IPY(9,9),ITP
*(9,9),LX(9),LY(9),MZ(5),LW(9,9),JT(5),JW(5)
INTEGER CNUP,CNCw,CNCVX,CNOVY,CCNC,TIPO(5),DHw,DBw,IPVT(20)
OPEN(UNIT=01,STATUS='OLD',FILE='RIBEIRO',ACCESS='SEQUENTIAL',FORM=
*'FORMATTED')
OPEN(UNIT=08,STATUS='OLD',FILE='VIGAX',ACCESS='DIRECT',FORM='UNFOR
*MATTED',RECL=13000)
OPEN(UNIT=09,STATUS='OLD',FILE='VIGAY',ACCESS='DIRECT',FORM='UNFOR
*MATTED',RECL=13000)
OPEN(UNIT=10,STATUS='OLD',FILE='IPXPY',ACCESS='DIRECT',FORM='UNFOR
*MATTED',RECL=13000)
OPEN(UNIT=11,STATUS='OLD',FILE='ITPAP',ACCESS='DIRECT',FORM='UNFOR
*MATTED',RECL=20000)
OPEN(UNIT=12,STATUS='OLD',FILE='CARGA',ACCESS='DIRECT',FORM='UNFOR
*MATTED',RECL=26000)
IIS=6

```

C *****

ENTRADA DE DADOS

C NVX = NUMERO DE VACS NA DIRECAO X
C NVY = NUMERO DE VACS NA DIRECAO Y
C NA = NUMERO DE ANCARES
C Nw = NUMERO DE PAREDES
C E = MODULO DE ELASTICIDADE LONGITUDINAL
C G = MODULO DE ELASTICIDADE TRANSVERSAL

C *****

```
READ(1,5)NVX,NVY,NA,Nw,E,G
```

```
5 FORMAT(4I2,2E10.4)
```

```
WRITE(IIS,10)NVX,NVY,NA,Nw,E,G
```

```
10 FORMAT(/,5X,'NUMERO DE VACS X ',5X,'NUMERO DE VACS Y ',5X,'NUME
*RO DE ANCARES ',5X,'NUMERO DE PAREDES ',//,10X,'NVX = ',I2,15X,'
*NVY = ',I2,16X,'NA = ',I2,17X,'Nw = ',I2,4(/),10X,'MODULO DE ELAST
*CIDADE LONGITUDINAL ',10X,'MODULO DE ELASTICIDADE TRANSVERSAL '
*,//,19X,'E = ',E14.7,29X,'G = ',E14.7)
```

```
DO 305 I=1,NVX
```

C *****

ENTRADA DE DADOS

C LX = COMPRIMENTO DOS VACS NA DIRECAO X

C *****

```
READ(1,15)LX(I)
```

```
15 FORMAT(E10.4)
```

```
305 CONTINUE
```

```
DO 306 J=1,NVY
```

C *****

ENTRADA DE DADOS

C LY = COMPRIMENTO DOS VACS NA DIRECAO Y

C *****

```
READ(1,30)LY(J)
```

```
30 FORMAT(E10.4)
```

```
306 CONTINUE
```

DO 55 I=1,NA

C *****
C ENTRADA DE DADOS

HA = ALTURA DOS ANDARES

C *****

READ(1,45)HA(I)

45 FORMAT(E10.4)

55 CONTINUE

WRITE(IIS,49)

49 FORMAT(4(/),38X,'ALTURA DOS ANDARES',3(/),31X,'DO ANDAR DO TOPO AO * ANDAR DA BASE')

DO 51 I=1,NA

IK=NA+1-I

WRITE(IIS,50)IK,HA(IK)

50 FORMAT(/,37X,'HA(',I2,')=',E13.7)

51 CONTINUE

NOX=NVX+1

NOY=NVY+1

DO 61 I=1,9

DO 61 J=1,9

CNOVX(I,J)=0

CNOVY(I,J)=0

CNOPI(I,J)=0

CCNO(I,J)=0

CNOw(I,J)=0

LINTX(I,J)=0

LINTY(I,J)=0

Lw(I,J)=0.0

XNO(I)=0.0

YNO(J)=0.0

61 CONTINUE

DO 80 I=1,NOX

DO 80 J=1,NOY

IVX(I,J)=1

IVY(I,J)=1

CNOPI(I,J)=1

CNOw(I,J)=0

80 CONTINUE

C *****
C ENTRADA DE DADOS

NNO = NUMERO DE NOS A OMITIR

C *****

READ(1,85)NNO

85 FORMAT(I2)

IF(NNO.EQ.0)GO TO 88

DO 90 K=1,NNO

C *****
C ENTRADA DE DADOS

I , J = COORDENADAS DOS NOS A OMITIR

C *****

READ(1,96)I,J

96 FORMAT(2I2)

CNOPI(I,J)=0

```
90 CONTINUE
   DO 93 I=1,NOX
   DO 93 J=1,NOY
C      *****
C      ENTRADA DE DADOS
C
C      IVX = INDICE DE EXISTENCIA DE VIGAS NA DIRECAO X
C      IVY = INDICE DE EXISTENCIA DE VIGAS NA DIRECAO Y
C      *****
   READ(1,94)IVX(I,J),IVY(I,J)
94  FORMAT(2I2)
93  CONTINUE
88  CONTINUE
   DO 100 I=1,NVX
   XNO(I+1)=XNO(I)+LX(I)
100 CONTINUE
   DO 105 J=1,NVY
   YNO(J+1)=YNO(J)+LY(J)
105 CONTINUE
   AREA=0.0
   XCGA=0.0
   YCGA=0.0
   RGA=0.0
   DO 110 I=1,NVY
   DO 110 J=1,NVX
   S=LX(J)*LY(I)
   AREA=AREA+S
   XCGA=XCGA+S*(XNO(IJ)+LX(J)/2.0)
   YCGA=YCGA+S*(YNO(I)+LY(I)/2.0)
110 CONTINUE
321 CONTINUE
   XCGA=XCGA/AREA
   YCGA=YCGA/AREA
   DO 130 I=1,NVX
   DO 130 J=1,NOY
   CNBVX(I,J)=1
   KAUX1=IVX(I,J)
   IF(KAUX1.EQ.0)GO TO 135
   GO TO 130
135 CNBVX(I,J)=0
130 CONTINUE
   DO 145 I=1,NOX
   DO 145 J=1,NVY
   CNBVY(I,J)=1
   KAUX1=IVY(I,J)
   IF(KAUX1.EQ.0)GO TO 150
   GO TO 145
150 CNBVY(I,J)=0
145 CONTINUE
   DO 158 I=1,5
   DO 158 J=1,50
   VW(I,J)=0.0
   VWX(I,J)=0.0
   VWY(I,J)=0.0
   NVW(J)=0
158 CONTINUE
```

```
155 NNW=0
    IF(NW.EQ.0)GO TO 166
    DO 160 K=1,NW
C     SE WALL MODULADA          MODW = 1
C     SE WALL NAC MODULADA     MODW = 0
    READ(1,161)MODW(K)
161 FORMAT(I2)
    HW(K)=0.0
    BW(K)=0.0
    CCW(K)=0.0
    CGW(K)=0.0
    XCCW(K)=0.0
    YCCW(K)=0.0
    DBW(K)=0
    DHW(K)=0
    CALL WALL(K,NNW,LX,LY,CNCP,CNCW,CNDVX,CNDVY,XNG,YNG,XCCW,YCCW,VW,H
    *W,BW,DHW,DBW,TYPE,CCW,CGW,MW,CW,MODW,ZW,VWX,VWY,LINTX,LINTY,LW,NVW
    *,IIS)
    IF(K.EQ.NW)GO TO 166
160 CONTINUE
166 CONTINUE
    DO 165 J=1,NCY
    DO 165 I=1,NCX
    IF(I.GT.1)GO TO 170
    IF(J.EQ.1)GO TO 175
    CCNC(I,J)=CNCP(I,J)+CCNC(NCX,J-1)
175 CCNC(I,1)=CNCP(I,1)
    GO TO 165
170 CCNC(I,J)=CCNC(I-1,J)+CNCP(I,J)
165 CONTINUE
324 CONTINUE
    NCNC=CCNC(NCX,NCY)
    NGL=3*NCNC+4*NW
    NAUX1=3*NCNC+4*NW
    NAUX2=3*NA+3
    DO 17 IN=1,NAUX1
    DO 17 JN=1,NAUX1
    DO 17 KN=1,NAUX2
    DO 17 LN=1,NAUX2
    DO 17 NN=1,NA
    RAA(IN,JN)=0.0
    RBB(IN,JN)=0.0
    RAB(IN,JN)=0.0
    RAL(IN,KN)=0.0
    RBL(IN,KN)=0.0
    RLL(KN,LN)=0.0
    TR1(IN,JN,NN)=0.0
    TR2(IN,KN,NN)=0.0
    TR3(IN,NN)=0.0
17 CONTINUE
    DO 18 I=1,NAUX1
18 FA(I)=0.0
    DO 179 J=1,NAUX2
179 FL(J)=0.0
    DO 180 K=1,NA
    IF(K.EQ.1)GO TO 830
```

```

C      *****
C      ENTRADA DE DADOS
C
C      IPVT .....  INDICE DE PAVIMENTO TIPO
C
C      *****
C      READ(1,811)IPVT(K)
811  FORMAT(I2)
      IAUX=IPVT(K)
      IF(IAUX.EQ.0)GO TO 830
      KAUX=K-1
      READ(08,REC=KAUX)IFVX,ITVX
      READ(09,REC=KAUX)IFVY,ITVY
      READ(10,REC=KAUX)IPX,IPY
      READ(11,REC=KAUX)ITP,AP
      GO TO 850
830  CONTINUE
      DO 190 I=1,NAUX
      DO 190 J=1,NOY
      NAUX=CN0VX(I,J)
      IF(NAUX.EQ.0)GO TO 190

```

```

C      *****
C      ENTRADA DE DADOS
C
C      IFVX = INERCIA A FLEXAO DE VIGAS NA DIRECAO X
C      ITVX = INERCIA A TORCAO DE VIGAS NA DIRECAO X
C      *****
C      READ(1,195)IFVX(I,J),ITVX(I,J)
195  FORMAT(2E14.7)
190  CONTINUE
      DO 210 I=1,NOX
      DO 210 J=1,NOY
      NAUX=CN0VY(I,J)
      IF(NAUX.EQ.0)GO TO 210

```

```

C      *****
C      ENTRADA DE DADOS
C
C      IFVY = INERCIA A FLEXAO DE VIGAS NA DIRECAO Y
C      ITVY = INERCIA A TORCAO DE VIGAS NA DIRECAO Y
C      *****
C      READ(1,211)IFVY(I,J),ITVY(I,J)
211  FORMAT(2E14.7)
210  CONTINUE
      DO 215 I=1,NOX
      DO 215 J=1,NOY
      NAUX=CN0P(I,J)
      IF(NAUX.EQ.0)GO TO 215

```

```

C      *****
C      ENTRADA DE DADOS
C
C      IPX = INERCIA A FLEXAO DE PILARES NA DIRECAO X
C      IPY = INERCIA A FLEXAO DE PILARES NA DIRECAO Y
C      ITP = INERCIA A TORCAO DE PILARES
C      AP  = AREA DA SECCAO TRANSVERSAL DE PILARES
C      *****
C      READ(1,225)IPX(I,J),IPY(I,J),ITP(I,J),AP(I,J)

```

```
225 FORMAT(4E14.7)
215 CONTINUE
350 CONTINUE
    IF(NW)220,250,220
220 CONTINUE
    DO 222 J=1,Nw
    READ(1,230)TW(J)
230 FORMAT(E10.4)
222 CONTINUE
250 CONTINUE
    IF(NW.EQ.0)GO TO 255
    DO 2&0 KW=1,Nw
    CALL RIGW(K,Kw,Bw,Hw,Tw,HA,DHw,DBw,XCCw,YCCw,E,G,NCNC,TIPO,RW11,RW
*21,RW31,RW32,RW33,RAA,RAB,RBB,RAL,RBL,RLL,CCw,CGw,Mw,Cw,AW,XIW,YIW
*,GX,GY,XCw,YCw,GAMA,JT,Jw,Zw,IIS)
2&0 CONTINUE
255 CONTINUE
    CALL RIGVP(K,NVX,NVY,CNOP,CCNG,E,G,AP,ITP,IPX,IPY,IFVX,IFVY,ITVX,I
*TVY,HA,LX,LY,XNC,YNO,CNOVX,CNOVY,CNOw,Vw,NCNO,RAA,R5B,RAB,RAL,RLL,
*RBL,NA,Nw,VWx,VWY,LINTX,LINTY,LW,NVw,IIS)
    CALL FORCAS(K,NA,FA,FL,CNOP,CNOw,NCNO,Vw,LX,LY,CNOVX,CNOVY,QX,QY,C
*CNO,VWx,VWY,NVw,LINTX,LINTY,LW,IIS)
    CALL MATRIZ(K,NA,RAA,RAB,RAL,FA,RLL,FL,TR1,TR2,TR3,NVX,NVY,CCNG,NW
*,RBL,RBB,IIS)
    WRITE(08,REC=K)IFVX,ITVX
    WRITE(09,REC=K)IFVY,ITVY
    WRITE(10,REC=K)IPX,IPY
    WRITE(11,REC=K)ITP,AP
    WRITE(12,REC=K)GX,GY
180 CONTINUE
    N=3*NA
    CALL GAUSS(N,RLL,FL,D,IIS)
    WRITE(IIS,293)
293 FORMAT(4(/),22X,'DESLOCAMENTOS DE CORPO RIGIDO AO NIVEL DOS ANDARE
*S')
    DO 290 I=1,NA
    K=NA+1-I
    I1=3*I-2
    I2=3*I-1
    I3=3*I
    WRITE(IIS,295)K,I1,D(I1),I2,D(I2),I3,D(I3)
295 FORMAT(4(/),42X,'ANDAR ',I2,///,12X,'TRANSLACAO NO EIXO X',5X,'T
*RANSLACAO NO EIXO Y',5X,'ROTACAO NO EIXO Z',//,12X,'D(',I2,')='
*,E14.7,5X,'D(',I2,')=' ,E14.7,5X,'D(',I2,')=' ,E14.7)
290 CONTINUE
    CALL SCLUC(NA,NVX,NVY,NW,D,TR1,TR2,TR3,CNOVX,CNOVY,CNOw,NCNO,Vw,CC
*NO,LX,LY,E,G,HA,CNCP,Hw,Bw,Tw,TIPO,CCw,CGw,XNO,YNO,DHw,Cw,Mw,DBw,A
*w,GX,GY,XIW,YIW,XCCw,YCCw,JT,Jw,GAMA,RW11,RW21,RW31,RW32,RW33,VWx,
*VWY,LINTX,LINTY,LW,NVw,IIS)
    CALL EXIT
    END
```

```

C      *****
C
C      SUB-ROTINA  WALL
C
C      DETERMINACAO DA GEOMETRIA E DA POSICAO DAS PEREDES NO ARRANJO ES-
C      TRUTURAL E CALCULO DOS ELEMENTOS RELATIVOS A MATRIZ DE COMPATIBI-
C      LIZACAO VIGA-PAREDE.
C
C      *****
C      SUBROUTINE WALL (K,NNW,LX,LY,CNCP,CNDW,CNDVX,CNDVY,XND,YND,XCCW,YCC
C      *W,VW,HW,BW,DHW,DBW,TIPC,CCW,CGW,MW,CW,MODW,ZW,VWX,VWY,LINTX,LINTY,
C      *LW,NVW,IIS)
C      IMPLICIT REAL*8(A-F,C-Z)
C      DIMENSION CNCP(9,9),CNDW(9,9),NVW(50),CNDVX(9,9),CNDVY(9,9),VW(5,5
C      *0),XW(5),XCCW(5),YCCW(5),DHW(5),DBW(5),XCGW(5),YCGW(5),YW(5),HW(5)
C      *,BW(5),CCW(5),CGW(5),MW(5),CW(5),XND(9),YND(9),MODW(5),ZW(5),VWX(5
C      *,50),VWY(5,50),LINTX(9,9),LINTY(9,9),W(5)
C      INTEGER TIPC(5),CNCP,CNDW,CNDVX,CNDVY,DHW,DBW
C      REAL LX(9),LY(9),JXX,LW(9,9)
C      *****
C      ENTRADA DE DADOS
C
C      TIPC = 1 .....PAREDE PLANA
C
C      TIPC = 2 .....PAREDE DE SECCAO ABERTA
C      *****
C      READ(1,5)TIPC(K)
C      5  FORMAT(I2)
C      KAUX=TIPC(K)
C      IF(KAUX.EQ.2)GO TO 500
C      IF(MODW(K).EQ.0)GO TO 701
C      READ(1,20)I1,J1,I2,J2
C      20  FORMAT(4I2)
C      DHW(K)=1
C      IF(I1-I2)21,22,21
C      22  DHW(K)=2
C      21  CNCP(I1,J1)=0
C      CNCP(I2,J2)=0
C      CNDW(I1,J1)=NNW+1
C      CNDW(I2,J2)=NNW+2
C      DO 17 I=1,2
C      17  NVW(NNW+I)=K
C      N1=NNW+1
C      N2=NNW+2
C      NAUX=DHW(K)
C      IF(NAUX-1)26,27,26
C      27  CNDVX(I1,J1)=0
C      GO TO 28
C      26  CNDVY(I1,J1)=0
C      28  HW(K)=LX(I1)
C      XCCW(K)=XND(I1)+HW(K)/2.0
C      YCCW(K)=YND(J1)
C      IF(NAUX-1)29,30,29

```

```

29 HW(K)=LY(J1)
   XCCW(K)=XNC(I1)
   YCCW(K)=YNC(J1)+HW(K)/2.0
30 VW(1,N1)=0.0
   VW(2,N1)=-HW(K)/2.0
   IF(NAUX-2)31,32,31
31 VW(1,N1)=-HW(K)/2.0
   VW(2,N1)=0.0
32 CONTINUE
   DO 33 I=3,5
33 VW(I,N1)=0.0
   DO 34 I=1,5
34 VW(I,N2)=-VW(I,N1)
   GO TO 703
701 CONTINUE
   READ(1,702)HW(K),XCCW(K),YCCW(K),DHW(K)
702 FORMAT(3E10.4,I2)
   READ(1,704)I1,J1,I2,J2,W(K)
704 FORMAT(4I2,E10.4)
   CNOP(I1,J1)=0
   CNOP(I2,J2)=0
   CNCW(I1,J1)=NNW+1
   CNCW(I2,J2)=NNW+2
   N1=NNW+1
   N2=NNW+2
   IF(DHW(K).EQ.2)GO TO 751
   VW(1,N1)=-W(K)/2
   VW(2,N1)=0.0
   GO TO 752
751 VW(1,N1)=0.0
   VW(2,N2)=-W(K)/2
752 CONTINUE
   GO 753 I=1,3
753 VW(I,N1)=0.0
   DO 754 I=1,5
754 VW(I,N2)=-VW(I,N1)
703 NNW=NNW+2
   GO TO 37
500 CONTINUE

```

C *****

ENTRADA DE DADOS

- C PAREDE COM A FORMA DA LETRA 'U' MW = 1
- C PAREDE COM A FORMA DA LETRA 'C' MW = 2
- C PAREDE COM A FORMA DA LETRA 'H' MW = 3
- C PAREDE COM A FORMA DE DUPLC 'T' MW = 4

C *****

```

   READ(1,99)MW(K)
99  FORMAT(I2)
   IF(MW(K)-1)320,310,320
310 CONTINUE
   IF(MODW(K).EQ.0)GO TO 711

```

C *****

ENTRADA DE DADOS

C

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

* *
* SENTIDO *
* ANTI- *
* HCRARIO *
2*****3

2 , 3 NCS DE VERTICES

```

READ(1,40)I2,J2,I3,J3
40 FORMAT(4I2)
  DHW(K)=1
  IF(I2-I3)41,42,41
42 DHW(K)=2
41 DBW(K)=1
  IF(DHW(K).EQ.1.AND.I2.GT.I3)GO TO 44
  IF(DHW(K).EQ.2.AND.J3.GT.J2)GO TO 44
  GO TO 45
44 DBW(K)=-1
45 I1=I2
  J1=J2+DBW(K)
  I4=I3
  J4=J3+DBW(K)
  IF(DHW(K).EQ.1)GO TO 47
  I1=I2+DBW(K)
  J1=J2
  I4=I3+DBW(K)
  J4=J3
47 CNOP(I1,J1)=0
  CNOP(I2,J2)=0
  CNOP(I3,J3)=0
  CNOP(I4,J4)=0
  CNCW(I1,J1)=NNW+1
  CNCW(I2,J2)=NNW+2
  CNCW(I3,J3)=NNW+3
  CNCW(I4,J4)=NNW+4
  GO 48 I=1,4
48 NVW(NNW+I)=K
  IF(DHW(K).EQ.1)GO TO 555
  IF(DBW(K).LT.0)GO TO 51
  CNUVY(I3,J3)=0
  CNUVX(I3,J3)=0
  CNUVX(I2,J2)=0
  GO TO 52
51 CNUVY(I2,J2)=0
  CNUVX(I3-1,J3)=0
  CNUVX(I2-1,J2)=0
52 BW(K)=LX(I3)
  HW(K)=LY(J3)
  IF(DBW(K))53,53,54
53 BW(K)=LX(I3-1)
  HW(K)=LY(J3-1)
54 CCW(K)=3.0*BW(K)**2/(6.0*BW(K)+HW(K))
  CGW(K)=BW(K)**2/(2*BW(K)+HW(K))

```

```
XW(K)=-CCW(K)*DBW(K)
YW(K)=HW(K)*DBW(K)/2.0
IW=I3-1
IF(IW.LE.0)GO TO 55
XCCW(K)=XW(K)
DO 60 I=1,IW
60 XCCW(K)=XCCW(K)+LX(I)
GO TO 56
55 XCCW(K)=XW(K)
56 CONTINUE
JW=J3-1
IF(JW.LE.0)GO TO 65
YCCW(K)=YW(K)
DO 70 J=1,JW
70 YCCW(K)=YCCW(K)+LY(J)
GO TO 71
65 YCCW(K)=YW(K)
71 VW(1,NNW+1)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
VW(2,NNW+1)=HW(K)*DBW(K)/2.0
VWX(3,NNW+1)=0.0
VWX(4,NNW+1)=HW(K)/2
VWY(3,NNW+1)=0.0
VWY(4,NNW+1)=HW(K)/2
VW(5,NNW+1)=HW(K)*(BW(K)-CCW(K))/2.0
VW(1,NNW+2)=CCW(K)*DBW(K)
VW(2,NNW+2)=HW(K)*DBW(K)/2.0
VWX(3,NNW+2)=-CCW(K)
VWX(4,NNW+2)=HW(K)/2
VWY(3,NNW+2)=-CCW(K)
VWY(4,NNW+2)=HW(K)/2
VW(5,NNW+2)=-CCW(K)*HW(K)/2.0
VW(1,NNW+3)=CCW(K)*DBW(K)
VW(2,NNW+3)=-HW(K)*DBW(K)/2.0
VWX(3,NNW+3)=-CCW(K)
VWX(4,NNW+3)=HW(K)/2
VWY(3,NNW+3)=-CCW(K)
VWY(4,NNW+3)=HW(K)/2
VW(5,NNW+3)=CCW(K)*HW(K)/2.0
VW(1,NNW+4)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
VW(2,NNW+4)=-HW(K)*DBW(K)/2.0
VWX(3,NNW+4)=0.0
VWX(4,NNW+4)=HW(K)/2
VWY(3,NNW+4)=0.0
VWY(4,NNW+4)=HW(K)/2
VW(5,NNW+4)=-HW(K)*(BW(K)-CCW(K))/2.0
GO TO 100
555 BW(K)=LY(J2)
HW(K)=LX(I2)
IF(DBW(K)-1)75,76,75
75 CNOVY(I3,J3-1)=0
CNOVY(I2,J2-1)=0
CNOVX(I3,J3)=0
BW(K)=LY(J2-1)
HW(K)=LX(I2-1)
GO TO 80
76 CNOVY(I2,J2)=0
```

```
CNDVY(I3,J3)=0
CNDVX(I2,J2)=0
80 CCW(K)=3.0*BW(K)**2/(6.0*BW(K)+HW(K))
   CGW(K)=BW(K)**2/(2*BW(K)+HW(K))
   XW(K)=HW(K)*DBW(K)/2.0
   YW(K)=-CCW(K)*DBW(K)
   IW=I2-1
   IF(IW.LE.0)GO TO 85
   XCCW(K)=XW(K)
   DO 84 I=1,IW
84  XCCW(K)=XCCW(K)+LX(I)
   GO TO 86
85  XCCW(K)=XW(K)
86  JW=J2-1
   IF(JW.LE.0)GO TO 90
   YCCW(K)=YW(K)
   DO 88 J=1,JW
88  YCCW(K)=YCCW(K)+LY(J)
   GO TO 95
90  YCCW(K)=YW(K)
95  VW(1,NNW+1)=-HW(K)*DBW(K)/2.0
   VW(2,NNW+1)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
   VWX(3,NNW+1)=HW(K)/2.0
   VWX(4,NNW+1)=0.0
   VWY(3,NNW+1)=HW(K)/2
   VWY(4,NNW+1)=0.0
   VW(5,NNW+1)=HW(K)*(BW(K)-CCW(K))/2.0
   VW(1,NNW+2)=-HW(K)*DBW(K)/2.0
   VW(2,NNW+2)=CCW(K)*DBW(K)
   VWX(3,NNW+2)=HW(K)/2.0
   VWX(4,NNW+2)=-CCW(K)
   VWY(3,NNW+2)=HW(K)/2
   VWY(4,NNW+2)=-CCW(K)
   VW(5,NNW+2)=-CCW(K)*HW(K)/2.0
   VW(1,NNW+3)=HW(K)*DBW(K)/2.0
   VW(2,NNW+3)=CCW(K)*DBW(K)
   VWX(3,NNW+3)=HW(K)/2.0
   VWX(4,NNW+3)=-CCW(K)
   VWY(3,NNW+3)=HW(K)/2
   VWY(4,NNW+3)=-CCW(K)
   VW(5,NNW+3)=CCW(K)*HW(K)/2.0
   VW(1,NNW+4)=HW(K)*DBW(K)/2.0
   VW(2,NNW+4)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
   VWX(3,NNW+4)=HW(K)/2.0
   VWX(4,NNW+4)=0.0
   VWY(3,NNW+4)=HW(K)/2
   VWY(4,NNW+4)=0.0
   VW(5,NNW+4)=-HW(K)*(BW(K)-CCW(K))/2.0
100 CONTINUE
   GO TO 713
711 CONTINUE
   READ(1,712)BW(K),HW(K),XCCW(K),YCCW(K),DHW(K),DBW(K)
712 FORMAT(4E10.4,2I2)
   CCW(K)=3.0*BW(K)**2/(6.0*BW(K)+HW(K))
   CGW(K)=BW(K)**2/(2*BW(K)+HW(K))
713 NNW=NNW+4
```



```

J2=J3+DBW(K)
I5=I4
J5=J4+DBW(K)
430 CNOP(I2,J2)=0
   CNOP(I3,J3)=0
   CNOP(I4,J4)=0
   CNOP(I5,J5)=0
   CNGW(I2,J2)=NNW+1
   CNGW(I3,J3)=NNW+2
   CNGW(I4,J4)=NNW+3
   CNGW(I5,J5)=NNW+4
   DO 433 I=1,6
433 NVW(NNW+I)=K
   IF(DHW(K).EQ.1)GO TO 600
   IF(DBW(K).LT.0)GO TO 435
   CNOCVY(I4,J4)=0
   CNOGVX(I4,J4)=0
   CNOVX(I3,J3)=0
   HW(K)=LY(J4)
   BW(K)=LX(I4)
   GO TO 440
435 CNOVY(I3,J3)=0
   CNOGVX(I2,J2)=0
   CNOVX(I5,J5)=0
   HW(K)=LY(J3)
   BW(K)=LX(I2)
440 JXX=(HW(K)**2/12)*(HW(K)+6*BW(K)+6*CW(K))+{CW(K)**2/3)*(CW(K)**2-3*
   *HW(K))
   AUX=(1-BW(K)*HW(K)**2/4*(BW(K)+2*CW(K))+2*BW(K)*CW(K)**3/3)/JXX
   CCW(K)=ABS(AUX)
   CGW(K)=(BW(K)**2+2*CW(K)*BW(K))/(2*BW(K)+2*CW(K)+HW(K))
   XW(K)=-CCW(K)*DBW(K)
   YW(K)=-DBW(K)*HW(K)/2.0
   IW=I3-1
   IF(IW.LE.0)GO TO 450
   XCCW(K)=XW(K)
   DO 445 I=1,IW
445 XCCW(K)=XCCW(K)+LX(I)
   GO TO 455
450 XCCW(K)=XW(K)
455 CONTINUE
   JW=J3-1
   IF(JW.LE.0)GO TO 465
   YCCW(K)=YW(K)
   DO 460 J=1,JW
460 YCCW(K)=YCCW(K)+LY(J)
   GO TO 470
465 YCCW(K)=YW(K)
470 CONTINUE
   KKW=LINTY(IL,JL)
   LAUX1=LINTY(IL,JL)
   IF(LAUX1.EQ.0)GO TO 478
   VW(1,KKW+1)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
   VW(2,KKW+1)=-{HW(K)/2.0-CW(K)}
   VWY(3,KKW+1)=CCW(K)+BW(K)
   VWX(3,KKW+1)=CCW(K)+BW(K)

```

```
VW(5,KKW+1)=(CCW(K)*(HW(K)/2-CW(K))-BW(K)*(HW(K)/2+CW(K)))*DBW(K)
VW(1,KKW+2)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
VW(2,KKW+2)=(HW(K)/2.0-CW(K))
VWY(3,KKW+2)=CCW(K)+BW(K)
VWX(3,KKW+2)=CCW(K)+BW(K)
VW(5,KKW+2)=(-CCW(K)*(HW(K)/2-CW(K))+BW(K)*(HW(K)/2+CW(K)))*DBW(K)
473 VW(1,NNW+1)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
VW(2,NNW+1)=HW(K)*DBW(K)/2.0
VWX(3,NNW+1)=CCW(K)+BW(K)
VWY(3,NNW+1)=CCW(K)+BW(K)
VWX(4,NNW+1)=HW(K)/2.0
VWY(4,NNW+1)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+1)=-HW(K)/2*(CCW(K)-BW(K))
VW(1,NNW+2)=CCW(K)*DBW(K)
VW(2,NNW+2)=HW(K)*DBW(K)/2.0
VWX(3,NNW+2)=-CCW(K)
VWY(3,NNW+2)=-CCW(K)
VWX(4,NNW+2)=HW(K)/2.0
VWY(4,NNW+2)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+2)=-CCW(K)*HW(K)/2
VW(1,NNW+3)=CCW(K)*DBW(K)
VW(2,NNW+3)=-HW(K)*DBW(K)/2.0
VWX(3,NNW+3)=-CCW(K)
VWY(3,NNW+3)=-CCW(K)
VWX(4,NNW+3)=HW(K)/2.0
VWY(4,NNW+3)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+3)=CCW(K)*HW(K)/2
VW(1,NNW+4)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
VW(2,NNW+4)=-HW(K)*DBW(K)/2.0
VWX(3,NNW+4)=CCW(K)+BW(K)
VWY(3,NNW+4)=CCW(K)+BW(K)
VWX(4,NNW+4)=HW(K)/2.0
VWY(4,NNW+4)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+4)=CCW(K)*HW(K)/2-BW(K)*HW(K)/2
GO TO 700
600 CONTINUE
IF (DBW(K)-1) 605, 610, 605
605 CNOVY(I5,J5)=0
CNOVY(I2,J2)=0
CNOVX(I4,J4)=0
BW(K)=LY(J2)
HW(K)=LX(I4)
GO TO 615
610 CNOVY(I3,J3)=0
CNOVY(I4,J4)=0
CNOVX(I3,J3)=0
BW(K)=LY(J3)
HW(K)=LX(I3)
615 JXX=(HW(K)**2/12)*(HW(K)+6*BW(K)+6*CW(K))+((CW(K)**2/3)*(2*CW(K)-3*
*HW(K))
AUX=(-BW(K)*HW(K)**2/4*(BW(K)+2*CW(K))+2*BW(K)*CW(K)**3/3)/JXX
CCW(K)=ABS(AUX)
CGW(K)=(BW(K)**2+2*CW(K)*BW(K))/(2*BW(K)+2*CW(K)+HW(K))
XW(K)=HW(K)/2
YW(K)=-CCW(K)*DBW(K)
IF (DBW(K)-1) 620, 625, 625
```

```
620 IW=I2-2
    GO TO 630
625 IW=I2-1
630 CONTINUE
    IF(IW.LE.0)GO TO 640
    XCCW(K)=XW(K)
    DD 635 I=1, IW
635 XCCW(K)=XCCW(K)+LX(I)
    GO TO 645
640 XCCW(K)=XW(K)
645 JW=J2-1
    IF(JW.LE.1)GO TO 655
    YCCW(K)=YW(K)
    DD 650 J=1, JW
650 YCCW(K)=YCCW(K)+LY(J)
    GO TO 660
655 YCCW(K)=YW(K)
660 CONTINUE
    KKW=LINTX(IL, JL)
    LAUX2=LINTX(IL, JL)
    IF(LAUX2.EQ.0)GO TO 668
    VW(1,KKW+1)=- (HW(K)/2-CW(K))
    VW(2,KKW+1)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
    VWY(4,KKW+1)=CCW(K)+BW(K)
    VWX(4,KKW+1)=CCW(K)+BW(K)
    VW(5,KKW+1)=(-(CCW(K)*(HW(K)/2-CW(K))-BW(K)*(HW(K)/2+CW(K))))*DBW(
    *K)
    VW(1,KKW+2)=(HW(K)/2-CW(K))
    VW(2,KKW+2)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
    VWY(4,KKW+2)=CCW(K)+BW(K)
    VWX(4,KKW+2)=CCW(K)+BW(K)
    VW(5,KKW+2)=(CCW(K)*(HW(K)/2-CW(K))-BW(K)*(HW(K)/2+CW(K)))*DBW(K)
668 VW(1,NNW+1)=-HW(K)*DEW(K)/2
    VW(2,NNW+1)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
    VWX(3,NNW+1)=HW(K)/2
    VWY(3,NNW+1)=HW(K)/2
    VWX(4,NNW+1)=CCW(K)+BW(K)
    VWY(4,NNW+1)=CCW(K)+BW(K)
    VW(5,NNW+1)=-(CCW(K)*HW(K)/2-BW(K)*HW(K)/2)
    VW(1,NNW+2)=-HW(K)*DBW(K)/2
    VW(2,NNW+2)=CCW(K)*DBW(K)
    VWX(3,NNW+2)=HW(K)/2
    VWY(3,NNW+2)=HW(K)/2
    VWX(4,NNW+2)=-CCW(K)
    VWY(4,NNW+2)=-CCW(K)
    VW(5,NNW+2)=-CCW(K)*HW(K)/2
    VW(1,NNW+3)=HW(K)*DBW(K)/2
    VW(2,NNW+3)=CCW(K)*DBW(K)
    VWX(3,NNW+3)=HW(K)/2
    VWY(3,NNW+3)=HW(K)/2
    VWX(4,NNW+3)=-CCW(K)
    VWY(4,NNW+3)=-CCW(K)
    VW(5,NNW+3)=CCW(K)*HW(K)/2
    VW(1,NNW+4)=HW(K)*DBW(K)/2
    VW(2,NNW+4)=(CCW(K)+BW(K))*DBW(K)
    VWX(3,NNW+4)=HW(K)/2
```

```

VWY(3,NNW+4)=HW(K)/2
VWX(4,NNW+4)=CCW(K)+BW(K)
VWY(4,NNW+4)=CCW(K)+BW(K)
VW(5,NNW+4)=HW(K)/2*(CCW(K)-BW(K))

```

```

700 CONTINUE
GO TO 707

```

```

705 CONTINUE
READ(1,706) BW(K),HW(K),XCCW(K),YCCW(K),DHW(K),DBW(K)

```

```

706 FORMAT(4E10.4,2I2)
JXX=(HW(K)**2/12)*(HW(K)+6*BW(K)+6*CW(K))+1*CW(K)**2/3)*12*CW(K)-3*
*HW(K))
AUX=(-BW(K)*HW(K)**2/4*(BW(K)+2*CW(K))+2*BW(K)*CW(K)**2/3)/JXX
CCW(K)=ABS(AUX)
CGW(K)=(BW(K)**2+2*CW(K)*BW(K))/(2*BW(K)+2*CW(K)+HW(K))

```

```

707 NNW=NNW+6
GO TO 37

```

```

340 CONTINUE
MAUX=MW(K)
IF(MAUX-3)370,350,370

```

```

350 CONTINUE
IF(MGDW(K).EQ.0)GO TO 716

```

```

C *****

```

```

C ENTRADA DE DATOS

```

```

C * SENTIDO *
C * ANTI- *
C * * *
C 2*****5
C * HORARIO *
C * * *
C * * *

```

```

C 2 , 5 ..... NOS DE VERTICES

```

```

C *****

```

```

READ(1,800) I2,J2,I5,J5

```

```

800 FORMAT(4I2)
DHW(K)=1
IF(I5-I2)810,805,810

```

```

805 DHW(K)=2

```

```

810 CONTINUE
IF(DHW(K).EQ.2)GO TO 815

```

```

I1=I2
I3=I2
I4=I2+1
I6=I4
J1=J2+1
J3=J2-1
J4=J5-1
J6=J5+1
GO TO 820

```

```

815 I1=I2+1
I3=I2-1
I4=I5-1
I6=I5+1
J1=J2

```



```
J3=J2
J4=J5
J6=J5
820 CNOP(I1,J1)=0
   CNOP(I2,J2)=0
   CNOP(I3,J3)=0
   CNOP(I4,J4)=0
   CNOP(I5,J5)=0
   CNOP(I6,J6)=0
   CNDW(I1,J1)=NNW+1
   CNDW(I2,J2)=NNW+2
   CNDW(I3,J3)=NNW+3
   CNDW(I4,J4)=NNW+4
   CNDW(I5,J5)=NNW+5
   CNDW(I6,J6)=NNW+6
   DO 822 I=1,6
822 NVW(NNW+I)=K
   IF(DHW(K).EQ.1)GO TO 900
   CNDVY(I5,J5)=0
   CNDVX(I4,J4)=0
   CNDVX(I5,J5)=0
   CNDVX(I3,J3)=0
   CNDVX(I2,J2)=0
   BW(K)=LX(I4)+LX(I5)
   HW(K)=LY(J5)
   CCW(K)=0.0
   CGW(K)=0.0
   IW=I4-1
   IF(IW.LE.0)GO TO 830
   XCCW(K)=BW(K)/2
   DO 825 I=1,IW
825 XCCW(K)=XCCW(K)+LX(I)
   GO TO 835
830 XCCW(K)=BW(K)/2
835 CONTINUE
   JW=J5-1
   IF(JW.LE.0)GO TO 845
   YCCW(K)=HW(K)/2
   DO 840 J=1,JW
840 YCCW(K)=YCCW(K)+LY(J)
   GO TO 850
845 YCCW(K)= HW(K)/2
850 VW(1,NNW+1)=BW(K)/2
   VW(2,NNW+1)=HW(K)/2
   VWX(3,NNW+1)=0.0
   VWY(3,NNW+1)=0.0
   VWX(4,NNW+1)=HW(K)/2.0
   VWY(4,NNW+1)=HW(K)/2
   VW(5,NNW+1)=BW(K)+HW(K)/4
   VW(1,NNW+2)=0.0
   VW(2,NNW+2)=HW(K)/2
   VWY(3,NNW+2)=0.0
   VWY(4,NNW+2)=HW(K)/2.0
   VW(5,NNW+2)=0.0
   VW(1,NNW+3)=-BW(K)/2
   VW(2,NNW+3)=HW(K)/2
```

```
VWX(3,NNW+3)=C.C
VWY(3,NNW+3)=C.C
VWX(4,NNW+3)=HW(K)/2.C
VWY(4,NNW+3)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+3)=-BW(K)*HW(K)/4
VW(1,NNW+4)=-BW(K)/2
VW(2,NNW+4)=-HW(K)/2
VWX(3,NNW+4)=0.0
VWY(3,NNW+4)=0.0
VWX(4,NNW+4)=FW(K)/2.0
VWY(4,NNW+4)=FW(K)/2
VW(5,NNW+4)=BW(K)*FW(K)/4
VW(1,NNW+5)=0.0
VW(2,NNW+5)=-FW(K)/2
VWY(3,NNW+5)=0.0
VWY(4,NNW+5)=FW(K)/2.0
VW(5,NNW+5)=0.0
VW(1,NNW+6)=BW(K)/2
VW(2,NNW+6)=-FW(K)/2
VWX(3,NNW+6)=0.0
VWY(3,NNW+6)=0.0
VWX(3,NNW+6)=HW(K)/2.0
VWY(4,NNW+6)=FW(K)/2
VW(5,NNW+6)=-BW(K)*FW(K)/4
GO TO 950
900 CONTINUE
CNCVX(I2,J2)=C
CNCVY(I3,J3)=C
CNCVY(I2,J2)=0
CNCVY(I4,J4)=0
CNCVY(I5,J5)=0
BW(K)=LY(J3)+LY(J2)
HW(K)=LX(I2)
CCW(K)=0.0
CGW(K)=0.0
IW=I2-1
IF(IW.LE.0)GO TO 910
XCCW(K)=HW(K)/2
DO 905 I=1,IW
905 XCCW(K)=XCCW(K)+LX(I)
GO TO 915
910 XCCW(K)=HW(K)/2
915 CONTINUE
JW=J3-1
IF(JW.LE.0)GO TO 925
YCCW(K)=BW(K)/2
DO 920 J=1,JW
920 YCCW(K)=YCCW(K)+LY(J)
GO TO 930
925 YCCW(K)=BW(K)/2
930 VW(1,NNW+1)=-HW(K)/2
VW(2,NNW+1)=BW(K)/2
VWX(3,NNW+1)=HW(K)/2
VWY(3,NNW+1)=FW(K)/2.0
VW(5,NNW+1)=BW(K)*FW(K)/4
VW(1,NNW+2)=-FW(K)/2
```

```
VW(2,NNW+2)=0.0
VWX(3,NNW+2)=FW(K)/2.0
VWY(3,NNW+2)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+2)=0.0
VW(1,NNW+3)=-FW(K)/2
VW(2,NNW+3)=-BW(K)/2
VWX(3,NNW+3)=FW(K)/2.0
VWY(3,NNW+3)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+3)=-BW(K)*HW(K)/4
VW(1,NNW+4)=FW(K)/2
VW(2,NNW+4)=-BW(K)/2
VWX(3,NNW+4)=FW(K)/2.0
VWY(3,NNW+4)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+4)=BW(K)*FW(K)/4
VW(1,NNW+5)=FW(K)/2
VW(2,NNW+5)=0.0
VWX(3,NNW+5)=FW(K)/2.0
VWX(4,NNW+5)=0.0
VW(5,NNW+5)=0.0
VW(1,NNW+6)=FW(K)/2
VW(2,NNW+6)=BW(K)/2
VWX(3,NNW+6)=FW(K)/2
VWY(3,NNW+6)=HW(K)/2.0
VW(5,NNW+6)=-BW(K)*HW(K)/4
950 CONTINUE
GO TO 718
716 CONTINUE
READ(1,717) BW(K),HW(K),XCCW(K),YCCW(K),DHW(K),DBW(K)
717 FORMAT(4E10.4,2I2)
CCW(K)=0.0
CGW(K)=0.0
718 NNW=NNW+6
GO TO 37
379 CONTINUE
IF(MW(K)-4) 37,360,37
360 CONTINUE
C *****
C ENTRADA DE DADOS
C
C ZW ..... DIMENSAO MENOR DA PAREDE EM DUPLO 'T'
C
C *****
C READ(1,721) ZW(K)
721 FORMAT(E10.4)
IF(MGDW(K).EQ.0)GC TC 795
C *****
C ENTRADA DE DADOS
C
C M1 , N1 ..... COORDENADAS DO VERTICE DA PRIMEIRA ABERTURA
C M2 , N2 ..... COORDENADAS DO VERTICE DA SEGUNDA ABERTURA
C
C LINTX , LINTY..... NUMERACAO DE LINTEIS PARA O ELEMENTO 'VW'
C
C *****
C READ(1,511)M1,N1,M2,N2,LINTX(M1,N1),LINTX(M2,N2),LINTY(M1,N1),LINT
*Y(M2,N2)
```

```

511 FORMAT(8I2)
LW(M1,N1)=2*ZW(K)
LW(M2,N2)=2*ZW(K)

```

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

ENTRADA DE DATOS

```

                2
      *****
      *           *
      *           *
SENTIDO      *  ANTI-HORARIO
      *           *
      *           *
      *****
                5

```

2 , 5NCS DE VERTICES

```

READ(1,722) I2,J2,I5,J5

```

```

722 FORMAT(4I2)
DHW(K)=1
IF(I5-I2)724,723,724

```

```

723 DHW(K)=2

```

```

724 CONTINUE
IF(DHW(K).EQ.2)GO TO 725

```

```

I1=I2
I3=I2
I4=I5
I6=I5
J1=J2+1
J3=J2-1
J4=J5-1
J6=J5+1
GO TO 726

```

```

725 I1=I2+1
I3=I2-1
I4=I5-1
I6=I5+1
J1=J2
J3=J2
J4=J5
J6=J5

```

```

726 CNUP(I1,J1)=0
CNUP(I2,J2)=0
CNUP(I3,J3)=0
CNUP(I4,J4)=0
CNUP(I5,J5)=0
CNUP(I6,J6)=0
CNOW(I1,J1)=NNW+1
CNOW(I2,J2)=NNW+2
CNOW(I3,J3)=NNW+3
CNOW(I4,J4)=NNW+4
CNOW(I5,J5)=NNW+5
CNOW(I6,J6)=NNW+6
DO 571 I=1,6

```

```
571 NVW(NNW+I)=K
    IF(DHW(K).EQ.1)GO TO 740
    CNQVY(I5,J5)=0
    CNCVX(I4,J4)=0
    CNQVX(I5,J5)=0
    CNQVX(I3,J3)=0
    CNQVX(I2,J2)=0
    BW(K)=LX(I4)+LX(I5)
    HW(K)=LY(J5)
    CCW(K)=0.0
    CGW(K)=0.0
    IW=I4-1
    IF(IW.LE.0)GO TO 727
    XCCW(K)=BW(K)/2
    DO 728 I=1,IW
728 XCCW(K)=XCCW(K)+LX(I)
    GO TO 729
727 XCCW(K)=BW(K)/2
729 CONTINUE
    JW=J5-1
    IF(JW.LE.0)GO TO 730
    YCCW(K)=HW(K)/2
    DO 731 J=1,JW
731 YCCW(K)=YCCW(K)+LY(J)
    GO TO 732
730 YCCW(K)=HW(K)/2
732 CONTINUE
    JJW=LINTY(M1,N1)
    KKW=LINTY(M2,N2)
    VW(1,NNW+1)=BW(K)/2
    VW(2,NNW+1)=HW(K)/2
    VWX(3,NNW+1)=BW(K)/2.0
    VWY(3,NNW+1)=BW(K)/2.0
    VWY(4,NNW+1)=FW(K)/2.0
    VWX(4,NNW+1)=HW(K)/2.0
    VW(5,NNW+1)=BW(K)*FW(K)/4
    VW(1,NNW+2)=0.0
    VW(2,NNW+2)=HW(K)/2
    VWY(3,NNW+2)=0.0
    VWY(4,NNW+2)=HW(K)/2.0
    VW(5,NNW+2)=0.0
    VW(1,NNW+3)=-BW(K)/2
    VW(2,NNW+3)=HW(K)/2
    VWX(3,NNW+3)=BW(K)/2.0
    VWY(3,NNW+3)=BW(K)/2.0
    VWX(4,NNW+3)=FW(K)/2
    VWY(4,NNW+3)=FW(K)/2
    VW(5,NNW+3)=-BW(K)*HW(K)/4
    VW(1,NNW+4)=-BW(K)/2
    VW(2,NNW+4)=-HW(K)/2
    VWX(3,NNW+4)=BW(K)/2.0
    VWY(3,NNW+4)=BW(K)/2.0
    VWX(4,NNW+4)=FW(K)/2
    VWY(4,NNW+4)=FW(K)/2
    VW(5,NNW+4)=BW(K)*HW(K)/4
    VW(1,NNW+5)=0.0
```

```

VW(2,NNW+5)=-HW(K)/2
VWY(3,NNW+5)=C.C
VWY(4,NNW+5)=HW(K)/2.C
VW(5,NNW+5)=0.0
VW(1,NNW+6)=BW(K)/2
VW(2,NNW+6)=-HW(K)/2
VWX(3,NNW+6)=BW(K)/2.C
VWY(3,NNW+6)=BW(K)/2.C
VWX(4,NNW+6)=HW(K)/2
VWY(4,NNW+6)=FW(K)/2
VW(5,NNW+6)=-BW(K)*FW(K)/4
LAUX1=LINTY(M1,N1)
IF(LAUX1.EQ.0)GO TO 734
VW(1,JJW+1)=-BW(K)/2.0
VW(2,JJW+1)=-[HW(K)/2.0-ZW(K)]
VWX(3,JJW+1)=BW(K)/2.0
VWY(3,JJW+1)=BW(K)/2.0
VW(5,JJW+1)=BW(K)/2.0*(ZW(K)+HW(K)/2.0)
VW(1,JJW+2)=-BW(K)/2.0
VW(2,JJW+2)=[FW(K)/2.0-ZW(K)]
VWX(3,JJW+2)=BW(K)/2.0
VWY(3,JJW+2)=BW(K)/2.0
VW(5,JJW+2)=-BW(K)/2.0*(ZW(K)+HW(K)/2.0)
734 LAUX2=LINTY(M2,N2)
IF(LAUX2.EQ.0)GO TO 736
VW(1,KKW+1)=BW(K)/2.C
VW(2,KKW+1)=-[HW(K)/2.C-ZW(K)]
VWX(3,KKW+1)=BW(K)/2.C
VWY(3,KKW+1)=BW(K)/2.C
VW(5,KKW+1)=-BW(K)/2.0*(ZW(K)+HW(K)/2.0)
VW(1,KKW+2)=BW(K)/2.C
VW(2,KKW+2)=[HW(K)/2.C-ZW(K)]
VWX(3,KKW+2)=BW(K)/2.C
VWY(3,KKW+2)=BW(K)/2.0
VW(5,KKW+2)=BW(K)/2.0*(ZW(K)+HW(K)/2.0)
736 CONTINUE
GO TO 799
740 CONTINUE
CNOVX(I2,J2)=0
CNOVY(I3,J3)=0
CNOVY(I2,J2)=0
CNOVY(I4,J4)=0
CNOVY(I5,J5)=0
BW(K)=LY(J3)+LY(J2)
HW(K)=LX(I2)
CCW(K)=0.0
CGW(K)=0.0
IW=I2-1
IF(IW.LE.0)GO TO 741
XCCW(K)=HW(K)/2
DO 742 I=1,IW
742 XCCW(K)=XCCW(K)+LX(I)
GO TO 743
741 XCCW(K)=HW(K)/2
743 CONTINUE
JW=J3-1

```

```
IF(JW.LE.0)GC TC 745
YCCW(K)=BW(K)/2
DD 744 J=1,JW
744 YCCW(K)=YCCW(K)+LY(J)
GB TC 746
745 YCCW(K)=BW(K)/2
746 CONTINUE
JJW=LINTX(M1,N1)
KKW=LINTX(M2,N2)
VW(1,NNW+1)=-HW(K)/2
VW(2,NNW+1)=BW(K)/2
VWX(3,NNW+1)=FW(K)/2
VWY(3,NNW+1)=HW(K)/2
VWX(4,NNW+1)=BW(K)/2.0
VWY(4,NNW+1)=BW(K)/2.0
VW(5,NNW+1)=BW(K)*FW(K)/4
VW(1,NNW+2)=-FW(K)/2
VW(2,NNW+2)=0.0
VWX(3,NNW+2)=FW(K)/2.0
VWX(4,NNW+2)=0.0
VW(5,NNW+2)=0.0
VW(1,NNW+3)=-FW(K)/2
VW(2,NNW+3)=-BW(K)/2
VWX(3,NNW+3)=FW(K)/2
VWY(3,NNW+3)=FW(K)/2
VWX(4,NNW+3)=BW(K)/2.0
VWY(4,NNW+3)=BW(K)/2.0
VW(5,NNW+3)=-BW(K)*HW(K)/4
VW(1,NNW+4)=HW(K)/2
VW(2,NNW+4)=-BW(K)/2
VWX(3,NNW+4)=HW(K)/2
VWY(3,NNW+4)=FW(K)/2
VWX(4,NNW+4)=BW(K)/2
VWY(4,NNW+4)=BW(K)/2
VW(5,NNW+4)=BW(K)*FW(K)/4
VW(1,NNW+5)=FW(K)/2
VW(2,NNW+5)=0.0
VWX(3,NNW+5)=HW(K)/2
VWX(4,NNW+5)=0.0
VW(5,NNW+5)=0.0
VW(1,NNW+6)=FW(K)/2
VW(2,NNW+6)=BW(K)/2
VWX(3,NNW+6)=FW(K)/2
VWY(3,NNW+6)=FW(K)/2
VWX(4,NNW+6)=BW(K)/2
VWY(4,NNW+6)=BW(K)/2
VW(5,NNW+6)=-BW(K)*HW(K)/4
LAUX1=LINTX(M1,N1)
IF(LAUX1.EQ.0)GC TC 748
VW(1,JJW+1)=- (HW(K)/2-ZW(K))
VW(2,JJW+1)=-BW(K)/2.0
VWX(4,JJW+1)=BW(K)/2.0
VWX(3,JJW+1)=0.0
VW(5,JJW+1)=-BW(K)/2.0*(ZW(K)+HW(K)/2)
VW(1,JJW+2)=(HW(K)/2-ZW(K))
VW(2,JJW+2)=-BW(K)/2.0
```

```
VWX(4,JJK+2)=BW(K)/2.0
VWX(3,JJK+2)=0.0
VW(5,JJK+2)=BW(K)/2.0*(ZW(K)+HW(K)/2)
748 LAUX2=LINTX(M2,N2)
IF(LAUX2.EQ.0)GO TO 749
VW(1,KKK+1)=- (HW(K)/2-ZW(K))
VW(2,KKK+1)=BW(K)/2.0
VWX(4,KKK+1)=BW(K)/2
VWX(3,KKK+1)=0.0
VW(5,KKK+1)=BW(K)/2.0*(ZW(K)+HW(K)/2)
VW(1,KKK+2)=HW(K)/2-ZW(K)
VW(2,KKK+2)=BW(K)/2.0
VWX(4,KKK+2)=BW(K)/2.0
VWX(3,KKK+2)=0.0
VW(5,KKK+2)=-BW(K)/2.0*(ZW(K)+HW(K)/2)
749 CONTINUE
GO TO 799
795 CONTINUE
READ(1,796)BW(K),HW(K),XCCW(K),YCCW(K),DHW(K),DBW(K)
796 FORMAT(4E10.4,2I2)
799 CONTINUE
NNW=NNW+10
37 RETURN
END
```


C
C
C
C
C
C
C
C
C

SUB-ROTINA RIGW

CALCULO DAS PROPRIEDADES DAS PAREDES

E

CONTRIBUICAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA PAREDE NA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA

SUBROUTINE RIGW(K,KW,BW,HW,TW,HA,DHW,DBW,XCCW,YCCW,E,G,NCNC,TIPC,R
*W11,RW21,RW31,RW32,RW33,RAA,RAB,RBB,RAL,RBL,RLL,CCW,CGW,MW,CW,AW,X
*IW,YIW,GX,GY,XCW,YCW,GAMA,JT,JW,ZW,IIS)

IMPLICIT REAL*8(A-H,C-Z)

DIMENSION AW(5),RW11(4,4,5),RW21(4,4,5),RW31(4,4,5),RW32(4,4,5),GA
*MA(5),RAA(140,140),RAB(140,140),RBB(140,140),RAL(140,63),RBL(140,6
*3),RLL(63,63),BW(5),HW(5),DHW(5),DBW(5),CCW(5),CGW(5),MW(5),CW(5),
*TIPC(5),XCCW(5),YCCW(5),XIW(5),YIW(5),GX(5),GY(5),XCW(5),YCW(5),HA
*(20),TW(5),RW33(4,4,5),ZW(5)

INTEGER TIPC,DBW,DBW

REAL L,JT(5),JW(5)

AW(KW)=0.0

GX(KW)=0.0

GY(KW)=0.0

JT(KW)=0.0

JW(KW)=0.0

XCW(KW)=0.0

YCW(KW)=0.0

GAMA(KW)=0.0

XIW(KW)=0.0

YIW(KW)=0.0

NAUX=TIPC(KW)

IF(NAUX.EQ.1)GO TO 1000

MAUX=MW(KW)

IF(MAUX-1)305,300,305

300 CONTINUE

KAUX=DHW(KW)

IF(KAUX-1)15,10,15

15 L=HA(K)

AW(KW)=(2*BW(KW)+HW(KW))*TW(KW)

XIW(KW)=(HW(KW)**2*(HW(KW)+6.0*BW(KW))/12.0)*TW(KW)

YIW(KW)=(BW(KW)**3*(2*HW(KW)+BW(KW))/(3*(2*BW(KW)+HW(KW))))*TW(KW)

AX=1.70*BW(KW)

AY=0.85*HW(KW)

GX(KW)=12.0*E*YIW(KW)/(G*AX*TW(KW)*L**2)

GY(KW)=12.0*E*XIW(KW)/(G*AY*TW(KW)*L**2)

XCW(KW)=(CCW(KW)+CGW(KW))*DBW(KW)

YCW(KW)=0.0

JT(KW)=((2*BW(KW)+HW(KW))/3.0)*TW(KW)**3

JW(KW)=(BW(KW)**3*HW(KW)**2*(2*HW(KW)+3.0*BW(KW))/(12.0*(HW(KW)+6.
*BW(KW))))*TW(KW)

GO TO 20

10 L=HA(K)

AW(KW)=(2*BW(KW)+HW(KW))*TW(KW)

```

XIW(KW)=(BW(KW)**3*(BW(KW)+2*HW(KW))/(3*(2*BW(KW)+HW(KW))))*TW(KW)
YIW(KW)=(HW(KW)**2*(HW(KW)+6.0*BW(KW))/12.0)*TW(KW)
AX=0.85*HW(KW)
AY=1.70*BW(KW)
GX(KW)=12.0*E*YIW(KW)/(G*AX*TW(KW)*L**2)
GY(KW)=12.0*E*XIW(KW)/(G*AY*TW(KW)*L**2)
XCW(KW)=0.0
YCW(KW)=(CCW(KW)+CCW(KW))*DBW(KW)
JT(KW)=(2*BW(KW)+HW(KW))/3.0)*TW(KW)**3
JW(KW)=(BW(KW)**3*HW(KW)**2*(2*HW(KW)+3.0*BW(KW))/(12.0*(HW(KW)+6.
**BW(KW))))*TW(KW)
20 CONTINUE
VAUX=(G*JT(KW))/(E*JW(KW))
C=SQRT(VAUX)
CL=C*L
GAMA(KW)=G*JT(KW)/(2-2*DCOSH(CL)+CL*DSINH(CL))
GO TO 24
305 CONTINUE
IF(MW(KW)-3)400,310,400
310 CONTINUE
KAUX=DHW(KW)
IF(KAUX-1)320,315,320
315 L=HA(K)
AW(KW)=(2*BW(KW)+HW(KW))*TW(KW)
AX=0.85*HW(KW)
AY=1.70*BW(KW)
XIW(KW)=TW(KW)*BW(KW)**3/6.0
YIW(KW)=TW(KW)*HW(KW)**2*(HW(KW)/12+BW(KW)/2)
GX(KW)=12*E*YIW(KW)/(G*AX*TW(KW)*L**2)
GY(KW)=12*E*XIW(KW)/(G*AY*TW(KW)*L**2)
XCW(KW)=0.0
YCW(KW)=0.0
JT(KW)=TW(KW)**3*(2*BW(KW)+HW(KW))/3
JW(KW)=TW(KW)*(BW(KW)**3*HW(KW)**2)/24
GO TO 325
320 L=HA(K)
AW(KW)=TW(KW)*(2*BW(KW)+HW(KW))
AX=1.70*BW(KW)
AY=0.85*HW(KW)
XIW(KW)=TW(KW)*HW(KW)**2*(HW(KW)/12+BW(KW)/2)
YIW(KW)=TW(KW)*BW(KW)**3/6.0
GX(KW)=12*E*YIW(KW)/(G*AX*TW(KW)*L**2)
GY(KW)=12*E*XIW(KW)/(G*AY*TW(KW)*L**2)
XCW(KW)=0.0
YCW(KW)=0.0
JT(KW)=TW(KW)**3*(2*BW(KW)+HW(KW))/3
JW(KW)=TW(KW)*(BW(KW)**3*HW(KW)**2)/24
325 CONTINUE
VAUX=(G*JT(KW))/(E*JW(KW))
C=SQRT(VAUX)
CL=C*L
GAMA(KW)=G*JT(KW)/(2-2*DCOSH(CL)+CL*DSINH(CL))
GO TO 24
400 CONTINUE
MAUX=MW(KW)
IF(MAUX-2)505,405,505

```

```

405 L=HA(K)
   AW(KW)=TW(KW)*(2*BW(KW)+2*CW(KW)+HW(KW))
   IF(DHW(KW).EQ.2)GO TO 410
   AX=0.85*HW(KW)+1.70*CW(KW)
   AY=1.70*BW(KW)
   XIW(KW)=TW(KW)*(CGW(KW)**2*HW(KW)+BW(KW)**3/6.0+2*(BW(KW)/2-CGW(KW)
*)**2*BW(KW)+2*CW(KW)*(BW(KW)-CGW(KW))**2)
   YIW(KW)=TW(KW)*(HW(KW)**2/12*(HW(KW)+6*BW(KW)+6*CW(KW))+CW(KW)**2/
*6.0*(CW(KW)*4-6*HW(KW)))
   XCW(KW)=0.0
   YCW(KW)=(CCW(KW)+CGW(KW))*DBW(KW)
   GO TO 415
410 CONTINUE
   AX=1.70*BW(KW)
   AY=0.85*HW(KW)+1.70*CW(KW)
   XIW(KW)=TW(KW)*(HW(KW)**2/12*(HW(KW)+6*BW(KW)+6*CW(KW))+CW(KW)**2/
*6.0*(CW(KW)*4-6*HW(KW)))
   YIW(KW)=TW(KW)*(CGW(KW)**2*HW(KW)+BW(KW)**3/6.0+2*(BW(KW)/2-CGW(KW)
*)**2*BW(KW)+2*CW(KW)*(BW(KW)-CGW(KW))**2)
   XCW(KW)=(CCW(KW)+CGW(KW))*DBW(KW)
   YCW(KW)=0.0
415 GX(KW)=12*E*YIW(KW)/(G*AX*TW(KW)*L**2)
   GY(KW)=12*E*XIW(KW)/(G*AY*TW(KW)*L**2)
   JT(KW)=(HW(KW)+2*BW(KW)+2*CW(KW))*TW(KW)**3/3
   JW(KW)=TW(KW)*(HW(KW)**2*CCW(KW)**2/12*(HW(KW)+4*BW(KW)+6*CW(KW))+
*BW(KW)**2*HW(KW)**2/6*(BW(KW)-2*CCW(KW)+3*CW(KW)-6*CW(KW)*CCW(KW)/
*BW(KW))+2*CW(KW)**3/3*(BW(KW)**2+2*BW(KW)*CCW(KW)+CCW(KW)**2))
   VAUX=(G*JT(KW))/(E*JW(KW))
   C=SQRT(VAUX)
   CL=C*L
   GAMA(KW)=G*JT(KW)/(2-2*DCOSH(CL)+CL*DSINH(CL))
   GO TO 24
505 CONTINUE
   IF(MW(KW)-4)500,510,500
510 CONTINUE
   AW(KW)=TW(KW)*(HW(KW)+2*BW(KW)+4*ZW(KW))
   L=HA(K)
   KAUX=DHW(KW)
   IF(KAUX-1)520,515,520
515 AX=0.85*HW(KW)+3.4*ZW(KW)
   AY=1.70*BW(KW)
   XIW(KW)=TW(KW)*(BW(KW)**3/6+ZW(KW)*BW(KW)**2)
   YIW(KW)=TW(KW)*(HW(KW)**3/12+BW(KW)*HW(KW)**2/2+ZW(KW)**3/3+ZW(KW)
*(HW(KW)-ZW(KW))**2)
   GO TO 530
520 AX=1.70*BW(KW)
   AY=0.85*HW(KW)+3.4*ZW(KW)
   XIW(KW)=TW(KW)*(HW(KW)**3/12+BW(KW)*HW(KW)**2/2+ZW(KW)**3/3+ZW(KW)
*(HW(KW)-ZW(KW))**2)
   YIW(KW)=TW(KW)*(BW(KW)**3/6+ZW(KW)*BW(KW)**2)
530 CONTINUE
   XCW(KW)=0.0
   YCW(KW)=0.0
   GX(KW)=12*E*YIW(KW)/(G*AX*TW(KW)*L**2)
   GY(KW)=12*E*XIW(KW)/(G*AY*TW(KW)*L**2)
   JT(KW)=TW(KW)**3*(HW(KW)+2*BW(KW)+4*ZW(KW))/3

```

```

JW(KW)=TW(KW)*BW(KW)**2/24*(EW(KW)*HW(KW)**2+6*ZW(KW)*HW(KW)**2+8*
*ZW(KW)**3)
VAUX=(G*JT(KW))/(E*JW(KW))
C=SQRT(VAUX)
CL=C*L
GAMA(KW)=G*JT(KW)/(2-2*DCOSH(CL)+CL*DSINH(CL))

```

C
C
C

MATRIZ DE RIGIDEZ DA PAREDE NA FORMA PARTICIONADA

24 CONTINUE

```

DO 25 I=1,4
DO 25 J=1,4
RW11(I,J,KW)=C.C
RW21(I,J,KW)=0.0
RW31(I,J,KW)=C.C
RW32(I,J,KW)=0.0
RW33(I,J,KW)=0.0

```

25 CONTINUE

```

RW11(1,1,KW)=((4+GY(KW))*E*XIW(KW))/((1+GY(KW))*L)+E*AW(KW)*YCW(KW
*)**2/L
RW11(2,1,KW)=-E*AW(KW)*XCW(KW)*YCW(KW)/L
RW11(3,1,KW)=E*AW(KW)*YCW(KW)/L
RW11(1,2,KW)=-E*AW(KW)*XCW(KW)*YCW(KW)/L
RW11(2,2,KW)=((4+GX(KW))*E*YIW(KW))/((1+GX(KW))*L)+E*AW(KW)*XCW(KW
*)**2/L
RW11(3,2,KW)=-E*AW(KW)*XCW(KW)/L
RW11(1,3,KW)=E*AW(KW)*YCW(KW)/L
RW11(2,3,KW)=-E*AW(KW)*XCW(KW)/L
RW11(3,3,KW)=E*AW(KW)/L
RW11(4,4,KW)=GAMA(KW)*(L*DCOSH(CL)-DSINH(CL))/C
RW21(1,1,KW)=((2-GY(KW))*E*XIW(KW))/((1+GY(KW))*L)-E*AW(KW)*YCW(KW
*)**2/L
RW21(2,1,KW)=E*AW(KW)*XCW(KW)*YCW(KW)/L
RW21(3,1,KW)=-E*AW(KW)*YCW(KW)/L
RW21(1,2,KW)=E*AW(KW)*XCW(KW)*YCW(KW)/L
RW21(2,2,KW)=((2-GX(KW))*E*YIW(KW))/((1+GX(KW))*L)-E*AW(KW)*XCW(KW
*)**2/L
RW21(3,2,KW)=E*AW(KW)*XCW(KW)/L
RW21(1,3,KW)=-E*AW(KW)*YCW(KW)/L
RW21(2,3,KW)=E*AW(KW)*XCW(KW)/L
RW21(3,3,KW)=-E*AW(KW)/L
RW21(4,4,KW)=GAMA(KW)*(DSINH(CL)/C-L)
RW31(2,1,KW)=6.C*E*XIW(KW)/((1+GY(KW))*L**2)
RW31(1,2,KW)=-6.C*E*YIW(KW)/((1+GX(KW))*L**2)
RW31(3,4,KW)=GAMA(KW)*(DCOSH(CL)-1)
RW32(2,1,KW)=6.0*E*XIW(KW)/((1+GY(KW))*L**2)
RW32(1,2,KW)=-6.0*E*YIW(KW)/((1+GX(KW))*L**2)
RW32(3,4,KW)=GAMA(KW)*(DCOSH(CL)-1)
RW33(1,1,KW)=12.C*E*YIW(KW)/((1+GX(KW))*L**3)
RW33(2,2,KW)=12.C*E*XIW(KW)/((1+GY(KW))*L**3)
RW33(3,3,KW)=GAMA(KW)*C*DSINH(CL)
DO 30 J=1,4
RW31(3,J,KW)=RW31(3,J,KW)-YCCW(KW)*RW31(1,J,KW)+XCCW(KW)*RW31(2,J,
*KW)
RW32(3,J,KW)=RW32(3,J,KW)-YCCW(KW)*RW32(1,J,KW)+XCCW(KW)*RW32(2,J,
*KW)

```

```

      IF(J.EQ.4)GC TC 3C
      RW33(3,J,KW)=RW33(3,J,KW)-YCCW(KW)*RW33(1,J,KW)+XCCW(KW)*RW33(2,J,
      *KW)
30  CONTINUE
      DO 35 I=1,3
35  RW33(I,3,KW)=RW33(I,3,KW)-YCCW(KW)*RW33(I,1,KW)+XCCW(KW)*RW33(I,2,
      *KW)
      GO TO 200
1000 L=HA(K)
      AW(KW)=HW(KW)*TW(KW)
      IF(DHW(KW)-1)€1,€5,€1
65  XIW(KW)=(HW(KW)/12.0)*TW(KW)**3
      YIW(KW)=(HW(KW)**3/12.0)*TW(KW)
      AX=0.85*HW(KW)
      AY=0.85*TW(KW)
      GO TO 70
61  XIW(KW)=(HW(KW)**3/12.0)*TW(KW)
      YIW(KW)=(HW(KW)/12.0)*TW(KW)**3
      AX=0.85*TW(KW)
      AY=0.85*HW(KW)
70  GX(KW)=12.0*E*YIW(KW)/(G*AX*TW(KW)*L**2)
      GY(KW)=12.0*E*XIW(KW)/(G*AY*TW(KW)*L**2)
      XCW(KW)=0.0
      YCW(KW)=0.0
      JT(KW)=HW(KW)*TW(KW)**3/3.0
      DO 75 I=1,4
      DO 75 J=1,4
      RW11(I,J,KW)=0.0
      RW21(I,J,KW)=0.0
      RW31(I,J,KW)=0.0
      RW32(I,J,KW)=0.0
      RW33(I,J,KW)=0.0
75  CONTINUE
      RW11(1,1,KW)=(4+GY(KW))*E*XIW(KW)/((1+GY(KW))*L)
      RW11(2,2,KW)=(4+GX(KW))*E*YIW(KW)/((1+GX(KW))*L)
      RW11(3,3,KW)=E*AW(KW)/L
      RW21(1,1,KW)=(2-GY(KW))*E*XIW(KW)/((1+GY(KW))*L)
      RW21(2,2,KW)=(2-GX(KW))*E*YIW(KW)/((1+GX(KW))*L)
      RW21(3,3,KW)=-E*AW(KW)/L
      RW31(2,1,KW)=6*E*XIW(KW)/((1+GY(KW))*L**2)
      RW31(1,2,KW)=-6*E*YIW(KW)/((1+GX(KW))*L**2)
      RW32(2,1,KW)=RW31(2,1,KW)
      RW32(1,2,KW)=RW31(1,2,KW)
      RW33(1,1,KW)=12.0*E*YIW(KW)/((1+GX(KW))*L**3)
      RW33(2,2,KW)=12.0*E*XIW(KW)/((1+GY(KW))*L**3)
      RW33(3,3,KW)=G*JT(KW)/L
      DO 80 J=1,4
      RW31(3,J,KW)=RW31(3,J,KW)-YCCW(KW)*RW31(1,J,KW)+XCCW(KW)*RW31(2,J,
      *KW)
      RW32(3,J,KW)=RW32(3,J,KW)-YCCW(KW)*RW32(1,J,KW)+XCCW(KW)*RW32(2,J,
      *KW)
      IF(J.EQ.4)GC TC 8C
      RW33(3,J,KW)=RW33(3,J,KW)-YCCW(KW)*RW33(1,J,KW)+XCCW(KW)*RW33(2,J,
      *KW)
30  CONTINUE
      DO 85 I=1,3

```

```
85 RW33(I,2,KW)=RW33(I,3,KW)-YCCW(KW)*RW33(I,1,KW)+XCCW(KW)*RW33(I,2,
*KW)
200 CONTINUE
  DO 50 I=1,4
    II=3*NCNG+4*(KW-1)+I
    DO 50 J=1,4
      JJ=3*NCNG+4*(KW-1)+J
      RAA(II,JJ)=RAA(II,JJ)+RW11(I,J,KW)
      RBB(II,JJ)=RBB(II,JJ)+RW11(I,J,KW)
      RAB(II,JJ)=RAB(II,JJ)+RW21(I,J,KW)
      IF(J.EQ.4)GO TO 50
      KJ=3*(K-1)+J
      RAL(II,KJ)=RAL(II,KJ)+RW31(J,I,KW)
      IF(K.EQ.NA)GO TO 611
      RAL(II,KJ+3)=RAL(II,KJ+3)-RW31(J,I,KW)
611 RBL(II,KJ)=RBL(II,KJ)+RW32(J,I,KW)
      IF(K.EQ.NA)GO TO 612
      RBL(II,KJ+3)=RBL(II,KJ+3)-RW32(J,I,KW)
612 CONTINUE
      IF(I.EQ.4)GO TO 50
      KI=3*(K-1)+I
      RLL(KI,KJ)=RLL(KI,KJ)+RW33(I,J,KW)
      IF(K.EQ.NA)GO TO 613
      RLL(KI+3,KJ)=RLL(KI+3,KJ)-RW33(I,J,KW)
      RLL(KI,KJ+3)=RLL(KI,KJ+3)-RW33(I,J,KW)
      RLL(KI+3,KJ+3)=RLL(KI+3,KJ+3)+RW33(I,J,KW)
613 CONTINUE
50 CONTINUE
  DO 171 M=1,4
    RW31(3,M,KW)=RW31(3,M,KW)+YCCW(KW)*RW31(1,M,KW)-XCCW(KW)*RW31(2,M,
*KW)
    RW32(3,M,KW)=RW32(3,M,KW)+YCCW(KW)*RW32(1,M,KW)-XCCW(KW)*RW32(2,M,
*KW)
    IF(M.EQ.4)GO TO 171
    RW33(3,M,KW)=RW33(3,M,KW)+YCCW(KW)*RW33(1,M,KW)-XCCW(KW)*RW33(2,M,
*KW)
171 CONTINUE
  DO 174 M=1,3
    RW33(M,3,KW)=RW33(M,3,KW)+YCCW(KW)*RW33(M,1,KW)-XCCW(KW)*RW33(M,2,
*KW)
174 CONTINUE
500 RETURN
  END
```

C
C
C
C
C
C

SUB-ROUTINA RIGVP

CONTRIBUICAO DAS VIGAS E PILARES NA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA

SUBROUTINE RIGVP(K,NVX,NVY,CNOP,CCNO,E,G,AP,ITP,IPX,IPY,IFVX,IFVY,
*ITVX,ITVY,HA,LX,LY,XNC,YNC,CNCVX,CNCVY,CNCW,VW,NCNO,RAA,RBB,RAB,RA
*L,RLL,RBL,NA,Nw,VwX,VwY,LINTX,LINTY,LW,NVw,IIS)

IMPLICIT REAL*8(A-F,O-Z)

DIMENSION CNCVX(9,9),CNOVY(9,9),CNCW(9,9),CNOP(9,9),VW(5,50),CCNO(
*9,9),AP(9,9),HA(20),XNC(9),TRV(4,4),YNO(9),TVW(4,4),RAA(140,140),R
*AB(140,140),RBB(140,140),RAL(140,63),RBL(140,63),RLL(63,63),RVJJ(4
*,4),RVKJ(4,4),RVKK(4,4),VwX(5,50),VwY(5,50),LINTX(9,9),NVW(50),LIN
*TY(9,9)

REAL LX(9),LY(9),IFVX(9,9),IFVY(9,9),ITVX(9,9),ITVY(9,9),IPX(9,9),
*IPY(9,9),ITP(9,9),L,LW(9,9)

INTEGER CNCVX,CNOVY,CNCW,CNOP,CCNO

NOX=NVX+1

NOY=NVY+1

DO 20 J=1,NOY

DO 20 I=1,NOX

NAUX=CNOP(I,J)

IF(NAUX.EQ.0)GO TO 20

JJ1=3*CCNO(I,J)-2

KK1=JJ1

JJ2=JJ1+1

KK2=JJ2

JJ3=JJ1+2

KK3=JJ3

LJ1=3*KK-2

LJ2=LJ1+1

LJ3=LJ1+2

LK1=LJ1+3

LK2=LJ1+4

LK3=LJ1+5

L=HA(K)

RPZ11=E*AP(I,J)/L

RPZ22=G*ITP(I,J)/L

RPX11=4.0*E*IPX(I,J)/L

KPY11=4.0*E*IPY(I,J)/L

RPX22=6.0*E*IPX(I,J)/L**2

RPY22=6.0*E*IPY(I,J)/L**2

RPX33=12.0*E*IPX(I,J)/L**3

RPY33=12.0*E*IPY(I,J)/L**3

RPX12=2.0*E*IPX(I,J)/L

RPY12=2.0*E*IPY(I,J)/L

RPXX2=RPX22*XNC(I)

KPYY2=RPY22*YNC(J)

RPXX3=RPX33*XNC(I)

KPYY3=RPY33*YNC(J)

RPXXX3=RPXX3*XNC(I)

RPYYY3=RPYY3*YNC(J)

```
RAA(JJ1,JJ1)=RAA(JJ1,JJ1)+RPX11
RAA(JJ2,JJ2)=RAA(JJ2,JJ2)+RPY11
RAA(JJ3,JJ3)=RAA(JJ3,JJ3)+RPZ11
RAB(JJ1,KK1)=RAB(JJ1,KK1)+RPX12
RAB(JJ2,KK2)=RAB(JJ2,KK2)+RPY12
RAB(JJ3,KK3)=RAB(JJ3,KK3)-RPZ11
RBB(KK1,KK1)=RBB(KK1,KK1)+RPX11
RBB(KK2,KK2)=RBB(KK2,KK2)+RPY11
RBB(KK3,KK3)=RBB(KK3,KK3)+RPZ11
RAL(JJ1,LJ2)=RAL(JJ1,LJ2)+RPX22
RAL(JJ1,LJ3)=RAL(JJ1,LJ3)+RPXX2
RAL(JJ2,LJ1)=RAL(JJ2,LJ1)-RPY22
RAL(JJ2,LJ3)=RAL(JJ2,LJ3)+RPYY2
IF(K.EQ.NA)GO TO 451
RAL(JJ1,LK2)=RAL(JJ1,LK2)-RPX22
RAL(JJ1,LK3)=RAL(JJ1,LK3)-RPXX2
RAL(JJ2,LK1)=RAL(JJ2,LK1)+RPY22
RAL(JJ2,LK3)=RAL(JJ2,LK3)-RPYY2
451 RBL(KK1,LJ2)=RBL(KK1,LJ2)+RPX22
RBL(KK1,LJ3)=RBL(KK1,LJ3)+RPXX2
RBL(KK2,LJ1)=RBL(KK2,LJ1)-RPY22
RBL(KK2,LJ3)=RBL(KK2,LJ3)+RPYY2
IF(K.EQ.NA)GO TO 452
RBL(KK1,LK2)=RBL(KK1,LK2)-RPX22
RBL(KK1,LK3)=RBL(KK1,LK3)-RPXX2
RBL(KK2,LK1)=RBL(KK2,LK1)+RPY22
RBL(KK2,LK3)=RBL(KK2,LK3)-RPYY2
452 RLL(LJ1,LJ1)=RLL(LJ1,LJ1)+RPY33
RLL(LJ1,LJ3)=RLL(LJ1,LJ3)-RPYY3
RLL(LJ2,LJ2)=RLL(LJ2,LJ2)+RPX33
RLL(LJ2,LJ3)=RLL(LJ2,LJ3)+RPXX3
RLL(LJ3,LJ1)=RLL(LJ3,LJ1)-RPYY3
RLL(LJ3,LJ2)=RLL(LJ3,LJ2)+RPXX3
RLL(LJ3,LJ3)=RLL(LJ3,LJ3)+RPZ22+RPXXX3+RPYYY3
IF(K.EQ.NA)GO TO 453
RLL(LJ1,LK1)=RLL(LJ1,LK1)-RPY33
RLL(LJ1,LK3)=RLL(LJ1,LK3)+RPYY3
RLL(LJ2,LK2)=RLL(LJ2,LK2)-RPX33
RLL(LJ2,LK3)=RLL(LJ2,LK3)-RPXX3
RLL(LJ3,LK1)=RLL(LJ3,LK1)+RPYY3
RLL(LJ3,LK2)=RLL(LJ3,LK2)-RPXX3
RLL(LJ3,LK3)=RLL(LJ3,LK3)-RPZ22-RPXXX3-RPYYY3
RLL(LK1,LJ1)=RLL(LK1,LJ1)-RPY33
RLL(LK1,LJ3)=RLL(LK1,LJ3)+RPYY3
RLL(LK2,LJ2)=RLL(LK2,LJ2)-RPX33
RLL(LK2,LJ3)=RLL(LK2,LJ3)-RPXX3
RLL(LK3,LJ1)=RLL(LK3,LJ1)+RPYY3
RLL(LK3,LJ2)=RLL(LK3,LJ2)-RPXX3
RLL(LK3,LJ3)=RLL(LK3,LJ3)-RPZ22-RPXXX3-RPYYY3
RLL(LK1,LK1)=RLL(LK1,LK1)+RPY33
RLL(LK1,LK3)=RLL(LK1,LK3)-RPYY3
RLL(LK2,LK2)=RLL(LK2,LK2)+RPX33
RLL(LK2,LK3)=RLL(LK2,LK3)+RPXX3
RLL(LK3,LK1)=RLL(LK3,LK1)-RPYY3
RLL(LK3,LK2)=RLL(LK3,LK2)+RPXX3
RLL(LK3,LK3)=RLL(LK3,LK3)+RPZ22+RPXXX3+RPYYY3
```



```
453 CONTINUE
20 CONTINUE
  DO 50 I=1,NVX
  DO 50 J=1,NCY
    NAUX=CNCVX(I,J)
    IF(NAUX.EQ.0)GO TO 50
    L=LX(I)
    NAUX3=LINTX(I,J)
    IF(NAUX3.EQ.0)GO TO 30
    L=LX(I)-LW(I,J)
30 CONTINUE
  RV1=G*ITVX(I,J)/L
  RV2=4.0*E*IFVX(I,J)/L
  RV3=6.0*E*IFVX(I,J)/L**2
  RV4=12.0*E*IFVX(I,J)/L**3
  DO 35 JV=1,4
  DO 35 KV=1,4
    RVJJ(JV,KV)=0.0
    RVKJ(JV,KV)=0.0
    RVKK(JV,KV)=0.0
35 CONTINUE
  RVKJ(1,1)=-RV1
  RVKJ(2,2)=RV2/2.0
  RVKJ(3,3)=-RV4
  RVKJ(3,2)=RV3
  RVKJ(2,3)=-RV3
  RVJJ(1,1)=RV1
  RVJJ(2,2)=RV2
  RVJJ(3,3)=RV4
  RVJJ(3,2)=-RV3
  RVJJ(2,3)=-RV3
  RVKK(1,1)=RV1
  RVKK(2,2)=RV2
  RVKK(3,3)=RV4
  RVKK(3,2)=RV3
  RVKK(2,3)=RV3
  NAUX1=CNCW(I,J)
  IF(NAUX1)40,41,40
41 NAUX2=CNCW(I+1,J)
  IF(NAUX2)40,42,40
42 M=3
  DO 45 JV=1,M
  JA=3*CCNC(I,J)-3+JV
  DO 45 KV=1,M
  KA=3*CCNC(I,J)-3+KV
  RAA(JA,KA)=RAA(JA,KA)+RVJJ(JV,KV)
  RAA(JA+3,KA+3)=RAA(JA+3,KA+3)+RVKK(JV,KV)
  RAA(JA+3,KA)=RAA(JA+3,KA)+RVKJ(JV,KV)
  RAA(JA,KA+3)=RAA(JA,KA+3)+RVKJ(KV,JV)
45 CONTINUE
  GO TO 50
40 JAUX=CNCW(I+1,J)
  IF(JAUX.EQ.0)GO TO 55
  LAUX=LINTX(I,J)
  IF(LAUX.EQ.0)GO TO 48
  KKW=LINTX(I,J)+2
```

```
GO TO 49
48 KKW=CNCW(I+1,J)
49 CONTINUE
DO 60 I1=1,4
DO 60 I2=1,4
60 TVW(I1,I2)=0.0
TVW(1,1)=1.0
TVW(2,2)=1.0
TVW(3,3)=1.0
TVW(3,1)=VW(2,KKW)
TVW(3,2)=-VW(1,KKW)
TVW(1,4)=-VWX(3,KKW)
TVW(2,4)=-VWX(4,KKW)
TVW(3,4)=VW(5,KKW)
DO 70 I1=1,4
DO 70 J1=1,4
70 TRV(I1,J1)=0.0
DO 75 I1=1,4
DO 75 J1=1,3
T=0.0
DO 73 K1=1,3
73 T=T+TVW(K1,I1)*RVKJ(K1,J1)
75 TRV(I1,J1)=T
DO 80 I1=1,4
DO 80 J1=1,4
80 RVKJ(I1,J1)=TRV(I1,J1)
DO 85 I1=1,4
DO 85 J1=1,3
T=0.0
DO 84 K1=1,3
84 T=T+TVW(K1,I1)*RVKK(K1,J1)
85 TRV(I1,J1)=T
DO 90 I1=1,4
DO 90 J1=1,4
T=0.0
DO 88 K1=1,3
88 T=T+TRV(I1,K1)*TVW(K1,J1)
90 RVKK(I1,J1)=T
55 NAUX=CNCW(I,J)
IF(NAUX.EQ.0)GO TO 100
LAUX=LINTX(I,J)
IF(LAUX.EQ.0)GO TO 104
KKW=LINTX(I,J)+1
GO TO 103
104 KKW=CNCW(I,J)
103 CONTINUE
DO 105 I1=1,4
DO 105 J1=1,4
105 TVW(I1,J1)=0.0
TVW(1,1)=1.0
TVW(2,2)=1.0
TVW(3,3)=1.0
TVW(3,1)=VW(2,KKW)
TVW(3,2)=-VW(1,KKW)
TVW(1,4)=-VWX(3,KKW)
TVW(2,4)=-VWX(4,KKW)
```

```
      TVW(3,4)=VW(5,KK)
      DO 115 I1=1,4
      DO 115 J1=1,4
115  TRV(I1,J1)=C.C
      IW=3
      NAUX=CNDW(I+1,J)
      IF(NAUX)117,118,117
117  IW=4
118  CONTINUE
      DO 130 I1=1,IW
      DO 130 J1=1,4
      T=0.0
      DO 125 K1=1,3
125  T=T+RVKJ(I1,K1)*TVW(K1,J1)
130  TRV(I1,J1)=T
      DO 135 I1=1,4
      DO 135 J1=1,4
135  RVKJ(I1,J1)=TRV(I1,J1)
      DO 140 I1=1,3
      DO 140 J1=1,4
      T=0.0
      DO 139 K1=1,3
139  T=T+RVJJ(I1,K1)*TVW(K1,J1)
140  TRV(I1,J1)=T
      DO 145 I1=1,4
      DO 145 J1=1,4
      T=0.0
      DO 144 K1=1,3
144  T=T+TVW(K1,I1)*TRV(K1,J1)
145  RVJJ(I1,J1)=T
100  KL=3*CCNC(I+1,J)-2
      KAUX=CNDW(I+1,J)
      IF(KAUX)150,151,150
150  KL=3*NCNC+4*NVW(CNCW(I+1,J))-3
151  JL=3*CCNC(I,J)-2
      JAUX=CNDW(I,J)
      IF(JAUX)155,156,155
155  JL=3*NCNC+4*NVW(CNDW(I,J))-3
156  CONTINUE
      DO 160 I1=1,4
      IJ=JL-1+I1
      IK=KL-1+I1
      DO 160 J1=1,4
      JJ=JL-1+J1
      JK=KL-1+J1
      RAA(IJ,JJ)=RAA(IJ,JJ)+RVJJ(I1,J1)
      RAA(IK,JK)=RAA(IK,JK)+RVKK(I1,J1)
      RAA(IK,JJ)=RAA(IK,JJ)+RVKJ(I1,J1)
      RAA(IJ,JK)=RAA(IJ,JK)+RVKJ(J1,I1)
160  CONTINUE
50  CONTINUE
      DO 190 I=1,NGX
      DO 190 J=1,NVY
      NAUX=CNCVY(I,J)
      IF(NAUX.EC.0)GO TO 190
      L=LY(J)
```

```
NAUX3=LINTY(I,J)
IF(NAUX3.EQ.0)GO TO 199
L=LY(J)-LW(I,J)
199 CONTINUE
RV1=0*ITVY(I,J)/L
RV2=4.0*E*IFVY(I,J)/L
RV3=6.0*E*IFVY(I,J)/L**2
RV4=12.0*E*IFVY(I,J)/L**3
DO 202 J1=1,4
DO 202 K1=1,4
RVJJ(J1,K1)=0.0
RVKJ(J1,K1)=0.0
RVKK(J1,K1)=0.0
202 CONTINUE
RVJJ(1,1)=RV2
RVJJ(2,2)=RV1
RVJJ(3,3)=RV4
RVJJ(3,1)=RV3
RVJJ(1,3)=RV3
RVKJ(1,1)=RV2/2.0
RVKJ(2,2)=-RV1
RVKJ(3,3)=-RV4
RVKJ(3,1)=-RV3
RVKJ(1,3)=RV3
RVKK(1,1)=RV2
RVKK(2,2)=RV1
RVKK(3,3)=RV4
RVKK(3,1)=-RV3
RVKK(1,3)=-RV3
JAUX1=CNCW(I,J)
IF(JAUX1)200,205,200
205 JAUX2=CNCW(I,J+1)
IF(JAUX2)200,206,200
206 CONTINUE
DO 210 I1=1,3
IJ=3*CCNC(I,J)-3+I1
IK=3*CCNC(I,J+1)-3+I1
DO 210 J1=1,3
JJ=3*CCNC(I,J)-3+J1
JK=3*CCNC(I,J+1)-3+J1
RAA(IJ,JJ)=RAA(IJ,JJ)+RVJJ(I1,J1)
RAA(IK,JK)=RAA(IK,JK)+RVKK(I1,J1)
RAA(IK,JJ)=RAA(IK,JJ)+RVKJ(I1,J1)
RAA(IJ,JK)=RAA(IJ,JK)+RVKJ(J1,I1)
210 CONTINUE
GO TO 190
200 NAUX=CNCW(I,J+1)
IF(NAUX.EQ.0)GO TO 222
LAUX=LINTY(I,J)
IF(LAUX.EQ.C)GO TO 237
KKW=LINTY(I,J)+2
GO TO 238
237 KKW=CNCW(I,J+1)
238 CONTINUE
DO 230 I1=1,4
DO 230 J1=1,4
```

```
230 TVW(I1,J1)=0.0
    TVW(1,1)=1.0
    TVW(2,2)=1.0
    TVW(3,3)=1.0
    TVW(3,1)=VW(2,KKW)
    TVW(3,2)=-VW(1,KKW)
    TVW(1,4)=-VWY(3,KKW)
    TVW(2,4)=-VWY(4,KKW)
    TVW(3,4)=VW(5,KKW)
    DO 240 I1=1,4
    DO 240 J1=1,4
240 TRV(I1,J1)=0.0
    DO 245 I1=1,4
    DO 245 J1=1,3
    T=0.0
    DO 244 K1=1,3
244 T=T+TVW(K1,I1)*RVKJ(K1,J1)
245 TRV(I1,J1)=T
    DO 250 I1=1,4
    DO 250 J1=1,4
250 RVKJ(I1,J1)=TRV(I1,J1)
    DO 260 I1=1,4
    DO 260 J1=1,3
    T=0.0
    DO 255 K1=1,3
255 T=T+TVW(K1,I1)*RVKK(K1,J1)
260 TRV(I1,J1)=T
    DO 270 I1=1,4
    DO 270 J1=1,4
    T=0.0
    DO 265 K1=1,3
265 T=T+TRV(I1,K1)*TVW(K1,J1)
270 RVKK(I1,J1)=T
222 MAUX=CNDW(I,J)
    IF(MAUX.EQ.0)GO TO 280
    LAUX=LINTY(I,J)
    IF(LAUX.EQ.0)GO TO 291
    KKW=LINTY(I,J)+1
    GO TO 292
291 KKW=CNDW(I,J)
292 CONTINUE
    DO 290 I1=1,4
    DO 290 J1=1,4
290 TVW(I1,J1)=0.0
    TVW(1,1)=1.0
    TVW(2,2)=1.0
    TVW(3,3)=1.0
    TVW(3,1)=VW(2,KKW)
    TVW(3,2)=-VW(1,KKW)
    TVW(1,4)=-VWY(3,KKW)
    TVW(2,4)=-VWY(4,KKW)
    TVW(3,4)=VW(5,KKW)
    DO 305 I1=1,4
    DO 305 J1=1,4
305 TRV(I1,J1)=0.0
    IW=3
```

```
      NAUX=CNCW(I,J+1)
      IF(NAUX)307,308,307
307  Iw=4
308  CONTINUE
      DO 315 I1=1,Iw
      DO 315 J1=1,4
      T=0.0
      DO 313 K1=1,3
313  T=T+RVKJ(I1,K1)*TVW(K1,J1)
315  TRV(I1,J1)=T
      DO 320 I1=1,4
      DO 320 J1=1,4
320  RVKJ(I1,J1)=TRV(I1,J1)
      DO 325 I1=1,3
      DO 325 J1=1,4
      T=0.0
      DO 324 K1=1,3
324  T=T+RVJJ(I1,K1)*TVW(K1,J1)
325  TRV(I1,J1)=T
      DO 330 I1=1,4
      DO 330 J1=1,4
      T=0.0
      DO 333 K1=1,3
333  T=T+TVW(K1,I1)*TRV(K1,J1)
330  RVJJ(I1,J1)=T
280  KL=3*CNC(I,J+1)-2
      KAUX1=CNC(I,J+1)
      IF(KAUX1)285,288,285
285  KL=3*NCNC+4*NVW(CNC(I,J+1))-3
288  JL=3*CNC(I,J)-2
      KAUX2=CNC(I,J)
      IF(KAUX2)434,444,434
434  JL=3*NCNC+4*NVW(CNC(I,J))-3
444  CONTINUE
      DO 666 I1=1,4
      IJ=JL-1+I1
      IK=KL-1+I1
      DO 666 J1=1,4
      JJ=JL-1+J1
      JK=KL-1+J1
      RAA(IJ,JJ)=RAA(IJ,JJ)+RVJJ(I1,J1)
      RAA(IK,JK)=RAA(IK,JK)+RVKK(I1,J1)
      RAA(IK,JJ)=RAA(IK,JJ)+RVKJ(I1,J1)
      RAA(IJ,JK)=RAA(IJ,JK)+RVKJ(J1,I1)
666  CONTINUE
190  CONTINUE
      RETURN
      END
```

C *****

C
C
C
C
C

SUB-ROTINA FORCAS

CALCULO E DETERMINACAO DO VETOR DE FORCAS

C *****
SUBROUTINE FORCAS(K,NA,FA,FL,CNCP,CNCW,NCNO,VW,LX,LY,CNOVX,CNOVY,Q
*X,QY,CCNO,VWX,VWY,NVW,LINTX,LINTY,LW,IIS)

IMPLICIT REAL*8(A-H,C-Z)
DIMENSION QX(9,9),QY(9,9),FL(63),CNCP(9,9),CNCW(9,9),VW(5,50),FA(1
*40),CCNO(9,9),FX(20),FY(20),VWX(5,50),VWY(5,50),NVW(50),LINTX(9,9)
*,LINTY(9,9)
REAL MZ(20),ME,LX(9),LY(9),L,LW(9,9)
INTEGER CNCP,CNCW,CNOVX,CNOVY,CCNO
DO 10 I=1,9
DO 10 J=1,9
QX(I,J)=0.0
QY(I,J)=0.0

10 CONTINUE

C *****

C
C
C
C
C
C
C

ENTRADA DE DADOS

FX FORCA HORIZONTAL NA DIRECAO 'X'
FY FORCA HORIZONTAL NA DIRECAO 'Y'
MZ MOMENTO RESULTANTE NO EIXO 'Z'

C *****

15 READ(1,15)FX(K),FY(K),MZ(K)
FORMAT(3E14.7)
K1=3*K-2
K2=K1+1
K3=K1+2
FL(K1)=FL(K1)+FX(K)
FL(K2)=FL(K2)+FY(K)
FL(K3)=FL(K3)+MZ(K)

C *****

C
C
C
C
C
C

ENTRADA DE DADOS

NNCA NUMERO DE NOS CARREGADOS NO ANDAR
NVCX NUMERO DE VACS CARREGADOS NA DIRECAO 'X'
NVCY NUMERO DE VACS CARREGADOS NA DIRECAO 'Y'

C *****

25 READ(1,25)NNCA,NVCX,NVCY
FORMAT(3I3)
IF(NNCA.EQ.0)GO TO 40
DO 30 I=1,NNCA
35 READ(1,35)I1,J1,F1,F2,F3
FORMAT(2I2,3E10.4)
NAUX=CNCP(I1,J1)
IF(NAUX)37,38,37
37 K1=3*CCNO(I1,J1)-2
FA(K1)=FA(K1)+F1

```
FA(K1+1)=FA(K1+1)+F2
FA(K1+2)=FA(K1+2)+F3
GO TO 30
38 KW=CNDW(I1,J1)
K1=3*NCND+4*NW(KW)-3
FA(K1)=FA(K1)+F1+VW(2,KW)*F3
FA(K1+1)=FA(K1+1)+F2-VW(1,KW)*F3
FA(K1+2)=FA(K1+2)+F3
FA(K1+3)=FA(K1+3)-VWX(3,KW)*F1-VWY(4,KW)*F2+VW(5,KW)*F3
30 CONTINUE
40 CONTINUE
IF(NVCX.EQ.0)GO TO 100
DO 55 I=1,NVCX
READ(1,60)I1,J1,CX(I1,J1)
60 FORMAT(2I2,E14.7)
L=LX(I1)
LAUX=LINTX(I1,J1)
IF(LAUX.EQ.0)GO TO 64
L=LX(I1)-LW(I1,J1)
64 Q=QX(I1,J1)
NAUX=CNDVX(I1,J1)
IF(NAUX)66,70,66
66 RE=Q*L/2.0
ME=Q*L**2/12.0
KAUX=CNDP(I1,J1)
IF(KAUX)77,75,77
77 K1=3*CCNC(I1,J1)-2
FA(K1+1)=FA(K1+1)+ME
FA(K1+2)=FA(K1+2)-RE
GO TO 80
75 Kw=CNDW(I1,J1)
K1=3*NCND+4*NW(KW)-3
FA(K1)=FA(K1)-VW(2,KW)*RE
FA(K1+1)=FA(K1+1)+ME+VW(1,KW)*RE
FA(K1+2)=FA(K1+2)-RE
FA(K1+3)=FA(K1+3)+VWX(4,KW)*ME-VW(5,KW)*RE
80 KAUX=CNDP(I1+1,J1)
IF(KAUX)85,88,85
85 K1=3*CCNC(I1+1,J1)-2
FA(K1+1)=FA(K1+1)-ME
FA(K1+2)=FA(K1+2)-RE
GO TO 55
88 Kw=CNDW(I1+1,J1)
K1=3*NCND+4*NW(KW)-3
FA(K1)=FA(K1)-VW(2,KW)*RE
FA(K1+1)=FA(K1+1)-ME-VW(1,KW)*RE
FA(K1+2)=FA(K1+2)-RE
FA(K1+3)=FA(K1+3)-VWX(4,KW)*ME-VW(5,KW)*RE
GO TO 100
70 Kw=CNDW(I1,J1)
K1=3*NCND+4*NW(KW)-3
FA(K1)=FA(K1)-VW(2,KW)*Q*L
FA(K1+1)=FA(K1+1)+(VW(1,KW)+L/2.0)*Q*L
FA(K1+2)=FA(K1+2)-Q*L
FA(K1+3)=FA(K1+3)-(VW(5,KW)+VW(5,CNDW(I1+1,J1)))*Q*L/2.0
55 CONTINUE
```



```
100 NAUX=NVCY
    IF(NAUX.EQ.0)GO TO 500
    DO 105 I=1,NVCY
    READ(1,110)I1,J1,QY(I1,J1)
110 FORMAT(2I2,E14.7)
    L=LY(J1)
    LAUX=LINTY(I1,J1)
    IF(LAUX.EQ.0)GO TO 117
    L=LY(J1)-LW(I1,J1)
117 Q=QY(I1,J1)
    NAUX=CNOVY(I1,J1)
    IF(NAUX)120,125,120
120 ME=Q*L**2/12.0
    RE=Q*L/2.0
    KAUX=CNDP(I1,J1)
    IF(KAUX)130,135,130
130 K1=3*CCNC(I1,J1)-2
    FA(K1)=FA(K1)-ME
    FA(K1+2)=FA(K1+2)-RE
    GO TO 140
135 Kw=CNDW(I1,J1)
    K1=3*NCNC+4*N VW(KW)-3
    FA(K1)=FA(K1)-ME-VW(2,KW)*RE
    FA(K1+1)=FA(K1+1)+VW(1,KW)*RE
    FA(K1+2)=FA(K1+2)-RE
    FA(K1+3)=FA(K1+3)-VWY(3,KW)*ME-VW(5,KW)*RE
140 KAUX=CNDP(I1,J1+1)
    IF(KAUX)145,150,145
145 K1=3*CCNC(I1,J1+1)-2
    FA(K1)=FA(K1)+ME
    FA(K1+2)=FA(K1+2)-RE
    GO TO 105
150 Kw=CNDW(I1,J1+1)
    K1=3*NCNC+4*N VW(KW)-3
    FA(K1)=FA(K1)+ME-VW(2,KW)*RE
    FA(K1+1)=FA(K1+1)+VW(1,KW)*RE
    FA(K1+2)=FA(K1+2)-RE
    FA(K1+3)=FA(K1+3)+VWY(3,KW)*ME-VW(5,KW)*RE
    GO TO 105
125 Kw=CNDW(I1,J1)
    K1=3*NCNC+4*N VW(KW)-3
    FA(K1)=FA(K1)-(VW(2,KW)+L/2.0)*Q*L
    FA(K1+1)=FA(K1+1)+VW(1,KW)*Q*L
    FA(K1+2)=FA(K1+2)-Q*L
    FA(K1+3)=FA(K1+3)-(VW(5,KW)+VW(5,CNDW(I1,J1+1)))*Q*L/2.0
105 CONTINUE
500 RETURN
END
```

C
C
C
C
C
C
C

SUB-ROTINA MATRIZ

SUB-ROTINA PARA PROCEDER A ELIMINACAO E CALCULAR A NOVA
MATRIZ DE RIGIDEZ

```
SUBROUTINE MATRIZ(K,NA,RAA,RAB,RAL,FA,RLL,FL,TR1,TR2,TR3,NVX,NVY,C
*COND,NW,RBL,RBB,IIS)
  IMPLICIT REAL*8(A-F,C-Z)
  DIMENSION RAA(140,140),RAB(140,140),RBB(140,140),RAL(140,63),RBL(1
*40,63),RLL(63,63),TR1(140,140,20),TR2(140,63,20),TR3(140,20),FA(14
*0),FL(63),CCNC(9,9)
  INTEGER CCNC
  NOX=NVX+1
  NOY=NVY+1
  N=3*CCNC(NOX,NOY)+4*NW
  CALL INVRAA(N,RAA,IIS)
  DO 10 I=1,N
  DO 10 J=1,N
  T=0.0
  DO 5 M=1,N
5 I=T+RAA(I,M)*RAB(M,J)
10 TR1(I,J,K)=T
  K33=3*K+3
  DO 20 I=1,N
  DO 20 J=1,K33
  T=0.0
  DO 15 M=1,N
15 T=T+RAA(I,M)*RAL(M,J)
20 TR2(I,J,K)=T
  DO 30 I=1,N
  T=0.0
  DO 25 J=1,N
25 T=T+RAA(I,J)*FA(J)
30 TR3(I,K)=T
  DO 40 I=1,N
  DO 40 J=1,N
  T=RBB(I,J)
  DO 35 M=1,N
35 T=T-RAB(M,I)*TR1(M,J,K)
40 RAA(I,J)=T
  DO 50 I=1,K33
  DO 50 J=1,K33
  T=RLL(I,J)
  DO 45 M=1,N
45 T=T-RAL(M,I)*TR2(M,J,K)
50 RLL(I,J)=T
  DO 60 I=1,K33
  T=FL(I)
  DO 55 J=1,N
55 T=T-RAL(J,I)*TR3(J,K)
60 FL(I)=T
```

```
DO 70 I=1,N
DO 70 J=1,K33
T=RBL(I,J)
DO 65 M=1,N
65 T=T-RAB(M,I)*TR2(M,J,K)
70 RAL(I,J)=T
DO 80 I=1,N
T=0.0
DO 75 J=1,N
75 T=T-RAB(J,I)*TR3(J,K)
80 FA(I)=T
DO 90 I=1,N
DO 85 J=1,N
RAB(I,J)=0.0
RBB(I,J)=0.0
85 CONTINUE
DO 90 M=1,K33
RBL(I,M)=0.0
90 CONTINUE
RETURN
END
```

```

C      ****
C      SUB-ROTINA SOLUC
C

```

```

C      SUB-ROTINA PARA CALCULO DE ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS NA ESTRUTURA
C

```

```

C      ****
C      SUBROUTINE SOLUC (NA, NVX, NVY, NW, D, TR1, TR2, TR3, CNOVX, CNOVY, CNDW, NCNO
* , VW, CCNO, LX, LY, E, G, HA, CNCP, HW, BW, TW, TIPO, CCW, CGW, XNG, YNG, DHW, CW, MW
* , DBW, AW, GX, GY, XIW, YIW, XCCW, YCCW, JT, JW, GAMA, RW11, RW21, RW31, RW32, RW3
* 3, VWX, VWY, LINTX, LINTY, LW, NVW, IIS)

```

```

      IMPLICIT REAL*8(A-F, C-Z)
      DIMENSION ESFW(14), DE(140), DL(63), D(63), HA(20), TW(5), TR1(140,140,2
* 0), TR3(140,20), CX(9,9), CY(9,9), CNOVX(9,9), CNOVY(9,9), CNDW(9,9), VW(
* 5,50), DA(140), CNCP(9,9), CCNO(9,9), AP(9,9), TR2(140,63,20), ESFV(6), C
* CW(5), CGW(5), XNG(9), YNG(9), DVJ(3), DVK(3), ESFP(12), DHW(5), CW(5), MW(
* 5), DBW(5), HW(5), BW(5), TIPO(5), AW(5), GX(5), GY(5), XIW(5), YIW(5), XCCW
* (5), YCCW(5), GAMA(5), RW11(4,4,5), RW21(4,4,5), RW31(4,4,5), RW32(4,4,5
* ), RW33(4,4,5), VWX(5,50), VWY(5,50), LINTX(9,9), LINTY(9,9), NVW(50)
      REAL IFVX(9,9), IFVY(9,9), ITVX(9,9), ITVY(9,9), ITP(9,9), IPX(9,9), IPY
* (9,9), LX(9), LY(9), L, JT(5), JW(5), LI, LF, LW(9,9)
      INTEGER CNOVX, CNOVY, CNDW, CCNO, CNCP, TIPO, DHW, DBW
      NBX=NVX+1
      NBY=NVY+1

```

```

C      ****
C      ENTRADA DE DADOS
C

```

```

C      ISV , ISP , ISW ..... INDICES DE SAIDA DE VIGA , PILAR E PAREDE
C

```

```

C      ****
C      READ(1,310) ISV,ISP,ISW
310 FORMAT(3I2)
      N=3*NA
      K=NA
      K33=3*K+3
      NC=3*NCNO+4*NW
      DO 10 I=1,NC
      DA(I)=0.0
      DB(I)=0.0
10 CONTINUE
      DO 15 I=1,N
      DL(I)=0.0
15 DO 20 I=1,3
      DL(N+I)=0.0
20 DO 25 I=1,N
      DL(I)=DL(I)+D(I)
      DVJ(I)=0.0
      DVK(I)=0.0
25 CONTINUE
      IF(NW.EQ.0)GO TO 207
      DO 206 I=1,NW
      WRITE(IIS,205)I,I,XCCW(I),I,YCCW(I),I,HW(I),I,BW(I),I,AW(I),I,TW(I
* ),I,GX(I),I,GY(I),I,CGW(I),I,CCW(I),I,XIW(I),I,YIW(I),I,JT(I),I,JW

```

```
*(I)
205 FORMAT(4(/),4CX,'PAREDE ',I2,3(/),5X,'COORDENADA X DO CENTRO DE
* CISALHAMENTO',5X,'COORDENADA Y DO CENTRO DE CISALHAMENTO',//,13
*X,'XCCW(',I2,')=',E14.7,21X,'YCCW(',I2,')=',E14.7,3(/),5X,'DIMEN
*SAO ALTURA',7X,'DIMENSAO BASE',7X,'AREA DA SECCAO',10X,'ESPE
*SSURA',//,5X,'HW(',I1,')=',E10.4,7X,'BW(',I1,')=',E10.4,7X,'AW(',I
*1,')=',E10.4,7X,'TW(',I1,')=',E10.4,3(/),5X,'FATOR DE FLEXIBILIDAD
*E AO CISALHAMENTO X',5X,'FATOR DE FLEXIBILIDADE AO CISALHAMENTO Y'
*,//,15X,'GX(',I1,')=',E14.7,25X,'GY(',I1,')=',E14.7,3(/),5X,'CENTR
*O DE GRAVIDADE DA PAREDE',24X,'CENTRO DE CISALHAMENTO DA PAREDE',/
*/,9X,'CGW(',I1,')=',E14.7,33X,'CCW(',I1,')=',E14.7,3(/),5X,'INERCI
*A A FLEXAO EM X',2X,'INERCIA A FLEXAO EM Y',3X,'INERCIA A TORCAO
*',2X,'INERCIA SETORIAL',//,5X,'X1W(',I1,')=',E14.7,2X,'Y1W(',I1,
*')=',E14.7,3X,'JT(',I1,')=',E12.5,2X,'JW(',I1,')=',E12.5)
206 CONTINUE
207 CONTINUE
35 CONTINUE
KK=NA-K+1
KKK=KK-1
K33=3*K+3
WRITE(IIS,4C)KK
40 FORMAT(4(/),51X,' ANDAR',I3,4(/))
READ(08,REC=K)IFVX,ITVX
READ(09,REC=K)IFVY,ITVY
READ(10,REC=K)IPX,IPY
READ(11,REC=K)ITP,AP
READ(12,REC=K)CX,CY
DO 50 I=1,NC
TB=0.0
TL=0.0
DO 55 J=1,NC
55 TB=TB+TR1(I,J,K)*DE(J)
DO 60 J=1,K33
60 TL=TL+TR2(I,J,K)*DL(J)
50 DA(I)=TR3(I,K)-TB-TL
DO 70 J=1,NCY
DO 70 I=1,NVX
NAUX=CNDVX(I,J)
IF(NAUX.EQ.0)GO TO 70
KAUX=CNDW(I,J)
IF(KAUX)75,8C,75
75 J1=3*NCNC+4*NVW(CNDW(I,J))-3
DVJ(1)=DA(J1)-VWX(3,CNDW(I,J))*DA(J1+3)
DVJ(2)=DA(J1+1)-VWX(4,CNDW(I,J))*DA(J1+3)
DVJ(3)=VW(2,CNDW(I,J))*DA(J1)-VW(1,CNDW(I,J))*DA(J1+1)+DA(J1+2)+VW
*(5,CNDW(I,J))*DA(J1+3)
GO TO 85
80 J1=3*CCNC(I,J)-2
DVJ(1)=DA(J1)
DVJ(2)=DA(J1+1)
DVJ(3)=DA(J1+2)
85 NAUX1=CNDW(I+1,J)
IF(NAUX1)90,95,90
90 KW=CNDW(I+1,J)
J1=3*NCNC+4*NVW(KW)-3
DVK(1)=DA(J1)-VWX(3,KW)*DA(J1+3)
```

```

    DVK(2)=DA(J1+1)-VWX(4,KW)*DA(J1+3)
    DVK(3)=VW(2,KW)*DA(J1)-VW(1,KW)*DA(J1+1)+DA(J1+2)+VW(5,KW)*DA(J1+3
*)
    GO TO 100
95  J1=3*CCNO(I+1,J)-2
    DVK(1)=DA(J1)
    DVK(2)=DA(J1+1)
    DVK(3)=DA(J1+2)
100  L=LX(I)
    LAUX=L*INTX(I,J)
    IF(LAUX.EQ.0)GO TO 101
    L=LX(I)-LW(I,J)
101  CONTINUE
    Q=QX(I,J)
    RV1=G*ITVX(I,J)/L
    RV2=4.0*E*IFVX(I,J)/L
    RV3=6.0*E*IFVX(I,J)/L**2
    RV4=12.0*E*IFVX(I,J)/L**3
    ESF1=Q*L**2/12.0
    ESF2=6.0*ESF1/L
    ESF3=-ESF1
    ESF4=ESF2
    DO 104 I1=1,6
    ESFV(I1)=0.0
104  CONTINUE
    ESFV(1)=(DVJ(1)-DVK(1))*RV1
    ESFV(2)=(DVJ(2)+DVK(2)/2.0)*RV2-(DVJ(3)-DVK(3))*RV3+ESF1
    ESFV(3)=- (DVJ(2)+DVK(2))*RV3+(DVJ(3)-DVK(3))*RV4+ESF2
    ESFV(4)=-ESFV(1)
    ESFV(5)=(DVJ(2)/2.0+DVK(2))*RV2-(DVJ(3)-DVK(3))*RV3+ESF3
    ESFV(6)=-ESFV(3)+ESF2+ESF4
    IF(ISV.EQ.0)GO TO 311
    VAUX=IFVX(I,J)
    IF(VAUX.EQ.0)GO TO 70
    WRITE(IIS,105)I,J
105  FORMAT(/,49X,'VIGAX(',I2,',',I2,')',/)
    WRITE(IIS,109)
109  FORMAT(/,15X,'MOMENTO TORCCR',19X,'MOMENTO FLETOR',17X,'ESFORCO CO
*RJANTE')
    WRITE(IIS,106)(I1,ESFV(I1),I1=1,6)
106  FORMAT(/,3(11X,'ESFV(',I1,')=',E14.7))
311  CONTINUE
70  CONTINUE
    DO 110 I=1,NCX
    DO 110 J=1,NVY
    NAUX1=CNOVY(I,J)
    IF(NAUX1.EQ.0)GO TO 110
    NAUX2=CNCW(I,J)
    IF(NAUX2)115,120,115
115  Kw=CNDW(I,J)
    J1=3*NCNO+4*NW(KW)-3
    DVJ(1)=DA(J1)-VWY(3,KW)*DA(J1+3)
    DVJ(2)=DA(J1+1)-VWY(4,KW)*DA(J1+3)
    DVJ(3)=VW(2,KW)*DA(J1)-VW(1,KW)*DA(J1+1)+DA(J1+2)+VW(5,KW)*DA(J1+3
*)
    GO TO 125

```

```
120 J1=3*CCNO(I,J)-2
    DVJ(1)=DA(J1)
    DVJ(2)=DA(J1+1)
    DVJ(3)=DA(J1+2)
125 NAUX3=CNDW(I,J+1)
    IF(NAUX3)130,135,130
130 KW=CNDW(I,J+1)
    J1=3*NCNC+4*NVW(KW)-3
    DVK(1)=DA(J1)-VWY(3,KW)*DA(J1+3)
    DVK(2)=DA(J1+1)-VWY(4,KW)*DA(J1+3)
    DVK(3)=VW(2,KW)*DA(J1)-VW(1,KW)*DA(J1+1)+DA(J1+2)+VW(5,KW)*DA(J1+3
*)
    GO TO 140
135 J1=3*CCNO(I,J+1)-2
    DVK(1)=DA(J1)
    DVK(2)=DA(J1+1)
    DVK(3)=DA(J1+2)
140 L=LY(J)
    LAUX=LINTY(I,J)
    IF(LAUX.EQ.0)GO TO 141
    L=LY(J)-LW(I,J)
141 CONTINUE
    Q=QY(I,J)
    RV1=G*ITVY(I,J)/L
    RV2=4.0*E*IFVY(I,J)/L
    RV3=6.0*E*IFVY(I,J)/L**2
    RV4=12.0*E*IFVY(I,J)/L**3
    ESF1=-6*L**2/12.C
    ESF2=6.0*ESF1/L
    ESF3=-ESF1
    ESF4=ESF2
    DO 144 I1=1,6
    ESFV(I1)=0.C
144 CONTINUE
    ESFV(1)=(DVJ(1)+DVK(1)/2.0)*RV2+(DVJ(3)-DVK(3))*RV3+ESF1
    ESFV(2)=(DVJ(2)-DVK(2))*RV1
    ESFV(3)=(DVJ(1)+DVK(1))*RV3+(DVJ(3)-DVK(3))*RV4+ESF4
    ESFV(4)=(DVJ(1)/2.C+DVK(1))*RV2+(DVJ(3)-DVK(3))*RV3+ESF3
    ESFV(5)=-ESFV(2)
    ESFV(6)=-ESFV(3)+ESF2+ESF4
    IF(ISV.EQ.0)GO TO 312
    VAUX=IFVY(I,J)
    IF(VAUX.EQ.0)GO TO 110
    WRITE(IIS,145)I,J
145 FORMAT(/,49X,'VIGAY(',I2,',',I2,')',/)
    WRITE(IIS,147)
147 FORMAT(/,15X,'MOMENTO FLETOR',19X,'MOMENTO TORCOR',17X,'ESFORCO CO
*RTANTE')
    WRITE(IIS,146)(I1,ESFV(I1),I1=1,6)
146 FORMAT(/,3(11X,'ESFV(',I1,')=',E14.7))
312 CONTINUE
110 CONTINUE
    DO 150 J=1,NCY
    DO 150 I=1,NCX
    NAUX=CNDP(I,J)
    IF(NAUX.EQ.0)GO TO 150
```

```

J1=3*CCND(I,J)-2
J2=J1+1
J3=J1+2
J4=3*K-2
J5=J4+1
J6=J4+2
K1=J1
K2=J2
K3=J3
K4=J4+3
K5=J4+4
K6=J4+5
L=HA(K)
RP1Z=E*AP(I,J)/L
RP2Z=G*ITP(I,J)/L
RP2X=4.0*E*IPX(I,J)/L
RP2Y=4.0*E*IPY(I,J)/L
RP3X=6.0*E*IPX(I,J)/L**2
RP3Y=6.0*E*IPY(I,J)/L**2
RP4X=12.0*E*IPX(I,J)/L**3
RP4Y=12.0*E*IPY(I,J)/L**3
DO 888 M1=1,12
ESFP(M1)=0.0
888 CONTINUE
ESFP(1)=(DA(J1)+DB(K1)/2.0)*RP2X+((DL(J5)-DL(K5))+DL(J6)-DL(K6))*
*XND(I))*RP3X
ESFP(2)=(DA(J2)+DB(K2)/2.0)*RP2Y-((DL(J4)-DL(K4))-DL(J6)-DL(K6))*
*YND(J))*RP3Y
ESFP(3)=(DA(J3)-DB(K3))*RP1Z
ESFP(4)=-DA(J2)+DB(K2))*RP3Y+((DL(J4)-DL(K4))-DL(J6)-DL(K6))*YND
*(J))*RP4Y
ESFP(5)=(DA(J1)+DB(K1))*RP3X+((DL(J5)-DL(K5))+DL(J6)-DL(K6))*XND(
*I))*RP4X
ESFP(6)=(DL(J6)-DL(K6))*RP2Z
ESFP(7)=(DA(J1)/2.0+DB(K1))*RP2X+((DL(J5)-DL(K5))+DL(J6)-DL(K6))*
*XND(I))*RP3X
ESFP(8)=(DA(J2)/2.0+DB(K2))*RP2Y-((DL(J4)-DL(K4))-DL(J6)-DL(K6))*
*YND(J))*RP3Y
ESFP(9)=-ESFP(3)
ESFP(10)=(DA(J2)+DB(K2))*RP3Y-((DL(J4)-DL(K4))-DL(J6)-DL(K6))*YND
*(J))*RP4Y
ESFP(11)=-DA(J1)+DB(K1))*RP3X-((DL(J5)-DL(K5))+DL(J6)-DL(K6))*XN
*(I))*RP4X
ESFP(12)=-ESFP(6)
IF(ISP.EQ.0)GO TO 313
VAUX=AP(I,J)
IF(VAUX.EQ.0)GO TO 150
WRITE(IIS,151)I,J,KK
151 FORMAT(//,40X,'PILAR(',I2,',',I2,',')',///,30X,'ESFORÇOS NO EXTREMO
*DO ANDAR',I4)
WRITE(IIS,155)(IP1,ESFP(IP1),IP1=1,6)
155 FORMAT(2(//),7X,'MOMENTO FLETOR EM X',9X,'MOMENTO FLETOR EM Y',12
*X,'ESFORÇO NORMAL',//,3(5X,'ESFP(',I2,',')=' ,E14.7),2(//),8X,'ESFORÇ
*O CORTANTE X',11X,'ESFORÇO CORTANTE Y',12X,'MOMENTO TORÇOR',//,3(
*5X,'ESFP(',I2,',')=' ,E14.7))
IF(K.EQ.NA)GO TO 158

```



```
WRITE(IIS,156)KKK
156 FORMAT(2(/),3CX,'ESFORCOS NO EXTREMO DO ANDAR',I4)
GO TO 154
158 CONTINUE
WRITE(IIS,159)
159 FORMAT(2(/),37X,'ESFORCOS NA BASE')
154 CONTINUE
WRITE(IIS,153)(IP1,ESFP(IP1),IP1=7,12)
153 FORMAT(2(/),7X,'MOMENTO FLETOR EM X',9X,'MOMENTO FLETOR EM Y',12
*X,'ESFORCO NORMAL',//,3(5X,'ESFP(',I2,') =',E14.7),2(/),8X,'ESFORC
*C CERTANTE X',11X,'ESFORCO CERTANTE Y',12X,'MOMENTO TORCOR',//,3(
*5X,'ESFP(',I2,') =',E14.7))
313 CONTINUE
150 CONTINUE
IF(NW.EQ.0)GO TO 500
DO 160 I=1,NW
J1=3*NCND+4*I-3
J2=J1+1
J3=J1+2
J4=J1+3
K1=3*K-2
K2=K1+1
K3=K1+2
K4=K1+3
K5=K1+4
K6=K1+5
IF(K.EQ.NA)GO TO 162
LI=HA(K)
LF=HA(K+1)
IF(TIPO(I).EQ.1)GO TO 161
VAUX=(G*JT(I))/(E*Jw(I))
C=SQRT(VAUX)
CLI=C*LI
RW11(1,1,I)=RW11(1,1,I)*LF/LI
RW11(1,2,I)=RW11(1,2,I)*LF/LI
RW11(2,1,I)=RW11(2,1,I)*LF/LI
RW11(1,3,I)=RW11(1,3,I)*LF/LI
RW11(3,1,I)=RW11(3,1,I)*LF/LI
RW11(2,2,I)=RW11(2,2,I)*LF/LI
RW11(2,3,I)=RW11(2,3,I)*LF/LI
RW11(3,2,I)=RW11(3,2,I)*LF/LI
RW11(3,3,I)=RW11(3,3,I)*LF/LI
RW11(4,4,I)=GAMA(I)*(LI*DCOSH(CLI)-DSINH(CLI)/C)
RW21(1,1,I)=RW21(1,1,I)*LF/LI
RW21(1,2,I)=RW21(1,2,I)*LF/LI
RW21(2,1,I)=RW21(2,1,I)*LF/LI
RW21(1,3,I)=RW21(1,3,I)*LF/LI
RW21(3,1,I)=RW21(3,1,I)*LF/LI
RW21(2,2,I)=RW21(2,2,I)*LF/LI
RW21(2,3,I)=RW21(2,3,I)*LF/LI
RW21(3,2,I)=RW21(3,2,I)*LF/LI
RW21(3,3,I)=RW21(3,3,I)*LF/LI
RW21(4,4,I)=GAMA(I)*(DSINH(CLI)/C-LI)
RW31(2,1,I)=RW31(2,1,I)*LF**2/LI**2
RW31(1,2,I)=RW31(1,2,I)*LF**2/LI**2
RW31(3,4,I)=GAMA(I)*(DCOSH(CLI)-1)
```

```
RW32(2,1,I)=RW32(2,1,I)*LF**2/LI**2  
RW32(1,2,I)=RW32(1,2,I)*LF**2/LI**2  
RW32(3,4,I)=GAMA(I)*(DCOSH(CLI)-1)  
RW33(1,1,I)=RW33(1,1,I)*LF**3/LI**3  
RW33(2,2,I)=RW33(2,2,I)*LF**3/LI**3  
RW33(3,3,I)=GAMA(I)*C*CSINH(CLI)
```

GO TO 162

161 CONTINUE

```
RW11(1,1,I)=RW11(1,1,I)*LF/LI  
RW11(2,2,I)=RW11(2,2,I)*LF/LI  
RW11(3,3,I)=RW11(3,3,I)*LF/LI  
RW21(1,1,I)=RW21(1,1,I)*LF/LI  
RW21(2,2,I)=RW21(2,2,I)*LF/LI  
RW21(3,3,I)=RW21(3,3,I)*LF/LI  
RW31(2,1,I)=RW31(2,1,I)*LF**2/LI**2  
RW31(1,2,I)=RW31(1,2,I)*LF**2/LI**2  
RW32(2,1,I)=RW32(2,1,I)*LF**2/LI**2  
RW32(1,2,I)=RW32(1,2,I)*LF**2/LI**2  
RW33(1,1,I)=RW33(1,1,I)*LF**3/LI**3  
RW33(2,2,I)=RW33(2,2,I)*LF**3/LI**3  
RW33(3,3,I)=RW33(3,3,I)*LF/LI
```

162 CONTINUE

DO 163 J=1,14

163 ESFW(J)=0.0

```
ESFW(1)=RW11(1,1,I)*DA(J1)+RW21(1,1,I)*DB(J1)+RW11(1,2,I)*(DA(J2)-  
*DB(J2))+RW11(3,1,I)*(DA(J3)-DB(J3))+RW31(2,1,I)*((DL(K2)-DL(K5))+X  
*CCW(I)*(DL(K3)-DL(K6)))
```

```
ESFW(2)=RW21(2,2,I)*DB(J2)+RW11(2,2,I)*DA(J2)+RW11(2,1,I)*(DA(J1)-  
*DB(J1))+RW11(2,3,I)*(DA(J3)-DB(J3))+RW32(1,2,I)*((DL(K1)-DL(K4))-Y  
*CCW(I)*(DL(K3)-DL(K6)))
```

```
ESFW(3)=RW11(3,1,I)*(DA(J1)-DB(J1))-RW11(2,3,I)*(DA(J2)-DB(J2))+RW  
*11(3,3,I)*(DA(J3)-DB(J3))
```

```
ESFW(4)=RW11(4,4,I)*DA(J4)+RW21(4,4,I)*DB(J4)+RW32(3,4,I)*(DL(K3)-  
*DL(K6))
```

```
ESFW(5)=RW31(1,2,I)*(DA(J2)+DB(J2))+RW33(1,1,I)*((DL(K1)-DL(K4))-Y  
*CCW(I)*(DL(K3)-DL(K6)))
```

```
ESFW(6)=RW31(2,1,I)*(DA(J1)+DB(J1))+RW33(2,2,I)*((DL(K2)-DL(K5))+X  
*CCW(I)*(DL(K3)-DL(K6)))
```

```
ESFW(7)=RW32(3,4,I)*(DA(J4)+DB(J4))+RW33(3,3,I)*(DL(K3)-DL(K6))
```

```
ESFW(8)=RW21(1,1,I)*DA(J1)+RW11(1,1,I)*DB(J1)+RW21(1,2,I)*(DA(J2)-  
*DB(J2))-RW11(3,1,I)*(DA(J3)-DB(J3))+RW31(2,1,I)*((DL(K2)-DL(K5))+X  
*CCW(I)*(DL(K3)-DL(K6)))
```

```
ESFW(9)=RW21(2,2,I)*DA(J2)+RW11(2,2,I)*DB(J2)+RW21(1,2,I)*(DA(J1)-  
*DB(J1))+RW21(2,3,I)*(DA(J3)-DB(J3))+RW32(1,2,I)*((DL(K1)-DL(K4))-Y  
*CCW(I)*(DL(K3)-DL(K6)))
```

```
ESFW(10)=-ESFW(3)
```

```
ESFW(11)=+RW21(4,4,I)*DA(J4)+RW11(4,4,I)*DB(J4)+RW32(3,4,I)*(DL(K3  
*)-DL(K6))
```

```
ESFW(12)=-ESFW(5)
```

```
ESFW(13)=-ESFW(6)
```

```
ESFW(14)=-ESFW(7)
```

```
IF(ISW.EQ.0)GO TO 314
```

```
WRITE(IIS,212)I, KK
```

212 FORMAT(4(/),56X,' PAREDE',I2,///,45X,'ESFORCOS NO EXTREMO DO ANDAR'
*,I4)

```
WRITE(IIS,210)(IW,ESFW(IW),IW=1,7)
```

```
210 FORMAT(2(/),7X,'MOMENTO FLETOR EM X',9X,'MOMENTO FLETOR EM Y',12
  *X,'ESFORÇO NORMAL',17X,'BIMOMENTO',//,4(5X,'ESFW(',I2,') =',E14.7)
  *,2(/),18X,'ESFORÇO CORTANTE X',16X,'ESFORÇO CORTANTE Y',20X,'MOMEN
  *TO TORÇOR',//,5X,3(10X,'ESFW(',I2,') =',E14.7))
  IF(K.EQ.NA)GO TO 255
  WRITE(IIS,245)KKK
245 FORMAT(2(/),45X,'ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR',I4)
  GO TO 246
255 CONTINUE
  WRITE(IIS,256)
256 FORMAT(2(/),52X,'ESFORÇOS NA BASE')
246 CONTINUE
  WRITE(IIS,248)(IW,ESFW(IW),Iw=8,14)
248 FORMAT(2(/),7X,'MOMENTO FLETOR EM X',9X,'MOMENTO FLETOR EM Y',12
  *X,'ESFORÇO NORMAL',17X,'BIMOMENTO',//,4(5X,'ESFW(',I2,') =',E14.7)
  *,2(/),18X,'ESFORÇO CORTANTE X',16X,'ESFORÇO CORTANTE Y',20X,'MOMEN
  *TO TORÇOR',//,5X,3(10X,'ESFW(',I2,') =',E14.7))
314 CONTINUE
160 CONTINUE
500 CONTINUE
  DO 240 I1=1,NC
240 DB(I1)=DA(I1)
  K=K-1
  IF(K.GE.1)GO TO 35
  RETURN
  END
```

```
C *****  
C SUB-ROTINA INVRAA  
C  
C SUB-ROTINA INVRAA PARA PROCEDER A INVERSAO DA SUB-MATRIZ RAA  
C *****  
SUBROUTINE INVRAA(N,A,IIS)  
IMPLICIT REAL*8(A-H,C-Z)  
DIMENSION A(140,140)  
IF(N-1)10,20,10  
20 A(1,1)=1./A(1,1)  
GO TO 100  
10 CONTINUE  
DO 30 I=1,N  
AUX=A(I,1)  
A(I,1)=1.  
DO 40 J=1,N  
40 A(I,J)=A(I,J)/AUX  
DO 50 K=1,N  
IF(I-K)60,50,60  
60 AUX=A(K,I)  
A(K,I)=0.0  
DO 70 M=1,N  
70 A(K,M)=A(K,M)-AUX*A(I,M)  
50 CONTINUE  
30 CONTINUE  
100 RETURN  
END
```

```
C *****
C                                     SUB-ROUTINA GAUSS
C
C      CALCULO DOS DESLOCAMENTOS DE CORPO RIGIDO AO NIVEL DOS ANDARES
C      PELO ALGORITMO DE GAUSS
C
C *****
SUBROUTINE GAUSS(N,RLL,FL,D,IIS)
IMPLICIT REAL*8(A-H,C-Z)
DIMENSION RLL(63,63),D(63),FL(63)
DO 10 L=1,N-1
X=RLL(L,L)
IF(X.EQ.0)GO TO 20
GO TO 80
20 CONTINUE
WRITE(IIS,22)
22 FORMAT(//,10X,'DIAGONAL NULA',//)
GO TO 60
80 CONTINUE
DO 10 I=L+1,N
AUX=RLL(L,I)/RLL(L,L)
DO 30 J=L+1,N
RLL(I,J)=RLL(I,J)-AUX*RLL(L,J)
30 CONTINUE
FL(I)=FL(I)-AUX*FL(L)
10 CONTINUE
D(N)=FL(N)/RLL(N,N)
DO 40 I=N-1,1,-1
AUX=FL(I)
DO 50 K=I+1,N
AUX=AUX-RLL(I,K)*D(K)
50 CONTINUE
D(I)=AUX/RLL(I,I)
40 CONTINUE
60 RETURN
END
```

PARTE IV

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

4.1 - Comentários

Apresenta-se, nesta parte do trabalho, o cálculo de alguns exemplos selecionados de forma a dar uma visão dos tipos de estrutura de edifícios altos que se podem resolver com o programa para computador desenvolvido aqui e, também, para se extraírem algumas conclusões sobre os resultados obtidos nestes exemplos. Procurou-se fazer comparações entre os resultados obtidos para diferentes tipos de estrutura analisados por outros autores e, devido a este fato, adotaram-se as unidades utilizadas pelos autores respectivos, para todos os exemplos.

Estes resultados foram comparados através de seus gráficos e, quando possível, também dos próprios resultados numéricos apresentados em tabelas. Mostraram-se, em cada caso, apenas os resultados considerados mais significativos obtidos na análise das estruturas escolhidas.

No apêndice III mostra-se a forma de entrada de dados.

EXEMPLO 1:

Trata-se de um edifício tubular, com 10 andares e planta quadrada. O material estrutural é o concreto armado, com módulos de elasticidade longitudinal e transversal dados por $E = 2,00 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ e $G = 0,80 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$, respectivamente. As vigas e os pilares possuem seções transversais iguais a $0,20\text{m} \times 0,50\text{m}$ e $0,40\text{m} \times 0,40\text{m}$, respectivamente. A altura dos andares é de $3,00\text{m}$.

O carregamento que solicita o edifício é um momento de torção uniformemente distribuído ao longo da altura, igual a 10tf.m/m .

Este edifício foi analisado por FAKURY (09), através de processo contínuo, e, também, através de processo discreto. Os resultados são comparados na forma de gráficos. A figura 4.1 mostra a planta do edifício analisado.

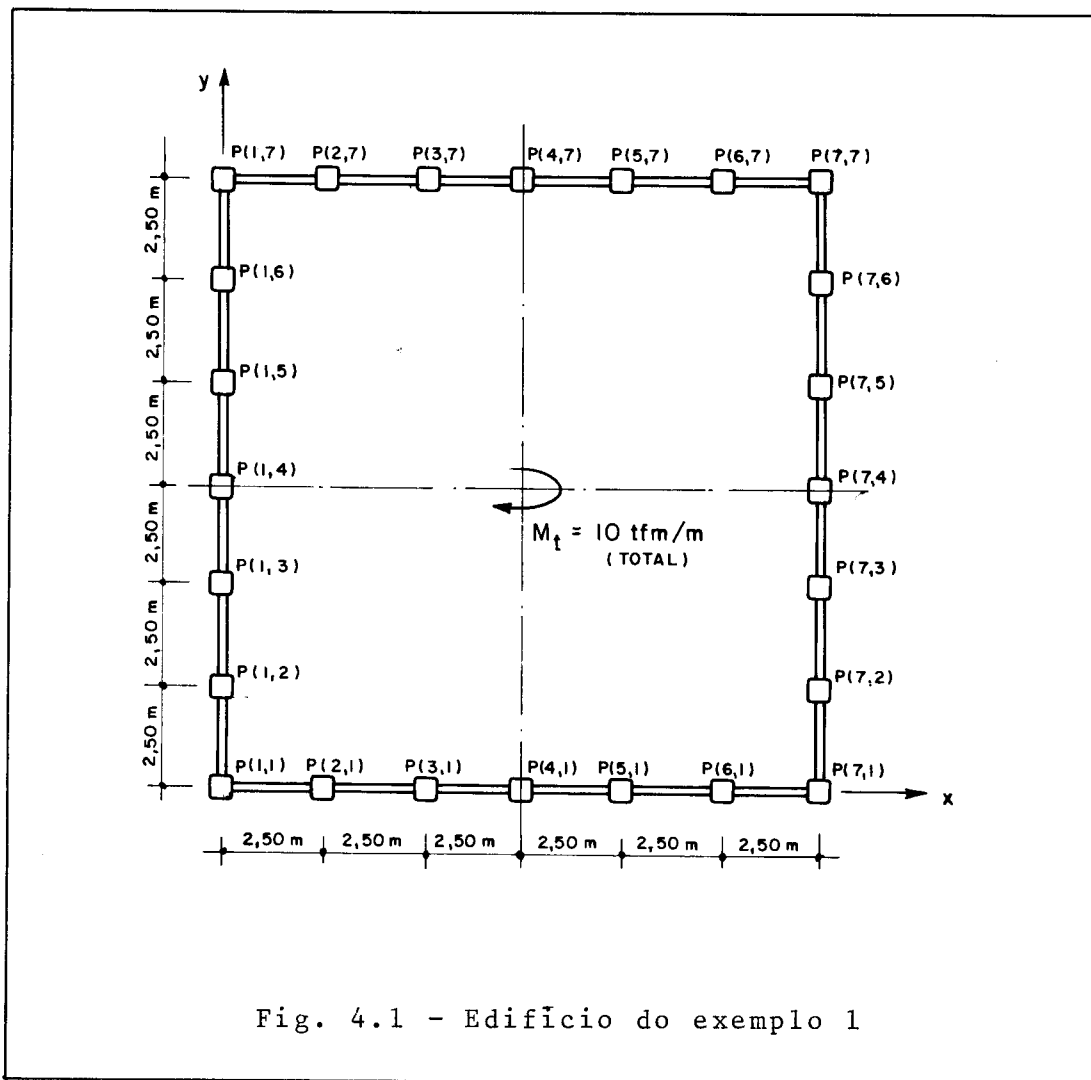
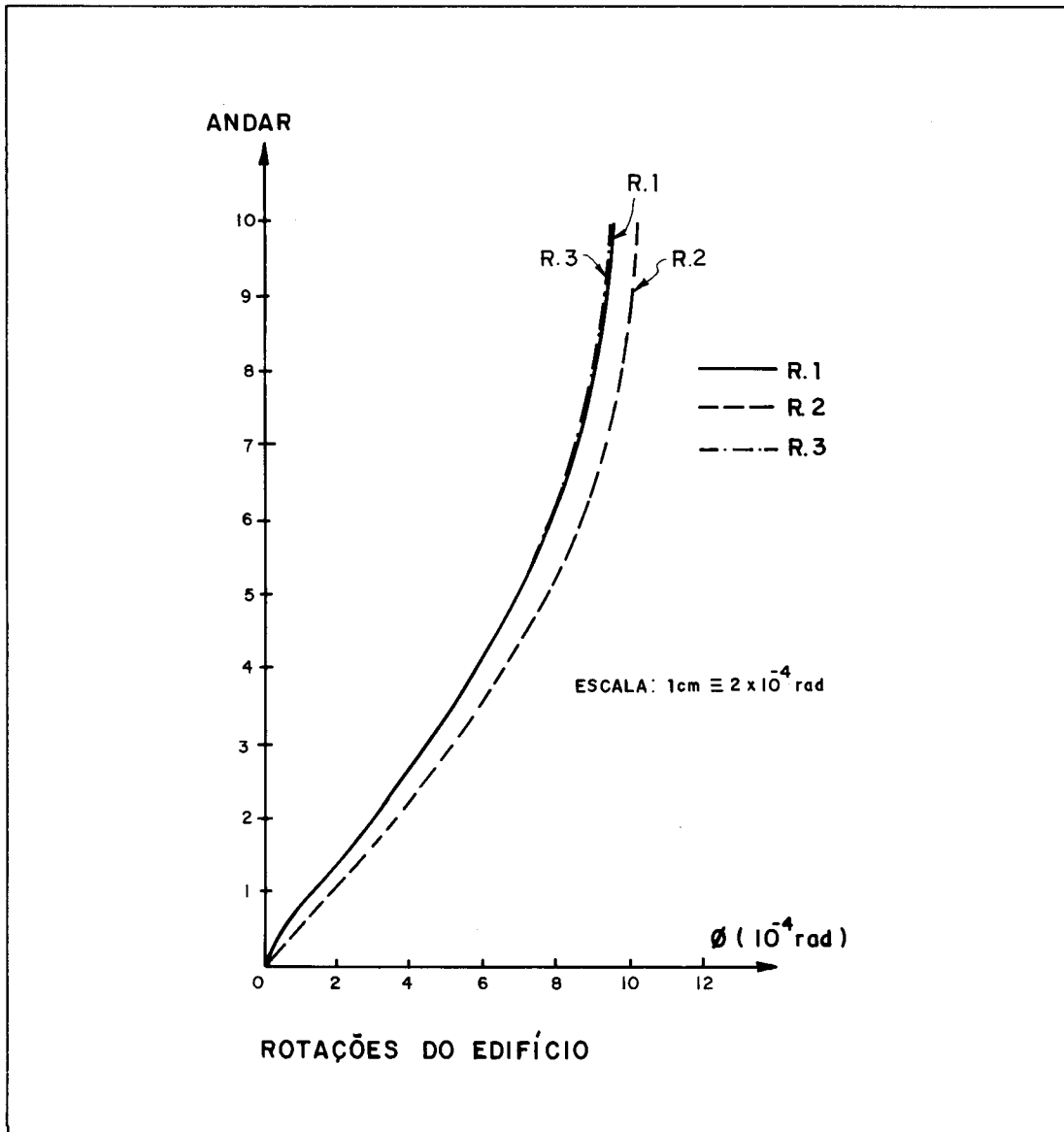


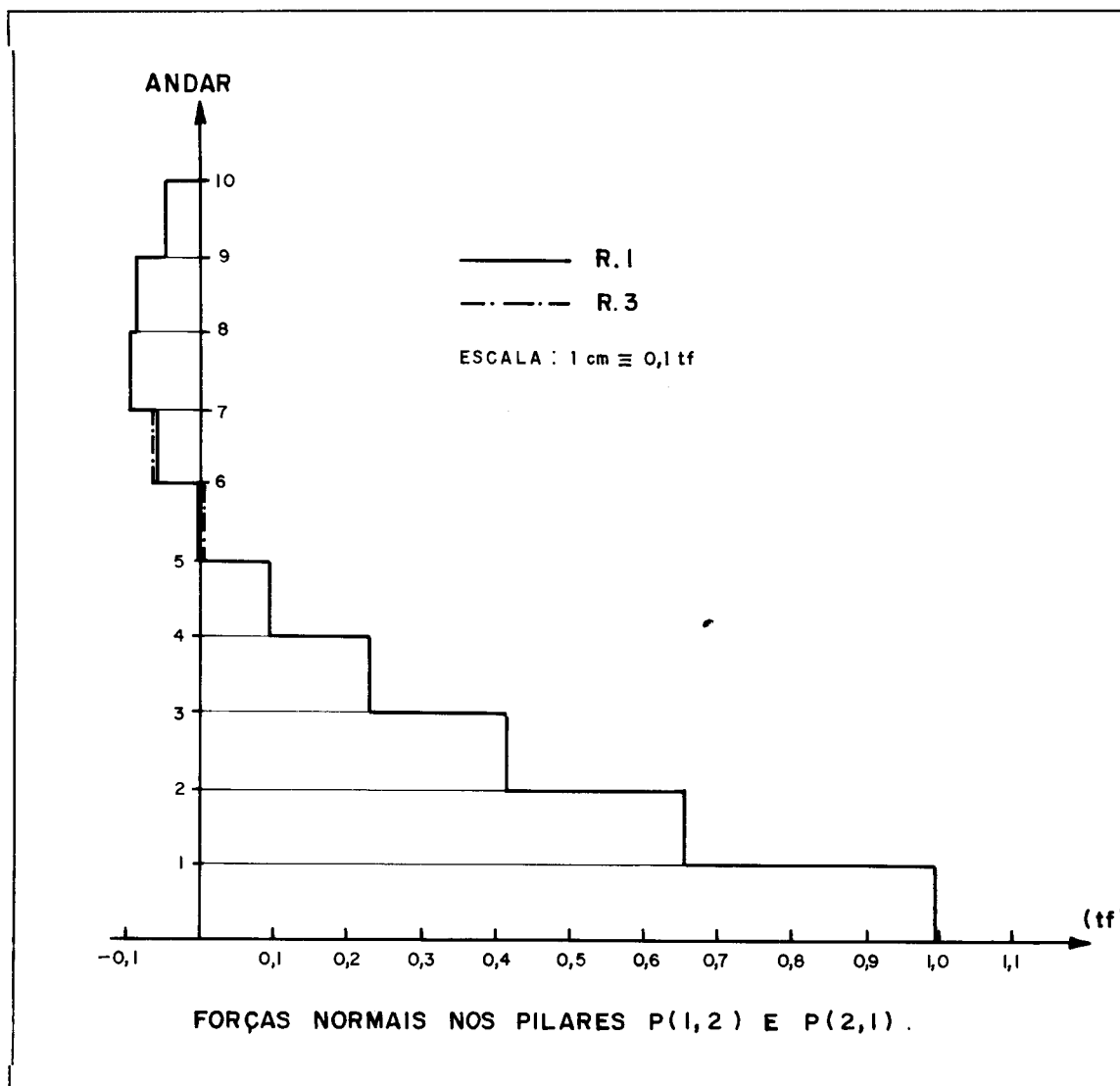
Fig. 4.1 - Edifício do exemplo 1

- R.1 - resultados obtidos através de processo discreto.
- R.2 - resultados obtidos por FAKURY (09), através de processo contínuo.
- R.3 - resultados do programa.



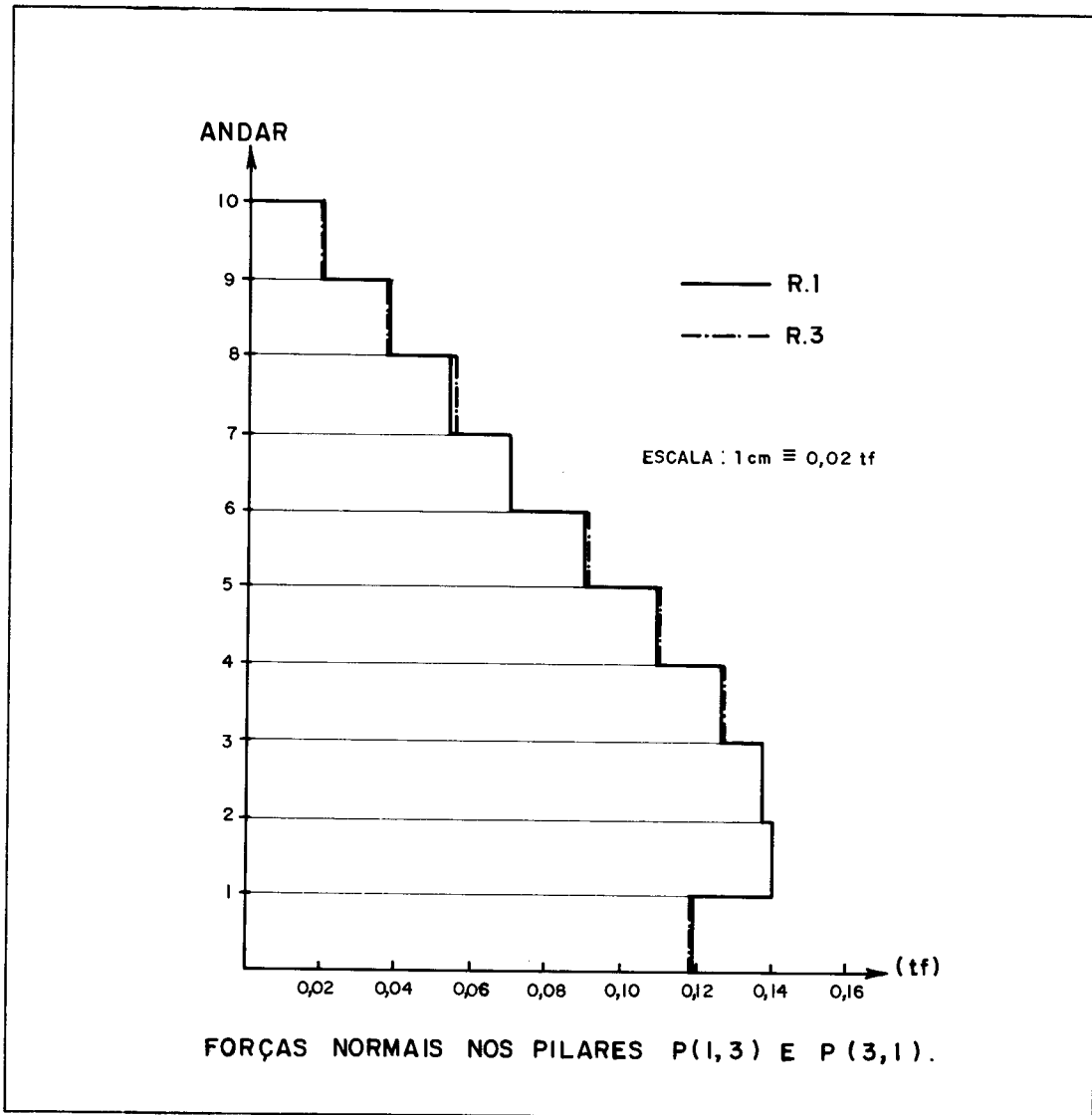
R.1 - resultados obtidos através de processo discreto.

R.3 - resultados do programa



R.1 - resultados obtidos através de processo discreto.

R.3 - resultados do programa.



EXEMPLO 2:

A figura 4.2 mostra um modelo de estrutura de 10 andares, construído em chapas de acrílico PERSPEX e ensaiado por STAMATO (10) nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de SOUTHAMPTON, razão pela qual as grandezas estão expressas em unidades inglesas. O mesmo modelo foi analisado, numericamente, pelos processos contínuo e discreto por STAMATO (10) e (11). Os resultados são comparados nas formas de tabelas e gráficos.

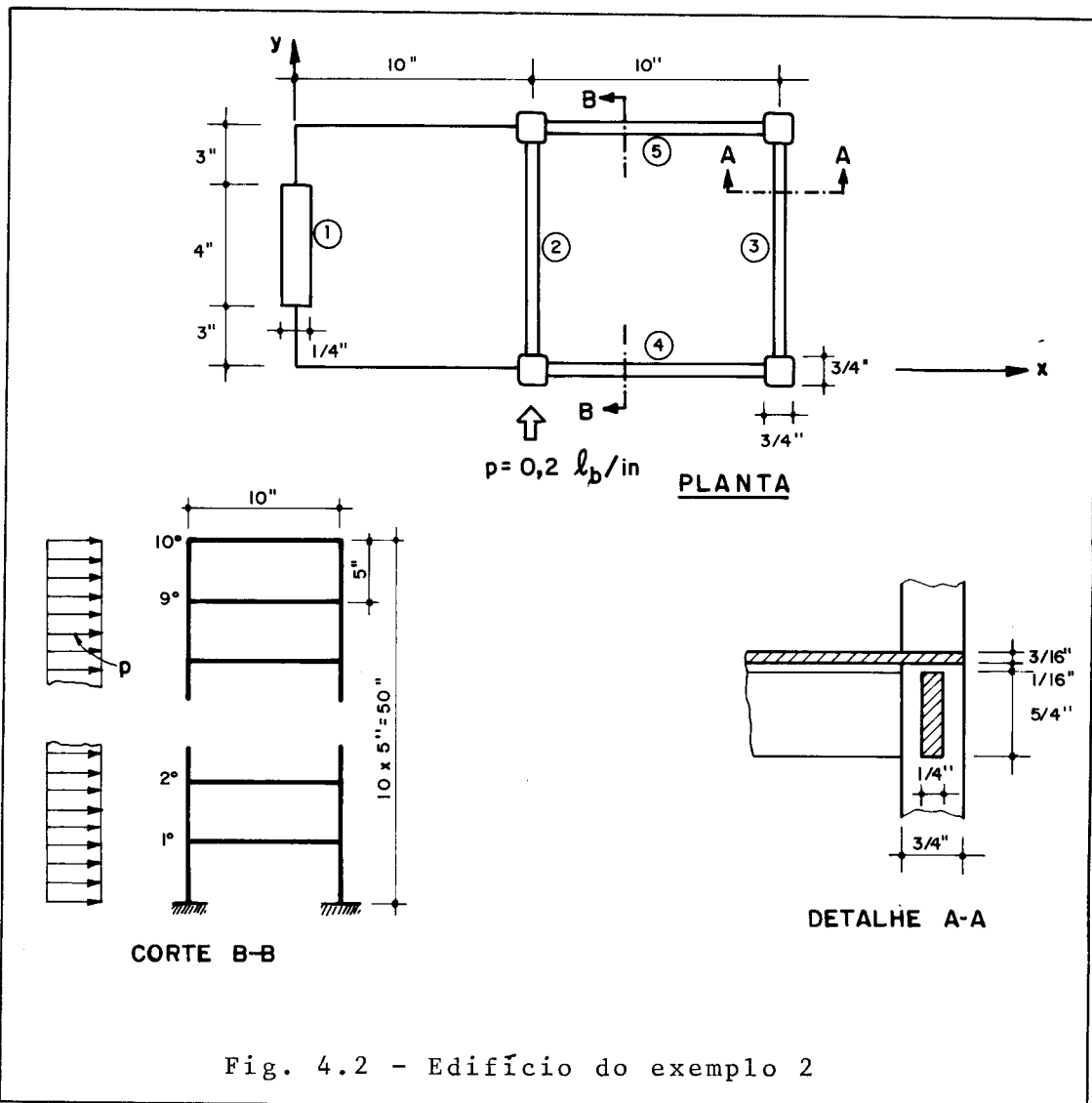


Fig. 4.2 - Edifício do exemplo 2

Todas as vigas, em todos os andares, têm a mesma secção de $1/4'' \times 5/4''$. Todos os pilares têm secção constante ao longo da altura do edifício e igual a $3/4'' \times 3/4''$, o mesmo ocorre com a parede (1), de $1/4'' \times 4''$. Os números (2), (3), (4) e (5) na figura 4.2 designam os respectivos pórticos. Os resultados teóricos e experimentais foram reduzidos ao mesmo módulo $E = 420 \text{ Kip/in}^2$. Adotou-se coeficiente de POISSON $\mu = 0,25$.

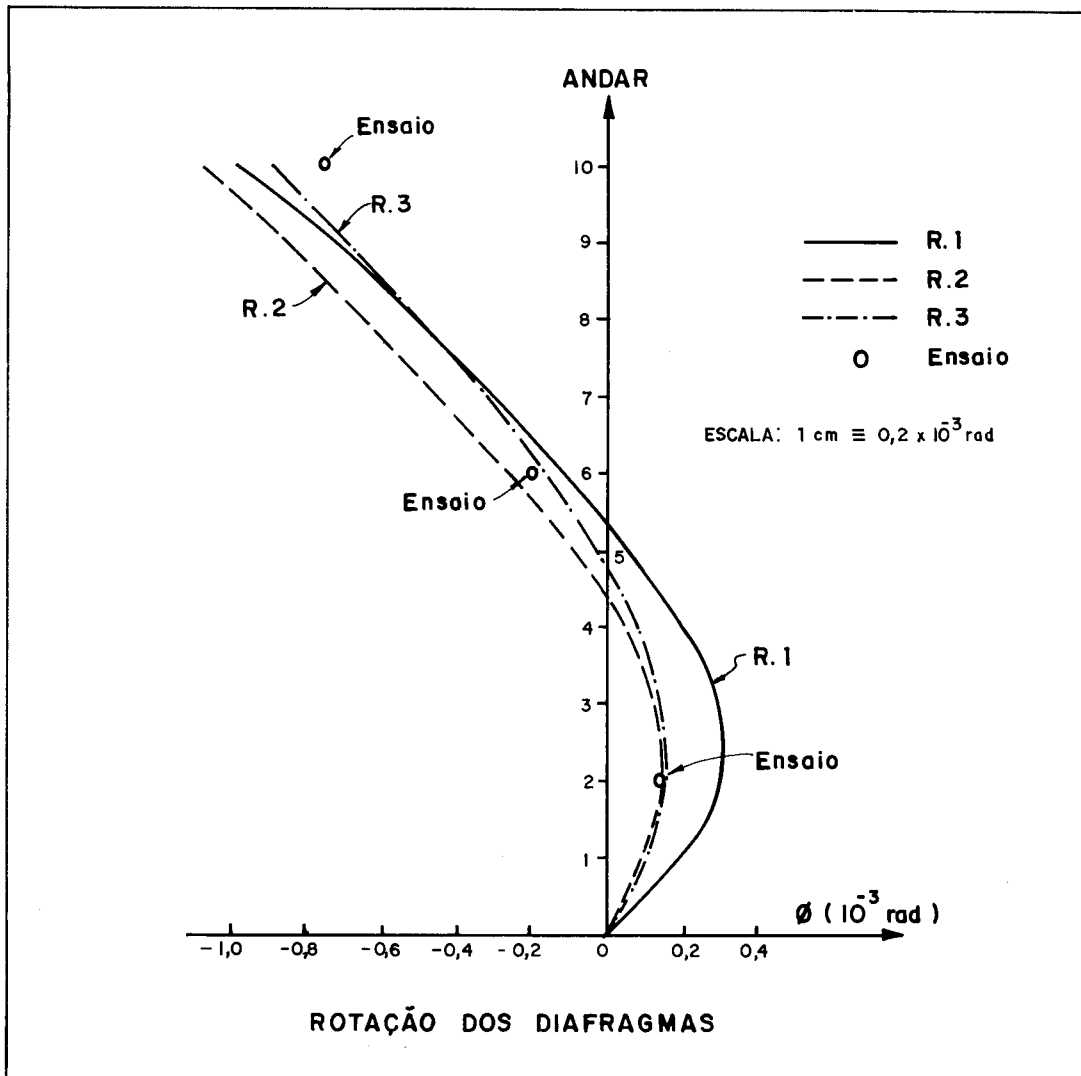
ROTAÇÃO DOS DIAFRAGMAS (radianos)

ANDAR	R.1	R.2	R.3
10	-0,00098	-0,00107	-0,00088
8	-0,00051	-0,00064	-0,00050
6	-0,00011	-0,00026	-0,00017
4	+0,00020	+0,00004	+0,00008
2	+0,00031	+0,00015	+0,00016
BASE	0,000	0,000	0,000

R.1 - resultados obtidos por STAMATO (10), através de processo contínuo.

R.2 - resultados obtidos por STAMATO (11), através de processo discreto.

R.3 - resultados do programa.



MOMENTO FLETOR NA PAREDE (1) *

ANDAR	R.1	R.2	R.3
10	0,00	0,0	0,0
8	- 5,9	- 6,6	- 6,3
6	- 3,9	- 4,3	- 3,7
4	+ 6,8	+ 6,2	+ 7,3
2	+27,9	+27,0	+28,7

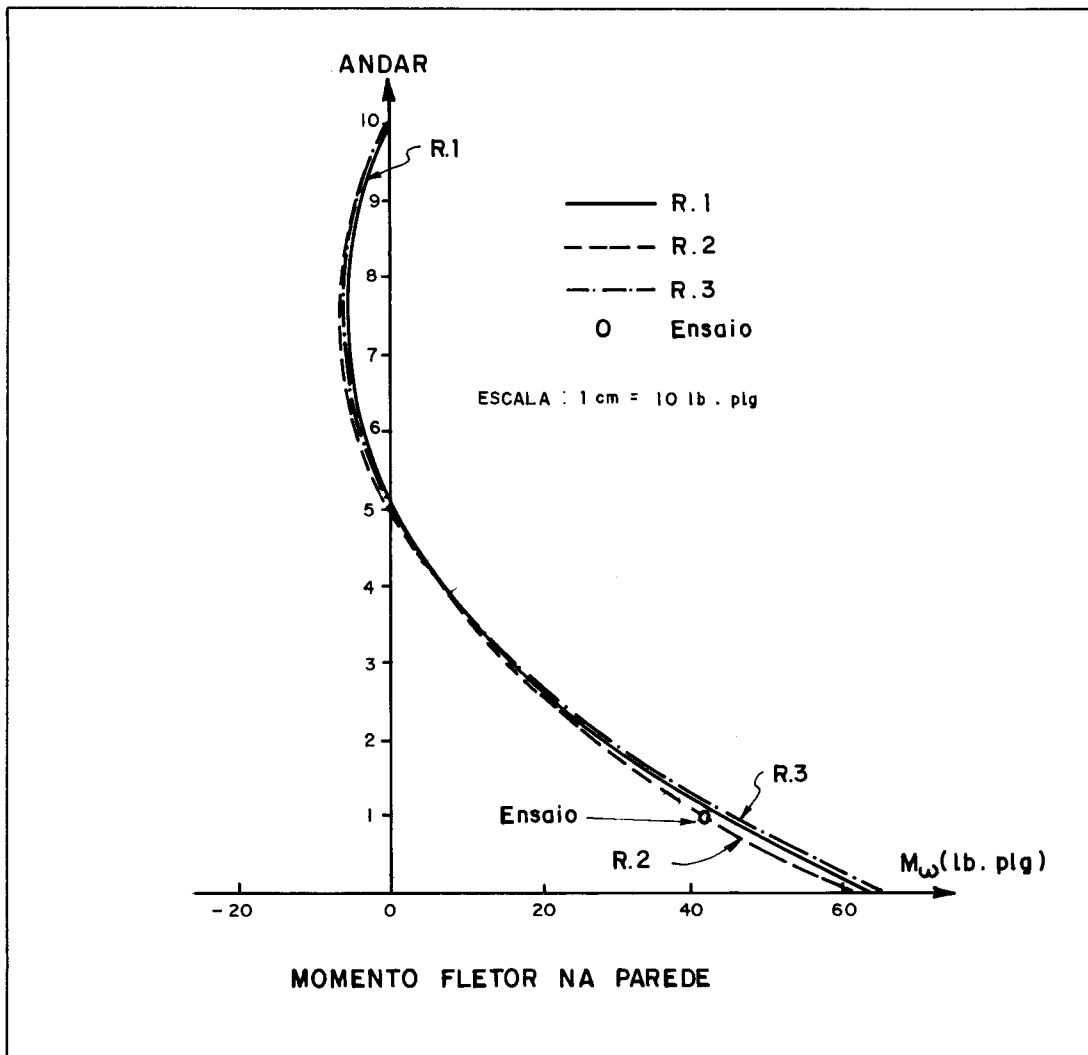
UNIDADE: (libraxpolegada)

* O MOMENTO SE REFERE AO EIXO X.

R.1 - resultados obtidos por STAMATO (10), através de processo contínuo.

R.2 - resultados obtidos por STAMATO (11), através de processo discreto.

R.3 - resultados do programa.



EXEMPLO 3:

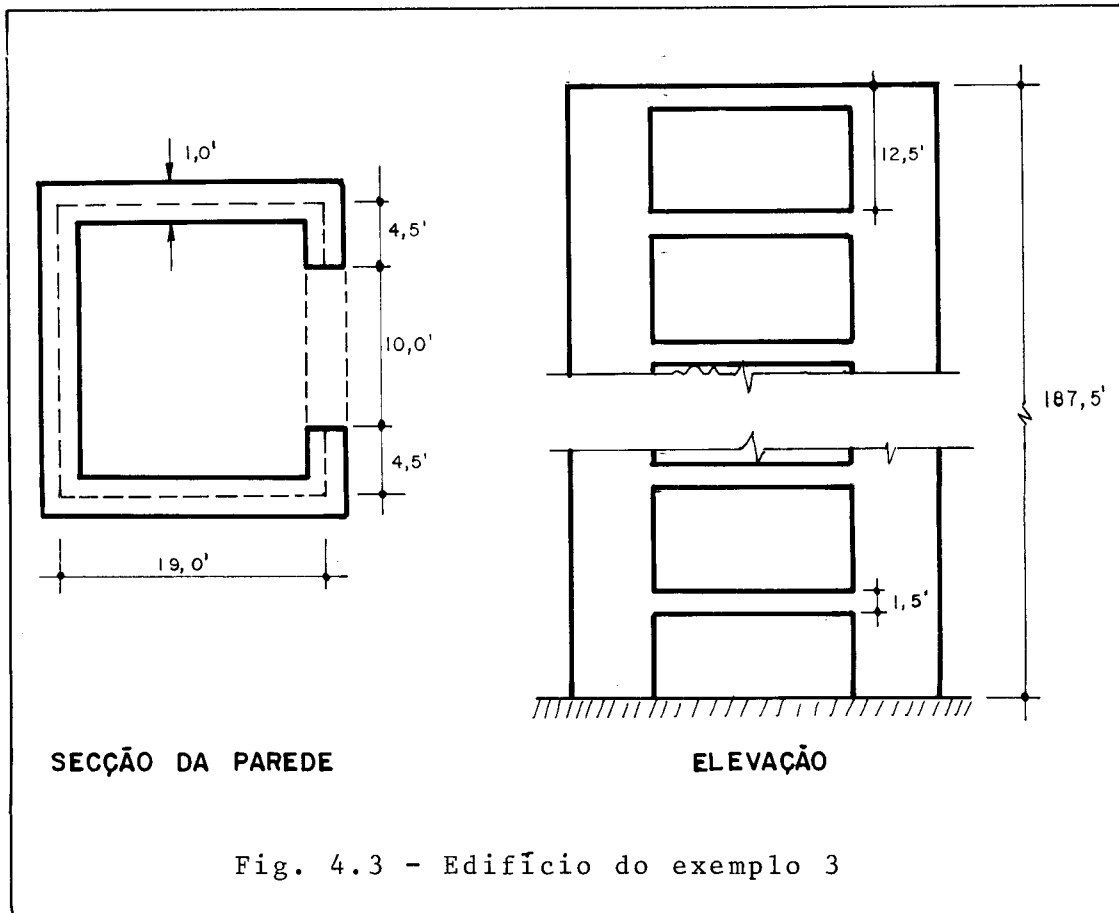
A figura 4.3 mostra a planta e elevação de uma estrutura de edifício de 15 andares de 12,5 ft de pé direito, composta por uma única parede de secção aberta uniforme ao longo de toda altura e de secção transversal definida, geometricamente, com a forma da letra C (cê). A espessura é constante e igual a 1,0ft.

Serão apresentadas duas análises desta estrutura: a primeira, com a parede de secção aberta sem nenhum contraventamento, e a segunda, com contraventamento ao nível dos andares por vigas internas, lintéis, fechando a secção da parede ao nível de todos os andares. Estas vigas terão a mesma espessura da parede e com 1,5 ft de altura.

Para módulo de elasticidade longitudinal tomar-se-á o valor $5,76 \times 10^8$ lb/ft² e para o coeficiente de Poisson o valor 0,15.

O carregamento é de momento de torção uniformemente distribuído e igual a 24922,50 lb/ft.

Este exemplo foi analisado por BARBOSA (07), através de processos contínuo e discreto. Os resultados são comparados nas formas de tabelas e gráficos.



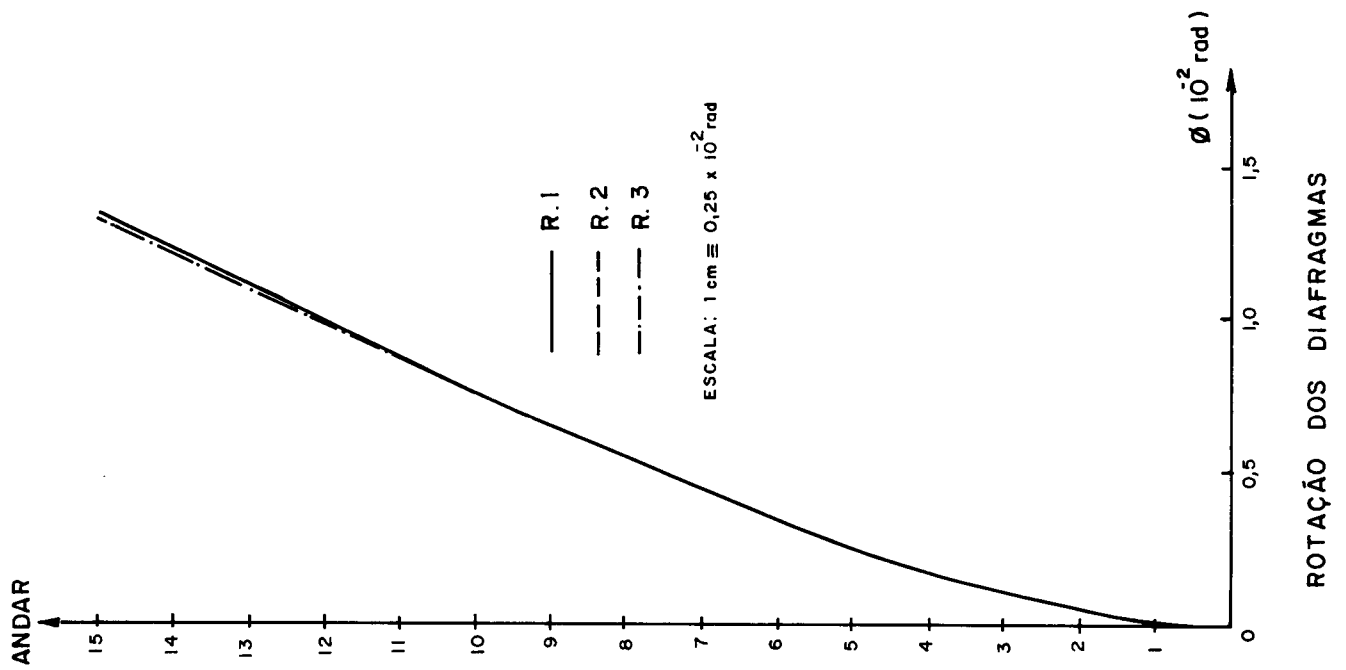
Apresenta-se no item (a) os resultados sem o contraventamento e no item (b) com contraventamento ao nível dos andares.

(a) RESULTADOS SEM CONTRAVENTAMENTO:

R.1 - resultados obtidos por BARBOSA (07), através de processo contínuo.

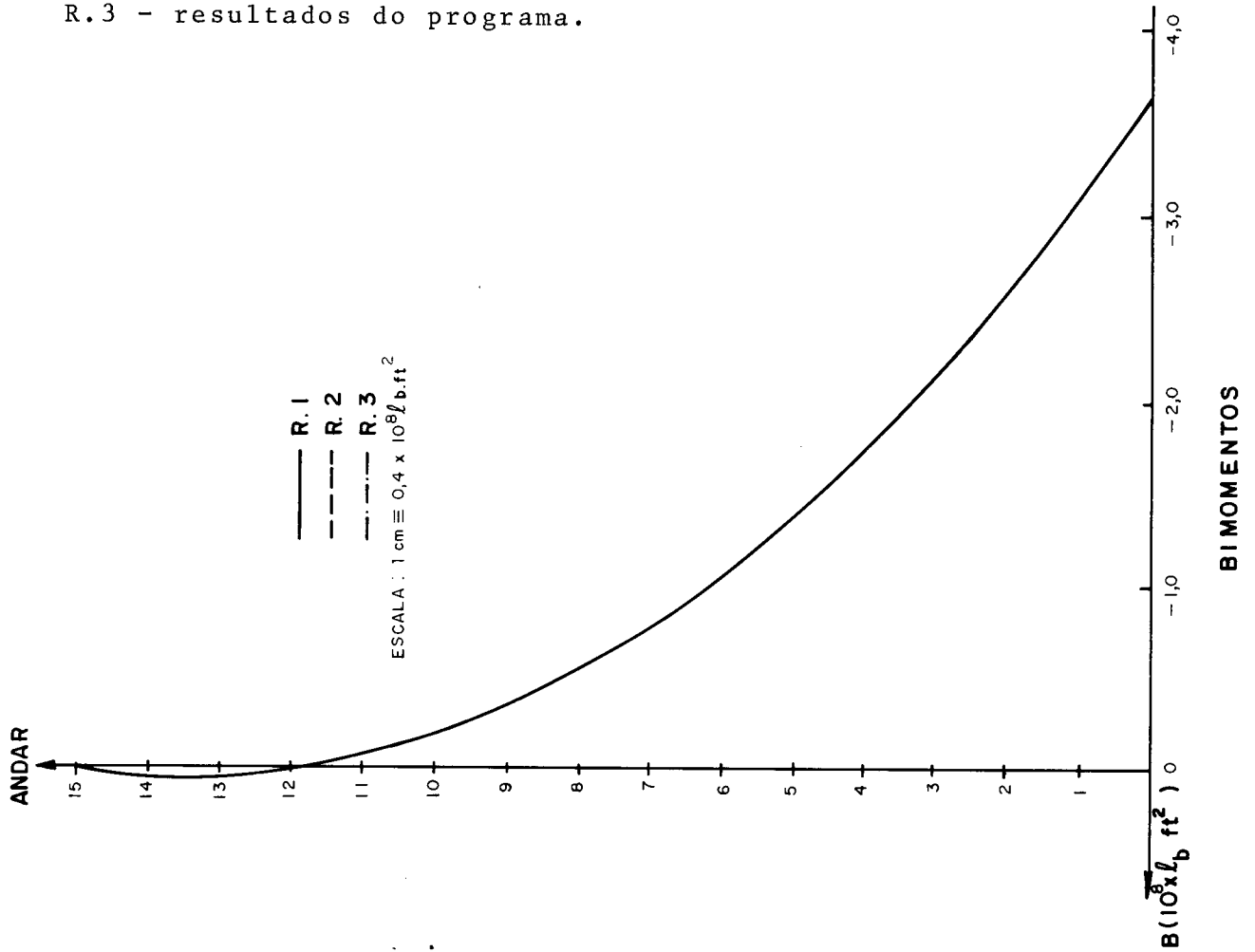
R.2 - resultados obtidos por BARBOSA (07), através de processo discreto.

R.3 - resultados do programa.



ROTACÃO DOS DIAFRAGMAS (10 ⁻² rad)			
ANDAR	R.1	R.2	R.3
15	1,319	1,320	1,308
14	1,204	1,209	1,197
13	1,101	1,098	1,086
12	0,984	0,986	0,975
11	0,867	0,874	0,864
10	0,761	0,762	0,754
9	0,650	0,651	0,645
8	0,536	0,544	0,538
7	0,444	0,440	0,435
6	0,342	0,341	0,338
5	0,248	0,250	0,248
4	0,172	0,169	0,167
3	0,100	0,100	0,099
2	0,046	0,047	0,047
1	0,014	0,013	0,012
BASE	0,000	0,000	0,000

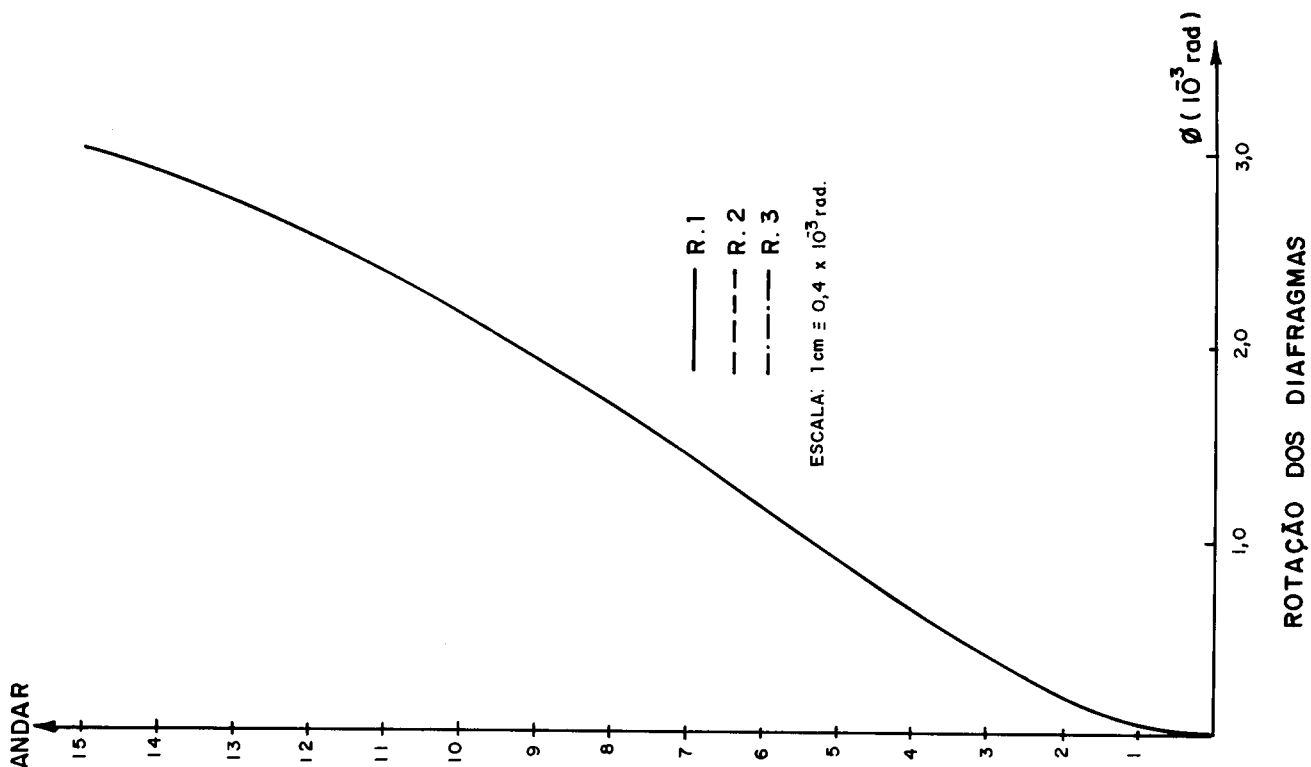
- R.1 - resultados obtidos por BARBOSA (07), através de processo contínuo.
- R.2 - resultados obtidos por BARBOSA (07), através de processo discreto.
- R.3 - resultados do programa.



BIMOMENTOS (10 ⁸ x lb.ft ²)			
ANDAR	R.1	R.2	R.3
15	0,000	0,000	0,000
14	0,040	0,042	0,041
13	0,044	0,045	0,044
12	0,009	0,009	0,008
11	-0,062	-0,065	-0,067
10	-0,171	-0,179	-0,182
9	-0,360	-0,352	-0,336
8	-0,536	-0,526	-0,530
7	-0,751	-0,761	-0,765
6	-1,041	-1,037	-1,043
5	-1,362	-1,357	-1,363
4	-1,709	-1,721	-1,728
3	-2,139	-2,131	-2,138
2	-2,592	-2,589	-2,596
1	-3,075	-3,095	-3,103
BASE	-3,664	-3,653	-3,661

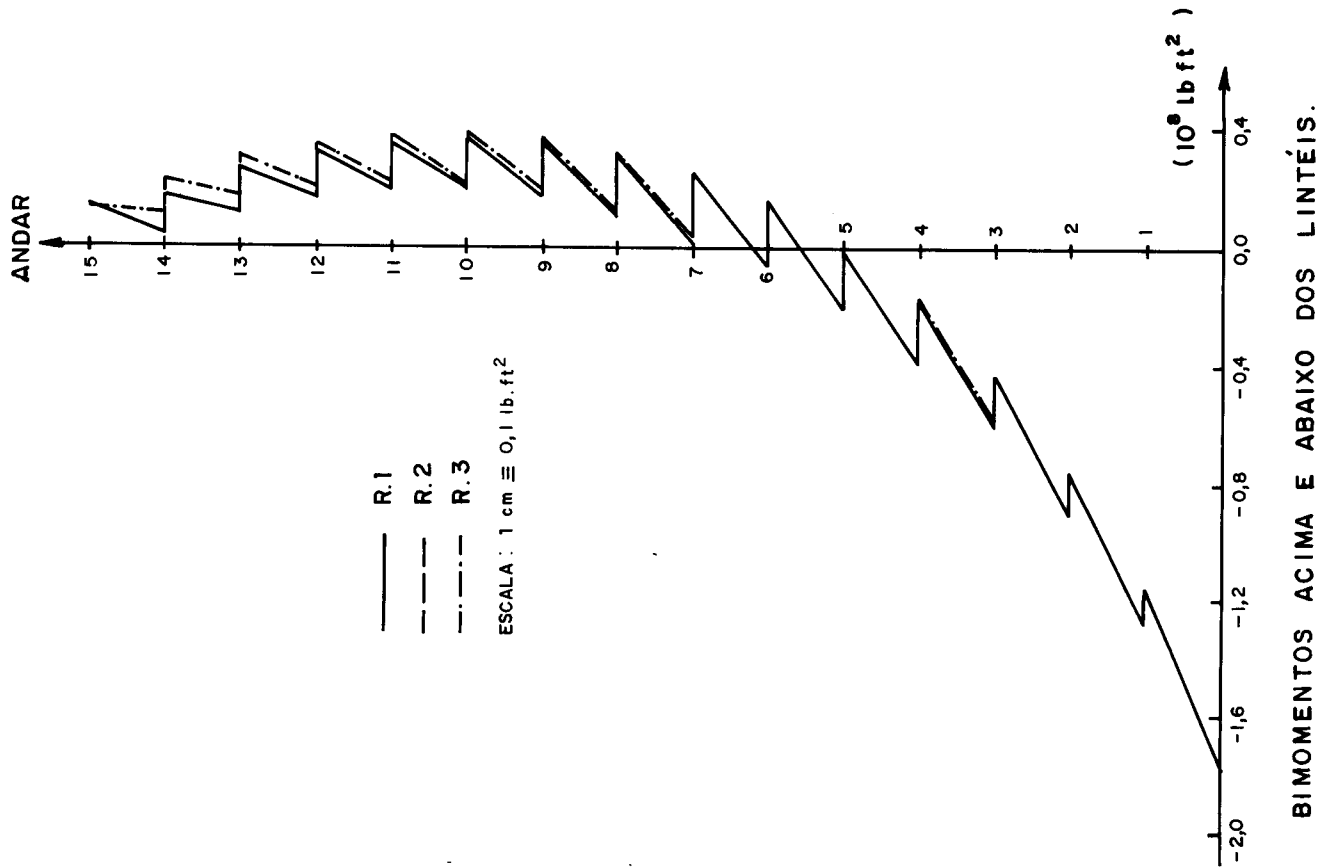
(b) RESULTADOS COM CONTRAVENTAMENTO:

- R.1 - resultados obtidos por BARBOSA (07), através de processo contínuo.
- R.2 - resultados obtidos por BARBOSA (07), através de processo discreto.
- R.3 - resultados do programa.



ROTACÃO DOS DIAFRAGMAS (10 ⁻³ rad)			
ANDAR	R.1	R.2	R.3
15	3,00	3,00	2,99
14	2,89	2,86	2,85
13	2,73	2,71	2,70
12	2,57	2,55	2,54
11	2,37	2,37	2,36
10	2,16	2,16	2,16
9	1,95	1,94	1,93
8	1,67	1,70	1,69
7	1,43	1,44	1,44
6	1,19	1,18	1,17
5	0,90	0,91	0,90
4	0,64	0,65	0,64
3	0,41	0,41	0,40
2	0,21	0,20	0,20
1	0,05	0,06	0,06
BASE	0,00	0,00	0,00

- R.1 - resultados obtidos por BARBOSA (07), através de processo contínuo.
- R.2 - resultados obtidos por BARBOSA (07), através de processo discretos.
- R.3 - resultados do programa.



BIMOMENTOS (10 ⁸ x lb.ft ²)			
ANDAR	R.1	R.2	R.3
15	0,120	0,108	0,109
14	0,040	0,096	0,097
13	0,162	0,211	0,211
12	0,124	0,160	0,161
11	0,256	0,285	0,287
10	0,164	0,197	0,198
9	0,310	0,336	0,338
8	0,185	0,210	0,211
7	0,343	0,365	0,366
6	0,181	0,201	0,202
5	0,355	0,372	0,374
4	0,155	0,171	0,172
3	0,345	0,359	0,359
2	0,105	0,119	0,119
1	0,309	0,320	0,319
LINTEL	0,030	0,042	0,041
	0,243	0,254	0,253
	-0,069	-0,062	-0,064
	+0,149	+0,155	+0,152
	-0,196	-0,199	-0,202
	-0,020	-0,017	-0,013
	-0,389	-0,378	-0,382
	-0,183	-0,172	-0,177
	-0,610	-0,607	-0,612
	-0,426	-0,424	-0,430
	-0,886	-0,899	-0,906
	-0,740	-0,754	-0,762
	-1,271	-1,272	-1,280
	-1,189	-1,188	-1,195
	ACIMA	ACIMA	ACIMA
	ABAIXO	ABAIXO	ABAIXO

EXEMPLO 4:

Neste exemplo faz-se a análise de um edifício de 15 andares, em concreto armado, representado na figura 4.4. As secções das vigas e dos pilares têm as mesmas dimensões em todos os andares, dadas por 0,25m x 0,90m e 0,40mx0,40m, respectivamente. A altura dos andares é de 3,30m.

No arranjo estrutural há uma parede de secção aberta com a forma da letra U, ou núcleo estrutural em forma de U, com espessura constante e igual a 0,25m.

O edifício é solicitado por uma carga lateral, que incide à 90° com o plano XZ, uniformemente distribuída e dada por $q = 0,100\text{tf/m}^2$.

Adotaram-se para os módulos de elasticidade longitudinal e transversal os valores $E = 2,0 \times 10^6\text{tf/m}^2$ e $G = 0,80 \times 10^6\text{tf/m}^2$, respectivamente.

Fizeram-se duas análises deste edifício:

- (1^a) A primeira análise foi feita sem a interação PÓRTICO-PAREDE, ou seja o núcleo estrutural não interagiu com o pórtico espacial. Os resultados obtidos nesta análise foram denominados de R.1.
- (2^a) A segunda análise foi feita com a interação PÓRTICO-PAREDE, ou seja o núcleo estrutural interagiu com o pórtico espacial. Os resultados obtidos nesta análise foram denominados de R.2.

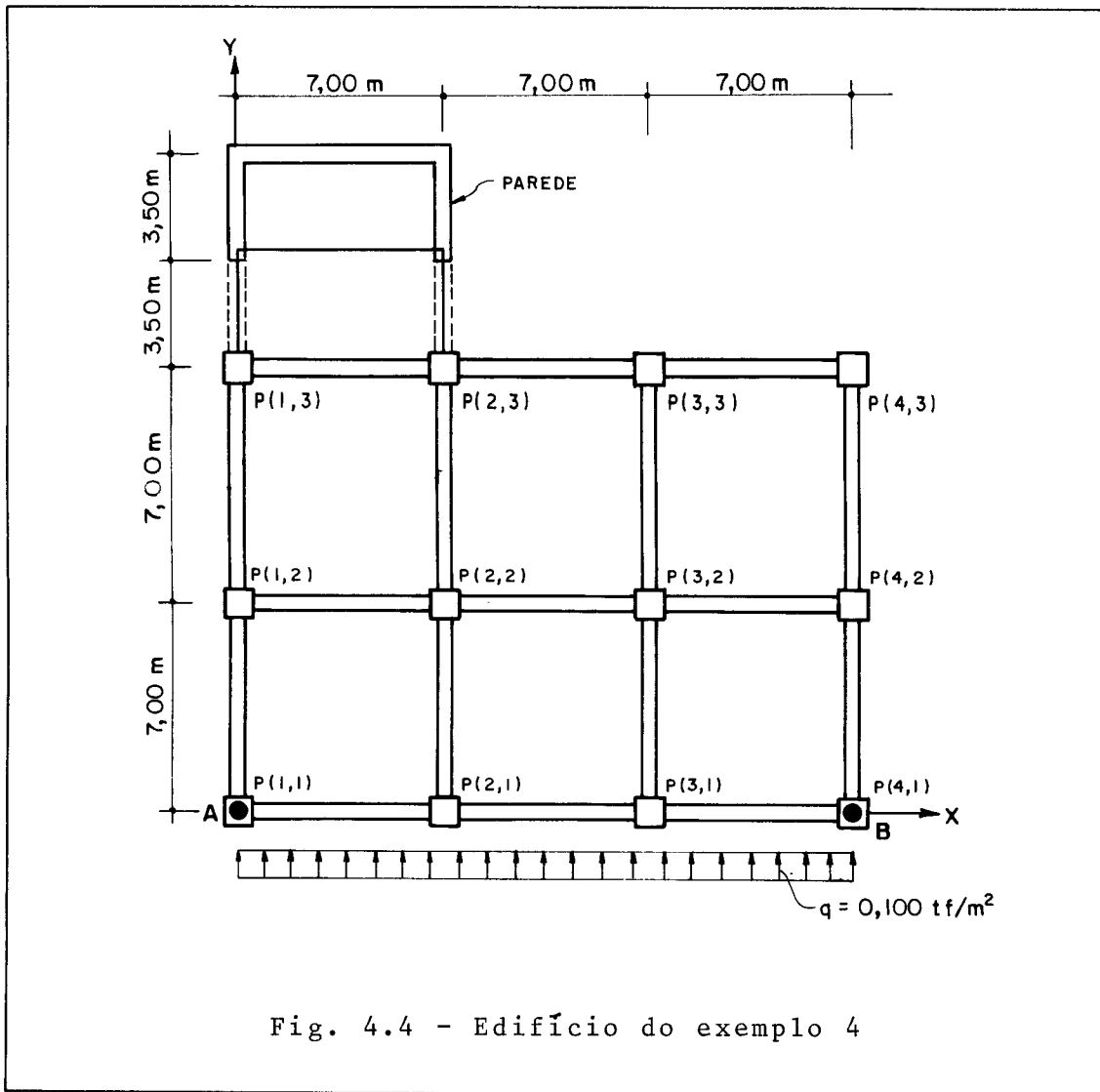
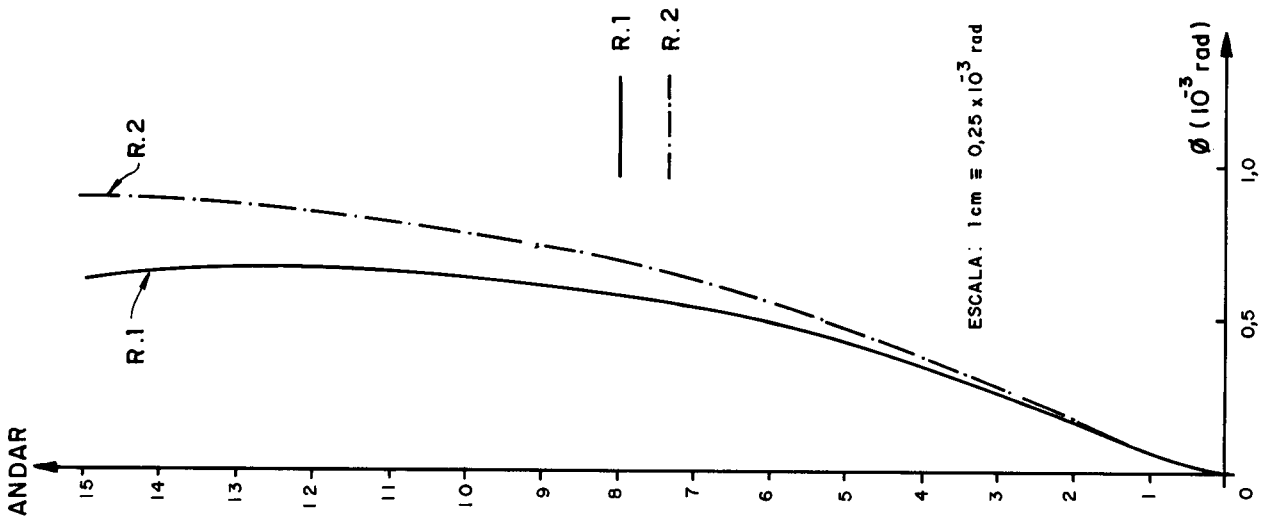
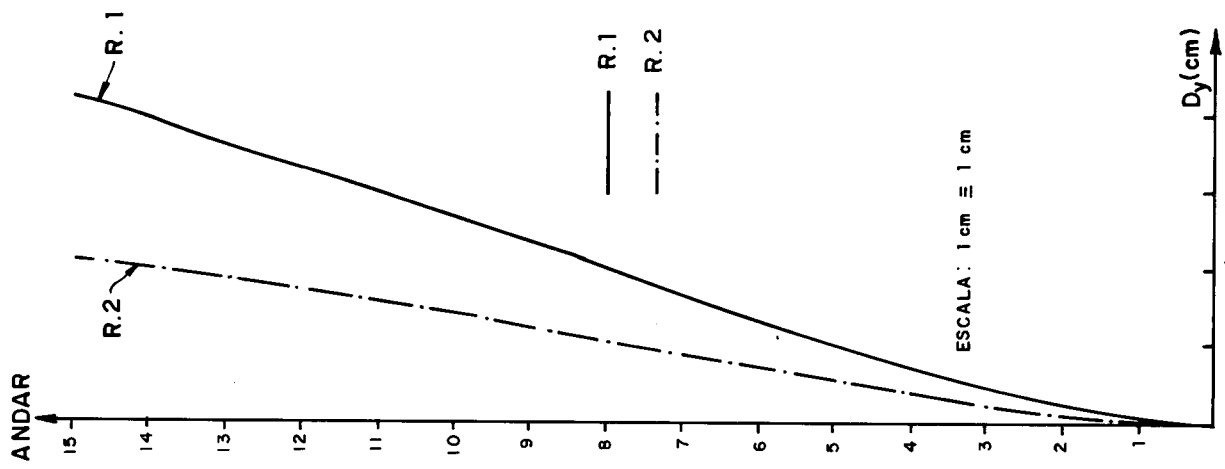


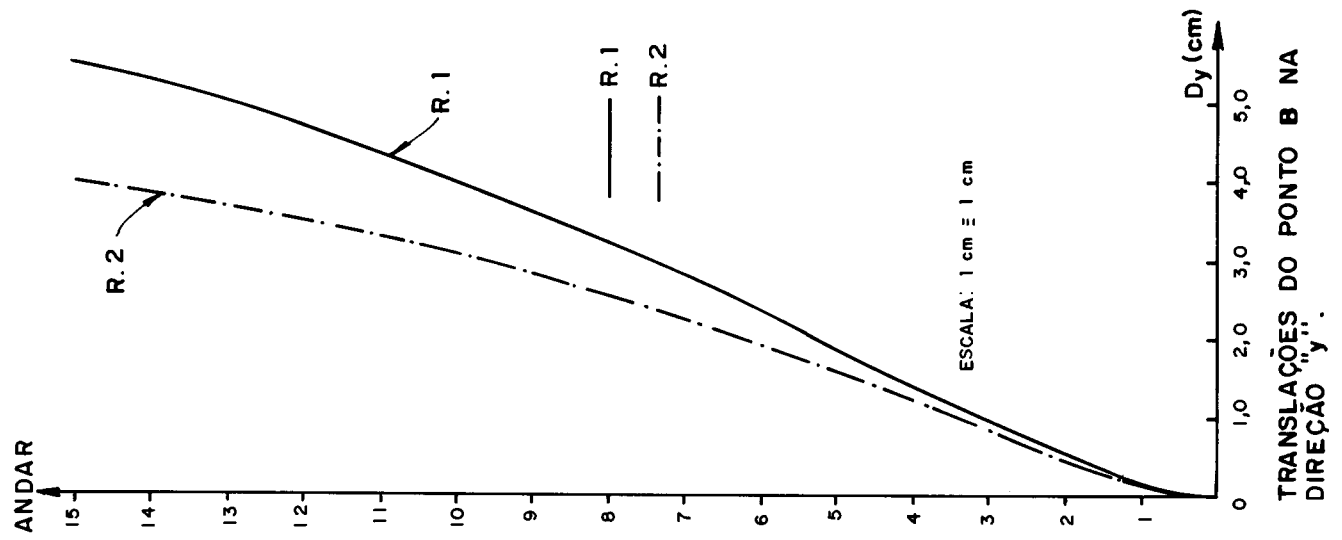
Fig. 4.4 - Edifício do exemplo 4



ROTAÇÃO DOS DIAFRAGMAS.

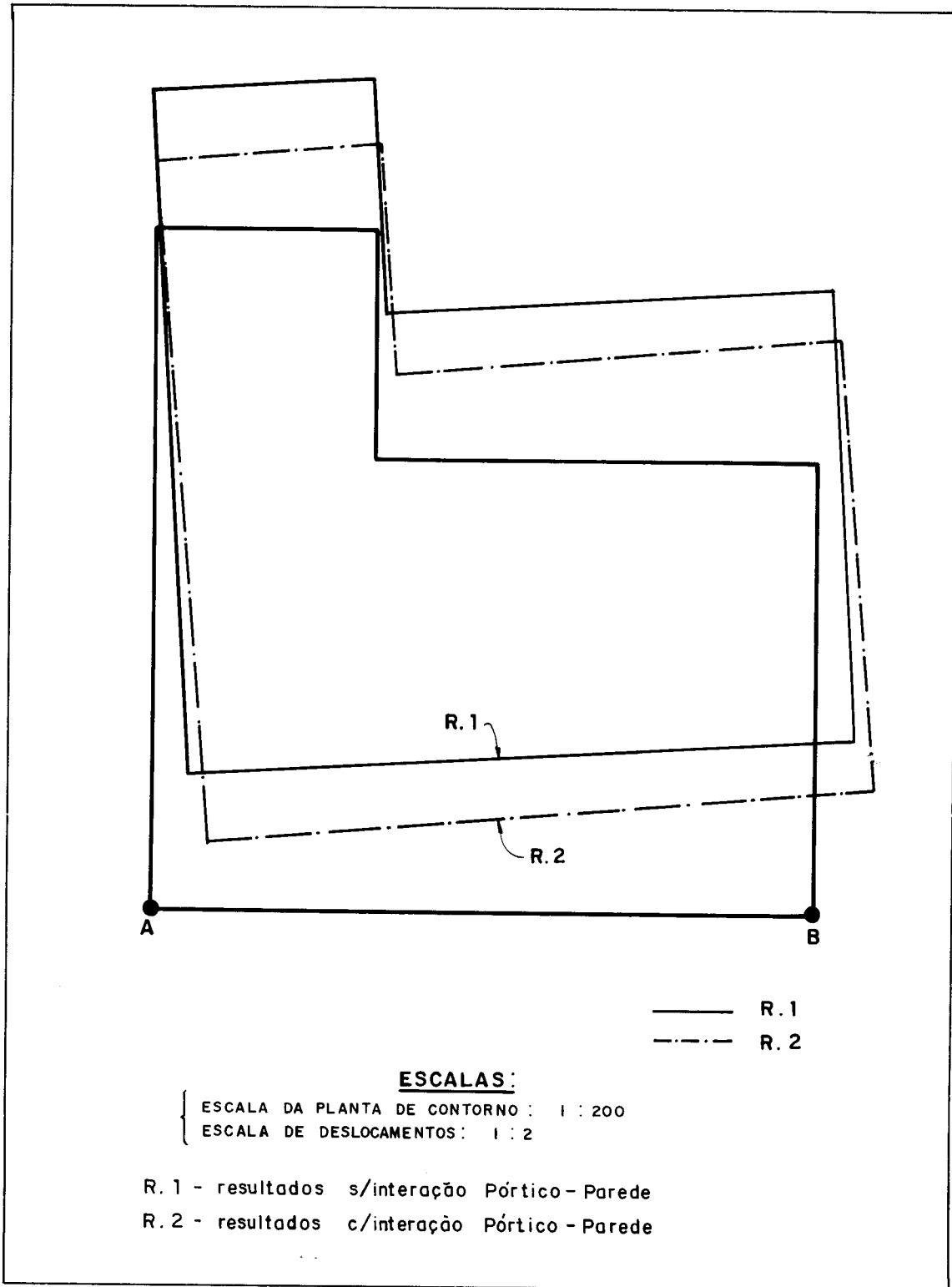


TRANSLAÇÕES DO PONTO A NA DIREÇÃO "y".



TRANSLAÇÕES DO PONTO B NA DIREÇÃO "y".

Movimento descrito pelo diafragma ao nível do 15º (décimo quinto) andar:



COMENTÁRIOS SOBRE O EXEMPLO 4:

Observa-se que a interação PÓRTICO-PAREDE por vigas reduz significativamente os deslocamentos do edifício. Ao nível do 15º andar, por exemplo, em relação ao eixo Y o ponto A se deslocou 4,2cm na análise R.1, sem a interação PÓRTICO-PAREDE, enquanto que na análise R.2, com a interação PÓRTICO-PAREDE, o ponto A se deslocou de 2,1cm, o que significa um valor equivalente a 50% do deslocamento do caso anterior. No entanto, no mesmo andar, o ponto B sofreu uma redução menos significativa, uma vez que na análise R.1 o ponto B se deslocou de 5,5cm e na análise R.2 o mesmo ponto se deslocou de 4,0cm, o que significa um valor equivalente a 73% do valor anterior.

Pode-se ver, entretanto, que esses resultados foram decorrentes da forma assimétrica do arranjo estrutural e, também, devido ao ponto A se situar na prumada de pilares que interagiu diretamente com o núcleo estrutural.

PARTE V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entende-se que algumas sugestões podem ser de grande utilidade para se prosseguir no desenvolvimento do estudo de edifícios altos, constituídos de pórticos espaciais e paredes de secção aberta em seu arranjo estrutural. As idéias aqui expostas visam fornecer informações sobre as limitações do programa para cálculo automático desenvolvido neste trabalho e, assim, tentar mostrar os caminhos que levem à complementação do que foi desenvolvido, dando prosseguimento à pesquisa.

Sobre o arranjo estrutural há hipóteses simplificadoras com relação aos pórticos espaciais retangulares, simples ou compostos, e às paredes de secção aberta formadas de segmentos ortogonais entre si e com espessura constante. Entende-se que a generalização do arranjo estrutural tanto para os pórticos espaciais, quanto para as paredes de secção aberta se constitui uma contribuição ao tema.

Sobre as condições de vinculação com a base há hipóteses simplificadoras que impõem a nulidade de todos os deslocamentos na base da estrutura. Entende-se que uma análise da possibilidade de haver deslocamentos ao nível da base se constitui uma contribuição ao presente trabalho.

Pode-se também pensar em analisar-se o efeito das intersecções entre vigas e pilares, tomadas com dimensões finitas, sobre o comportamento da estrutura, quando submetida a carregamento lateral. Este procedimento foi utilizado por FAKURY (09).

Com o exposto acima entende-se que se tem uma visão geral para que se dê um primeiro passo no prosseguimento da pesquisa desenvolvida neste trabalho.

PARTE VI

APÊNDICES

6.1 - APÊNDICE 1: Características gerais das paredes analisadas no programa

Neste apêndice apresentam-se as características gerais das paredes estruturais que foram utilizadas na confecção do programa para cálculo automático. Além da parede plana ou pilar parede analisaram-se também quatro tipos de paredes de secção aberta que serão estudadas a seguir, tendo como base a teoria de flexo-torção apresentada na parte I.

6.1.1 - Parede plana

A figura 6.1 mostra uma parede plana com espessura constante t_w e altura h_w da secção transversal. O centro de gravidade e o centro de cisalhamento são coincidentes ou $c.g. \equiv c.c.$

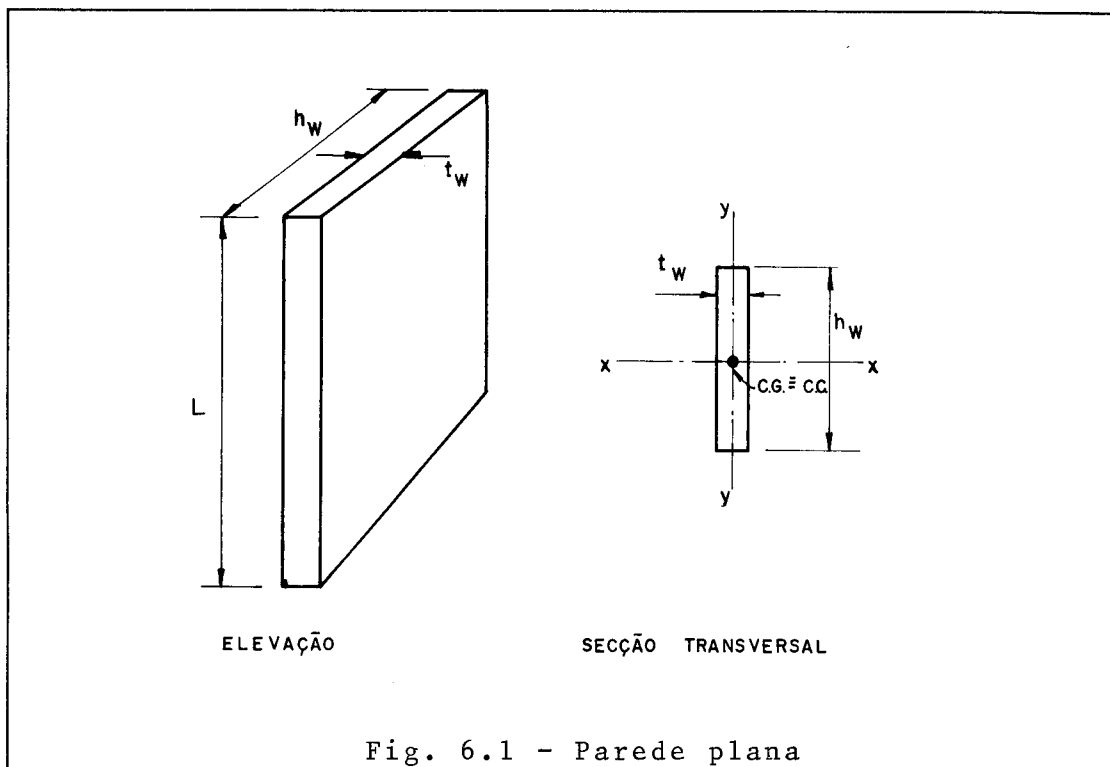


Fig. 6.1 - Parede plana

6.1.1.1 - Área da secção transversal (A_ω):

$$A_\omega = h_\omega \cdot t_\omega$$

6.1.1.2 - Momentos principais de inércia (XI_ω , YI_ω):

$$XI_\omega = t_\omega \cdot h_\omega^3/12$$

$$YI_\omega = h_\omega \cdot t_\omega^3/12$$

6.1.1.3 - Momento de inércia à torção (J_t):

$$J_t = h_\omega \cdot t_\omega^3/3$$

6.1.1.4 - Momento setorial de inércia (J_ω):

$$J_\omega = 0$$

6.1.2 - Parede com a forma da letra U:

A figura 6.2 mostra uma parede de secção aberta com a forma da letra U.

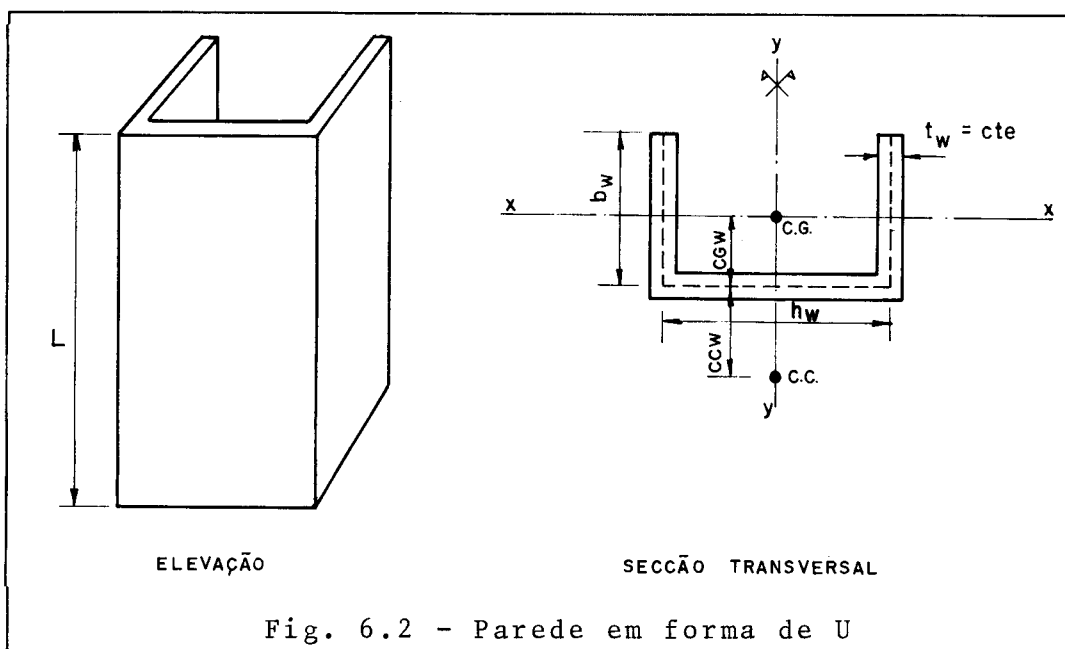


Fig. 6.2 - Parede em forma de U

Onde na figura 6.2 tem-se que b_ω e h_ω são as dimensões da secção transversal de espessura t_ω constante. As dimensões representadas por $c_{g\omega}$ e $c_{c\omega}$ são, respectivamente, as distâncias do centro de gravidade e do centro de cisalhamento à linha média ou linha esqueleto da secção da parede.

6.1.2.1 - Área da secção transversal (A_ω):

$$A_\omega = t_\omega (h_\omega + 2b_\omega)$$

6.1.2.2 - Momentos principais de inércia (XI_ω, YI_ω):

$$XI_\omega = b_\omega^3 (b_\omega + 2h_\omega) / 3(2b_\omega + h_\omega) t_\omega$$

$$YI_\omega = h_\omega^2 (h_\omega + 6b_\omega) / 12 t_\omega$$

6.1.2.3 - Momento de inércia à torção (J_t):

$$J_t = (h_\omega + 2b_\omega) t_\omega^3 / 3$$

6.1.2.4 - Momento setorial de inércia (J_ω):

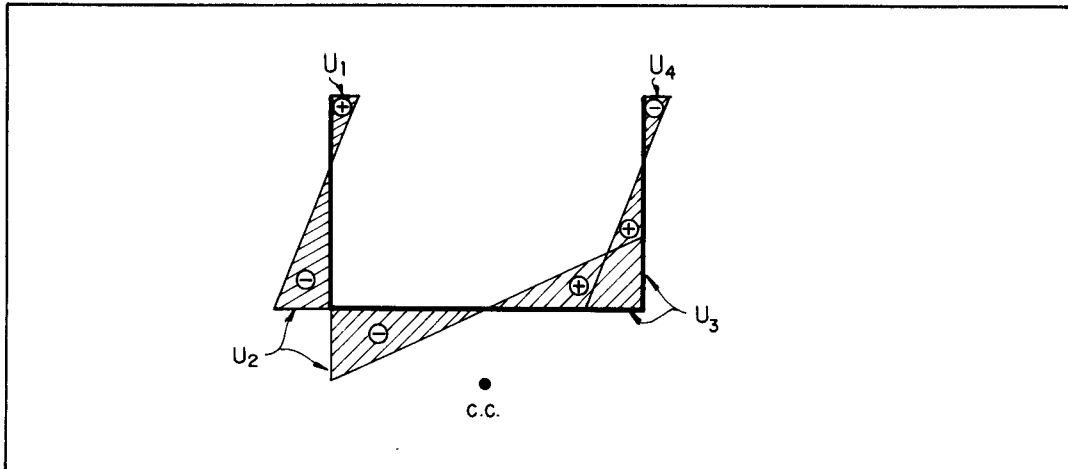
$$J_\omega = b_\omega^3 h_\omega^2 (2h_\omega + 3b_\omega) / 12 (h_\omega + 6b_\omega) t_\omega$$

6.1.2.5 - Dimensões $c_{g\omega}$ e $c_{c\omega}$:

$$c_{g\omega} = b_\omega^2 / (2b_\omega + h_\omega)$$

$$c_{c\omega} = 3b_\omega^2 / (6b_\omega + h_\omega)$$

6.1.2.6 - Diagrama de área setorial:

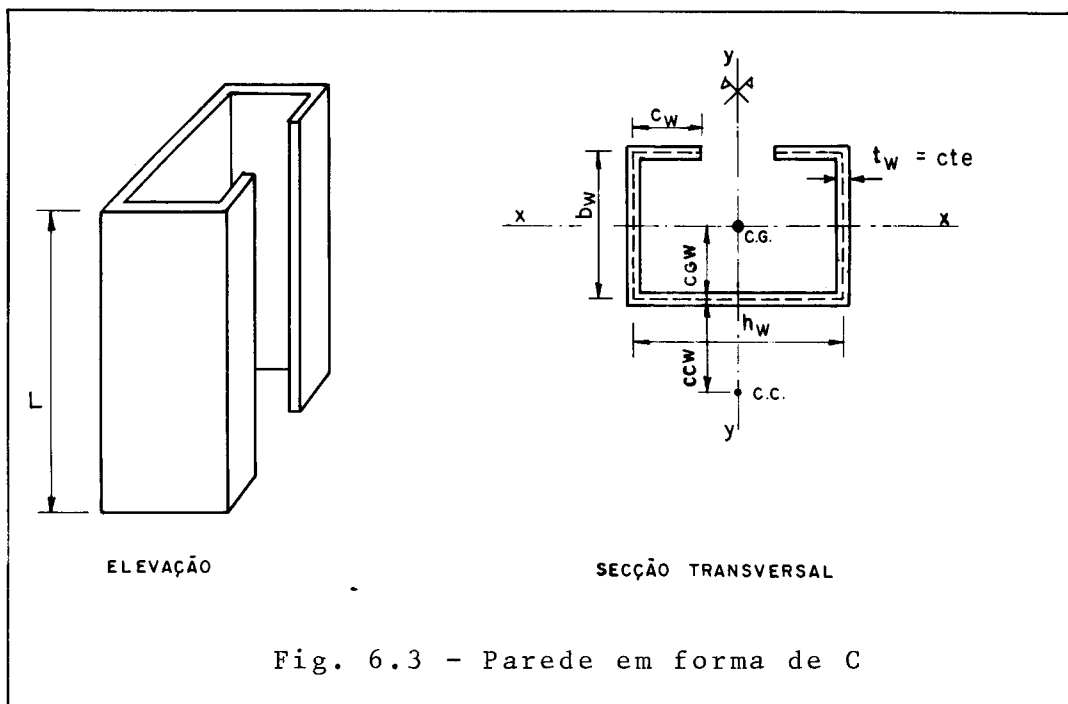


$$U_1 = - U_4 = \frac{h}{2} \omega (-cc\omega + b_\omega)$$

$$U_2 = - U_3 = \frac{h}{2} \omega (-cc\omega)$$

6.1.3 - Parede com a forma da letra C:

A figura 6.3 mostra uma parede de secção aberta com a forma da letra C.



Onde na figura 6.3 tem-se que c_{ω} , b_{ω} e h_{ω} são as dimensões da secção transversal de espessura t_{ω} constante. As dimensões representadas por $c_{g\omega}$ e cc_{ω} são, respectivamente, as distâncias do centro de gravidade e do centro de cisalhamento à linha média ou linha esqueleto da secção da parede.

6.1.3.1 - Área da secção transversal (A_{ω})

$$A_{\omega} = t_{\omega} (2c_{\omega} + 2b_{\omega} + h_{\omega})$$

6.1.3.2 - Momentos principais de inércia (XI_{ω}, YI_{ω})

$$XI_{\omega} = (c_{g\omega}^2 h_{\omega}) + (b_{\omega}^3 / 6) + 2 \left(\frac{b_{\omega}}{2} - c_{g\omega} \right)^2 b_{\omega} + \dots$$

$$\dots + 2c_{\omega} (b_{\omega} - c_{g\omega})^2 t_{\omega}$$

$$YI_{\omega} = (h_{\omega}^2 (h_{\omega} + 6b_{\omega} + 6c_{\omega}) / 12) + (c_{\omega}^2 (2c_{\omega} - 3h_{\omega}) / 3) t_{\omega}$$

6.1.3.3 - Momento de inércia à torção (J_t)

$$J_t = (h_{\omega} + 2b_{\omega} + 2c_{\omega}) t_{\omega}^3 / 3$$

6.1.3.4 - Momento setorial de inércia (J_{ω})

$$J_{\omega} = (h_{\omega}^2 cc_{\omega} (h_{\omega} + 4b_{\omega} + 6c_{\omega}) / 12) + (b_{\omega}^2 h_{\omega}^2 (b_{\omega} - 2cc_{\omega} + 3c_{\omega} - \dots$$

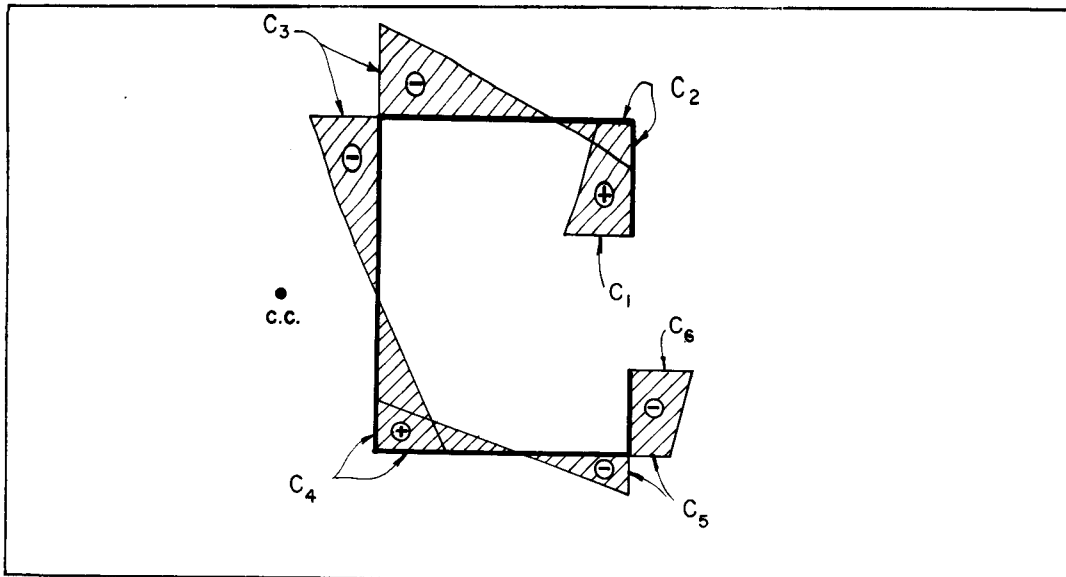
$$\dots - \frac{6c_{\omega} \cdot cc_{\omega}}{b_{\omega}}) / 6) + (2c_{\omega}^3 (b_{\omega}^2 + 2b_{\omega} \cdot cc_{\omega} + cc_{\omega}^2 / 3) t_{\omega}$$

6.1.3.5 - Dimensões $c_{g\omega}$ e cc_{ω}

$$c_{g\omega} = (b_{\omega}^2 + 2c_{\omega} \cdot b_{\omega}) / (h_{\omega} + 2b_{\omega} + 2c_{\omega})$$

$$cc_{\omega} = (-b_{\omega} \cdot h_{\omega}^2 (b_{\omega} + 2c_{\omega}) / 4) + (2b_{\omega} \cdot c_{\omega}^3 / 3) / YI_{\omega}$$

6.1.3.6 - Diagrama de área setorial



$$C_1 = - C_6 = \frac{h_w}{2} (-cc\omega + b_w) + c_w(cc\omega + b_w)$$

$$C_2 = - C_5 = \frac{h_w}{2} (-cc\omega + b_w)$$

$$C_3 = - C_4 = \frac{h_w}{2} (-cc\omega)$$

6.1.4 - Parede com a forma da letra H

A figura 6.4 mostra uma parede de secção aberta com a forma da letra H.

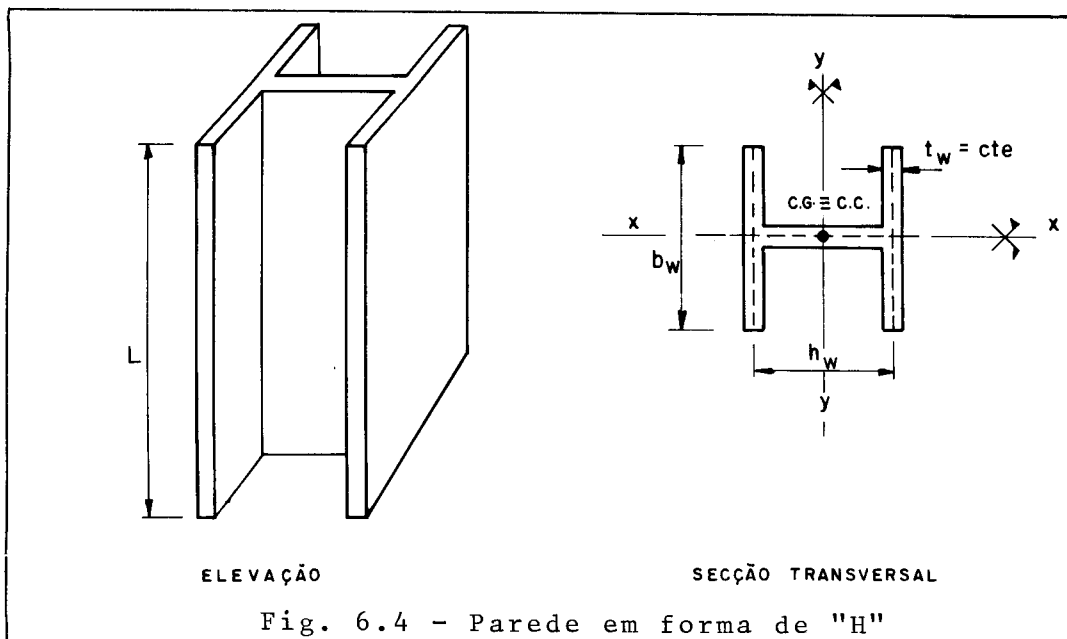


Fig. 6.4 - Parede em forma de "H"

Onde na figura 6.4 tem-se que b_ω e h_ω são as dimensões da secção transversal de espessura t_ω constante. Nesta parede tem-se que o centro de gravidade e o centro de cisalhamento são coincidentes ou c.g. \equiv c.c.

6.1.4.1 - Área da secção transversal (A_ω)

$$A_\omega = t_\omega (h_\omega + 2b_\omega)$$

6.1.4.2 - Momentos principais de inércia (XI_ω, YI_ω)

$$XI_\omega = t_\omega b_\omega^3 / 6$$

$$YI_\omega = t_\omega h_\omega^2 \left(\frac{h_\omega}{12} + \frac{b_\omega}{2} \right)$$

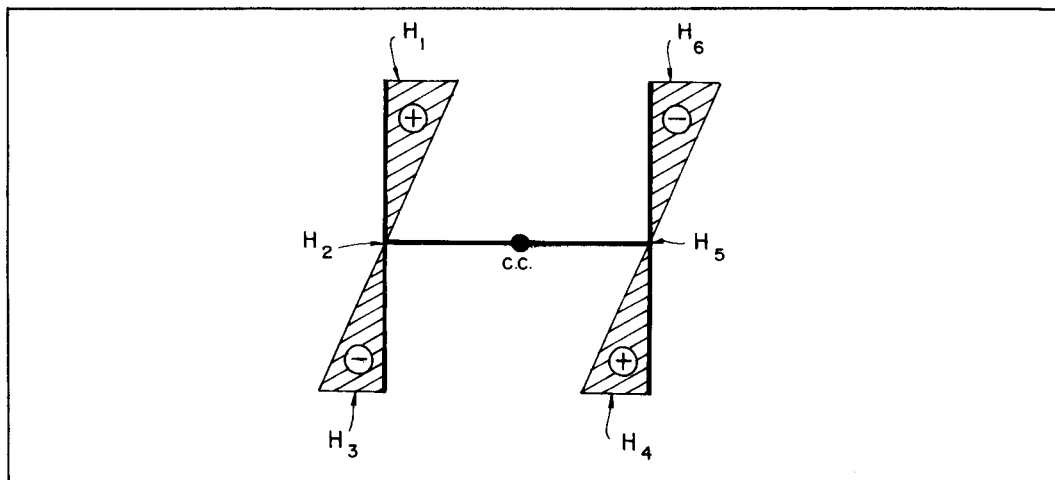
6.1.4.3 - Momento de inércia à torção (J_t)

$$J_t = (h_\omega + 2b_\omega) t_\omega^3 / 3$$

6.1.4.4 - Momento setorial de inércia (J_ω)

$$J_\omega = t_\omega b_\omega^3 h_\omega^2 / 24$$

6.1.4.5 - Diagrama de área setorial



$$H_1 = H_4 = \frac{b_\omega h_\omega}{4} ; H_2 = H_5 = 0 ; H_3 = H_6 = - \frac{b_\omega h_\omega}{4}$$

6.1.5 - Parede com a forma de duplo T

A figura 6.5 mostra uma parede de secção aberta com a forma de duplo T

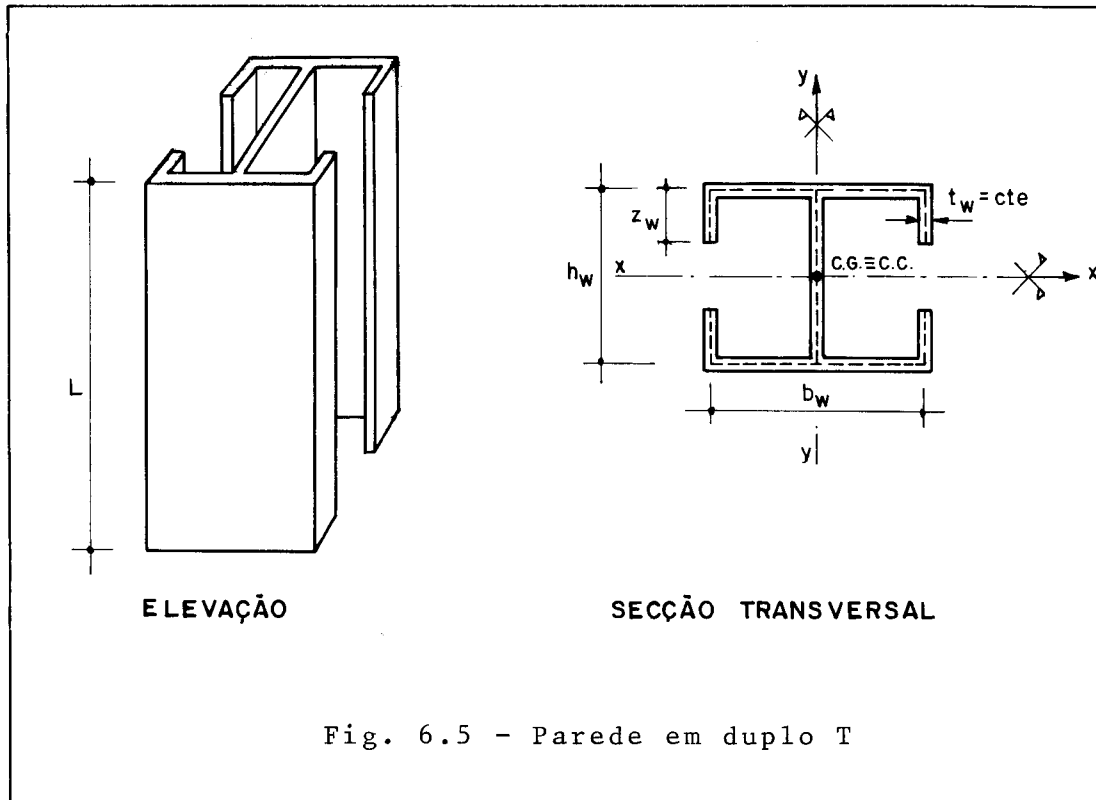


Fig. 6.5 - Parede em duplo T

Onde na figura 6.5 tem-se que z_w , b_w e h_w são as dimensões da secção transversal de espessura t_w constante. Nesta parede tem-se que o centro de gravidade e o centro de cisalhamento são coincidentes ou $c.g. \equiv c.c.$

6.1.5.1 - Área da secção transversal (A_w)

$$A_w = t_w (h_w + 2b_w + 4z_w)$$

6.1.5.2 - Momentos principais de inércia (XI_w, YI_w)

$$XI_w = \frac{h_w^3}{12} + \frac{b_w h_w^2}{2} + \frac{z_w^3}{3} + z_w (h_w - z_w)^2 \varepsilon_w$$

$$YI\omega = \left(\frac{b_\omega^3}{6} + z_\omega b_\omega^2 \right) t_\omega$$

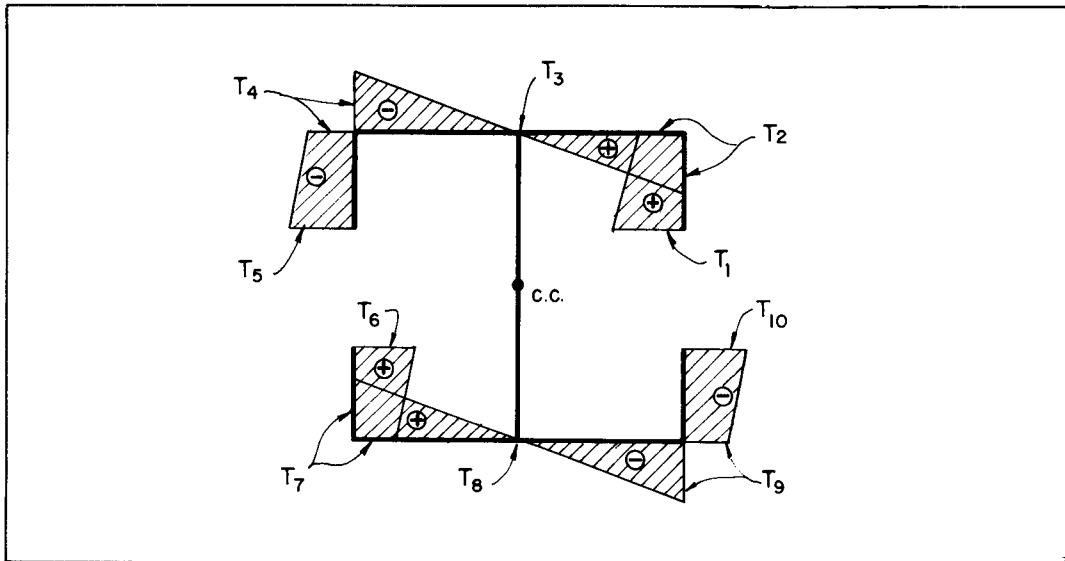
6.1.5.3 - Momento de inércia à torção (J_t)

$$J_t = (h_\omega + 2b_\omega + 4z_\omega) t_\omega^3 / 3$$

6.1.5.4 - Momento setorial de inércia (J_ω)

$$J_\omega = (b_\omega h_\omega^2 + 6z_\omega h_\omega^2 + 8z_\omega^3) b_\omega^2 / 24 t_\omega$$

6.1.5.5 - Diagrama de área setorial



$$T_1 = -T_5 = T_6 = -T_{10} = \frac{h_\omega b_\omega}{4}$$

$$T_2 = -T_4 = T_7 = -T_9 = \frac{h_\omega b_\omega}{4} + \frac{b_\omega z_\omega}{2}$$

$$T_3 = T_8 = 0$$

6.2 - APÊNDICE 2: Método de eliminação de GAUSS

Neste apêndice apresenta-se, segundo ALBRECHT (12), o algoritmo de GAUSS para sistemas de equações lineares. Este algoritmo foi utilizado neste trabalho para resolver o sistema de equações lineares cujas incógnitas são os deslocamentos laterais ou de corpo rígido ao nível dos andares.

Da Parte II tem-se a equação (2.33):

$$[RLL]^* \{DL\} = \{FL\}^*$$

cujo vetor de deslocamentos laterais $\{DL\}$ é o vetor de incógnitas a ser determinado. Para utilizar-se uma nomenclatura mais simples considere-se a equação matricial como definida abaixo:

$$AX = B \quad (6.2.1)$$

em que A é uma matriz regular (n,n), X o vetor das incógnitas de ordem (n,1) e B um vetor de ordem (n,1). É conveniente designar-se os elementos de A por (a_{ij}) , $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, n$.

Pelo método de eliminação de GAUSS com (n-1) passos a equação $AX = B$ é transformada na forma

$$UX = B^* \quad (6.2.2)$$

onde U é uma matriz triangular superior e B^* é o vetor modificado B durante a eliminação.

Pode-se interpretar o K-ésimo passo deste algoritmo como a multiplicação de (6.2.1) por uma matriz G_k da forma:

$$G_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & m_{k+1,k} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & m_{k+2,k} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & m_{n,k} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

com:
$$m_{j,k} = - \frac{a_{j,k}^{(k-1)}}{a_{k,k}^{(k-1)}} \dots \begin{matrix} j = k+1, k+2, \dots, n \\ k = 1, 2, \dots, n-1 \end{matrix}$$

onde:
$$(a_{i,k}^{(k-1)}) = G_{k-1} \cdot G_{k-2} \dots G_1 A$$

6.2.1 - Definição

O elemento $a_{kk}^{(k-1)}$ é chamado pivô do k-ésimo passo.

Supõem-se que os pivôs são elementos diagonais diferentes de zero. Depois de (n-1) passos tem-se:

$$G_{n-1} G_{n-2} \dots G_2 G_1 A X = G_{n-1} \dots G_1 B$$

Pode-se verificar, facilmente, que os inversos G_k^{-1} são obtidos dos G_k pela mudança dos sinais de $m_{j,k}$.
Por isso:

$$L = G_1^{-1} G_2^{-1} \dots G_{n-2}^{-1} G_{n-1}^{-1}$$

tem-se a seguinte forma:

$$L = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ -m_{21} & 1 & & & & 0 \\ -m_{31} & -m_{32} & 1 & & & \\ \dots & \dots & & & & \\ -m_{n1} & -m_{n2} & -m_{n3} & \dots & -m_{n,n-1} & 1 \end{bmatrix} \quad (6.2.3)$$

Como $L^{-1}A = U$, pela definição de L e B^* , obtêm-se:

$$A = LU \quad (6.2.4)$$

sendo L triangular da forma (6.2.3)

Conclui-se, então, que o método de GAUSS é equivalente a uma fatorização de A no produto de duas matrizes triangulares L e U onde L é triangular inferior e U triangular superior.

Se o determinante da matriz A é diferente de zero, sempre existe uma reordenação das linhas de A tal que a fatorização (6.2.4) é possível.

Como o método de eliminação de GAUSS é um método direto pode-se determinar o número de operações necessárias para se chegar à solução. Sendo a matriz A de ordem (n,n) e o vetor B $(n,1)$, empregam-se no método de GAUSS:

$$\frac{1}{6} (n-1)(2n+5)n \dots \text{adições e subtrações,}$$

$$\frac{1}{6} n(n-1)(2n+5) \dots \text{multiplicações e}$$

$$\frac{1}{2} n(n+1) \dots \text{divisões}$$

6.3 - APÊNDICE 3: Forma de utilização do programa para cálculo automático

Neste apêndice mostra-se a forma de utilização do programa para cálculo automático apresentado na parte III. Faz-se uma análise completa da entrada de dados para os exemplos de aplicação estudados na parte IV e, também, mostra-se os principais trechos de saída de alguns valores obtidos para o exemplo 4, com a finalidade de se mostrar a forma de impressão dos resultados extraídos do programa aqui desenvolvido.

O quadrante positivo do sistema de eixos tem origem com coordenadas (1,1), onde a primeira coordenada corresponde ao número da prumada paralela ao eixo X e a segunda corresponde ao número da prumada paralela ao eixo Y.

Vê-se, então, que todo arranjo estrutural é modulado em vãos definidos nas duas direções do sistema global de eixos e, portanto, todo arranjo é lido em malha retangular. Nos casos em que o arranjo não tem forma externa de retângulo, se faz necessário informar com dados sobre a forma do arranjo estrutural.

ENTRADA DE DADOS PARA O EXEMPLO 1:

Os primeiros dados de entrada são os valores de NVX (número de vãos na direção X), em formato I2, NVY (número de vãos na direção Y), em formato I2, NA (número de andares), em formato I2, $N\omega$ (número de paredes), em formato I2, E (módulo de elasticidade longitudinal), em formato E10.4 e G (módulo de elasticidade transversal), em formato E10.4, respectivamente. Portanto na primeira linha de entrada de dados para o exemplo 1 tem-se:

NVX	NVY	NA	$N\omega$	E	G
6	6	10	0	2.0000+06	0.8000E+06

A seguir entra-se com os valores do comprimento dos vãos na direção X definidos por L_x , em formato E10.4, lidos no sentido positivo do eixo X e um valor em cada linha. Assim:

L_x
0.2500E+01
0.2500E+01
0.2500E+01
0.2500E+01
0.2500E+01
0.2500E+01

Do mesmo modo entra-se com os valores do comprimento dos vãos na direção Y definidos por L_y , em formato E10.4, portanto se tem:

L_y
0.2500E+01
0.2500E+01
0.2500E+01

L_y
0.2500E+01
0.2500E+01
0.2500E+01

Os valores da altura dos andares, HA, são dados em formato E10.4 e um em cada linha, a partir do andar do topo. Para este exemplo tem-se:

HA
0.3000E+01
0.3000E+01
0.3000E+01
0.3000E+01
0.3000E+01
0.3000E+01
0.3000E+01
0.3000E+01
0.3000E+01
0.3000E+01

Vê-se que os pontos internos não definem nós para a estrutura tubular deste exemplo, pois não há pilares nem vigas no interior da estrutura. Informa-se, então, o número de nós a omitir, NNO, em formato I2, que é igual a 25 neste caso. Assim:

NNO
25

Em seguida dá-se as coordenadas de todos os 25 nós a omitir, sabendo-se que a origem é definida pelo nó de coordenadas (1,1), onde o primeiro número significa o número da prumada na direção X e o segundo o número da prumada na direção Y. Assim, entra-se com as coordenadas de cada nó a omitir, lidos um por linha e cada coordenada em

formato I2, sendo primeiro a coordenada em relação ao eixo X. Portanto tem-se:

I	J
2	2
2	3
2	4
2	5
2	6
3	2
3	3
3	4
3	5
3	6
4	2
4	3
4	4
4	5
4	6
5	2
5	3
5	4
5	5
5	6
6	2
6	3
6	4
6	5
6	6

Após terem sido lidos todos os nós a omitir, entra-se com os dados que definem a existência de vigas, na direção do eixo X, IVX, e na direção do eixo Y, IVY, ambos em formato I2. As coordenadas do nó inicial é que define a viga em uma das direções, X ou Y, e caso exista entra-se com o número 1, caso contrário com 0. Assim:

IVX	IVY	Coordenadas
1	1	(1,1)
0	1	(1,2)
0	1	(1,3)
0	1	(1,4)
0	1	(1,5)
0	1	(1,6)
1	0	(1,7)
1	0	(2,1)
0	0	(2,2)
0	0	(2,3)
0	0	(2,4)
0	0	(2,5)
0	0	(2,6)
1	0	(2,7)
1	0	(3,1)
0	0	(3,2)
0	0	(3,3)
0	0	(3,4)
0	0	(3,5)
0	0	(3,6)
1	0	(3,7)
1	0	(4,1)
0	0	(4,2)
0	0	(4,3)
0	0	(4,4)
0	0	(4,5)
0	0	(4,6)
1	0	(4,7)
1	0	(5,1)
0	0	(5,2)
0	0	(5,3)
0	0	(5,4)
0	0	(5,5)
0	0	(5,6)
1	0	(5,7)

IVX	IVY	Coordenadas
1	0	(6,1)
0	0	(6,2)
0	0	(6,3)
0	0	(6,4)
0	0	(6,5)
0	0	(6,6)
1	0	(6,7)
0	1	(7,1)
0	1	(7,2)
0	1	(7,3)
0	1	(7,4)
0	1	(7,5)
0	1	(7,6)
0	0	(7,7)

Na seqüência da entrada de dados lê-se agora as características das VIGAS-X. Primeiro lê-se a inércia a flexão, IFV_x , e depois a inércia a torção, ITV_x , ambas em formato E14.7. Entra-se com esses valores, seqüencialmente, para cada prumada paralela ao eixo X e lendo-se a partir da primeira prumada. Assim, para o andar do topo, tem-se:

	IFV_x	ITV_x
12 vezes	2.0833333E-03	0.0000000E+00
	.	.
	.	.
	.	.
	2.0833333E-03	0.0000000E+00

Analogamente faz-se para as VIGAS-Y. Portanto:

	IFV_y	ITV_y
12 vezes	2.0833333E-03	0.0000000E+00
	.	.
	.	.
	.	.
	2.0833333E-03	0.0000000E+00

Para os pilares entra-se, respectivamente, com a inércia a flexão segundo o eixo X, IPX, a inércia a flexão segundo o eixo Y, IPY, a inércia a torção, ITP, e área da secção transversal, AP, todos em formato E14.7. Logo, para o andar do topo, tem-se:

	IPX	IPY	ITP	AP
28 vezes {	2.1333333E-03	2.1333333E-03	3.6053333E-03	0.1600000E+00

Entra-se agora com os dados sobre o carregamento horizontal, sendo dados as forças horizontais no sentido do eixo X, F_x , e no sentido do eixo Y, F_y , e também o momento M_z resultante dessas forças em relação a origem, em torno do eixo Z, e todos em formato E14.7. Primeiramente para o andar do topo, como segue:

F_x	F_y	M_z
0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.1500000E+02

Em seguida entra-se os dados sobre cargas verticais como o número de nós carregados no andar, NNCA, o número de vãos carregados na direção X, NVCX, e o número de vãos carregados na direção Y, NVCY, todos em formato I3.

NNCA	NVCX	NVCY
0	0	0

Para o andar imediatamente inferior entra-se com Índice de pavimento tipo, IPVT, em formato I2. Se IPVT = 1 significa que todas as vigas e pilares deste andar têm as mesmas características do andar acima e, portanto, esses valores para as vigas e pilares são buscados em arquivo direto. Neste exemplo todos os andares são pavimento tipo e, portanto, se faz necessário, do 9º andar ao 1º andar, en-

trar-se apenas com os valores de F_x , F_y e M_z , definidos anteriormente, como também os dados sobre NNCA, NVCX e NVCY para cada andar, como segue:

```
IPVT
  1
      Fx          Fy          Mz
0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.3000000E+02
      NNCA  NVCX  NVCY
        0    0    0
```

Essa entrada de dados é repetida do 9º até o 1º andar e após se entrar com os dados do último andar, tem-se os índices de saída de dados para vigas, ISV, para pilares, ISP, e para paredes, ISW, todos em formato I2. Caso um dos índices seja nulo não sairão os resultados referidos ao mesmo, caso seja diferente de zero os resultados serão impressos na saída de dados.

ENTRADA DE DADOS PARA O EXEMPLO 2:

Para o exemplo 2 se tem que o número de vãos na direção X, NVX, é igual a 2 e na direção Y entra-se com 3 vãos para o valor de NVY, assim o programa modula a parede ao vão de 4" (polegadas). O número de andares, NA, é igual a 10 e entra-se com N ω , número de paredes, igual a 1. Sendo todos os dados acima em formato I2. Na mesma linha de entrada de dados tem-se os módulos de elasticidade longitudinal, E, e transversal, G, ambos em formato E10.4. Assim:

NVX	NVY	NA	N ω	E	G
2	3	10	1	0.4200E+06	0.1680E+06

A seguir entra-se com os valores do comprimento dos vãos na direção X e, posteriormente, na direção Y, em formato E10.4.

L _x
1.0000E+01
1.0000E+01

L _y
0.3000E+01
0.4000E+01
0.3000E+01

Os dados da altura dos andares, HA, são lidos a partir do andar do topo e em formato E10.4. Portanto:

HA
0.5000E+01
0.5000E+01
.
.
0.5000E+01

10 vezes

Neste exemplo tem-se 2 nós a omitir, que são os de coordenadas (1,1) e (1,4), pois os nós (1,2) e (1,3), que são os extremos da parede, são eliminados no programa, logo:

NNO
2

Dá-se a seguir as coordenadas desses nós em formato I2.

I	J
1	1
1	4

Na seqüência de dados entra-se com os índices de existência de vigas nas direções X, IVX, e Y, IVY, ambos em formato I2. Vê-se que devido a modulação da parede as vigas na direção Y serão particionados em três elementos de viga. Sendo que o valor zero significa a não existência de viga, definida pela coordenada do nó inicial.

IVX	IVY	Coordenadas
0	0	(1,1)
0	0	(1,2)
0	0	(1,3)
0	0	(1,4)
1	1	(2,1)
0	1	(2,2)
0	1	(2,3)
1	0	(2,4)
0	1	(3,1)
0	1	(3,2)
0	1	(3,3)
0	0	(3,4)

Como a parede foi modulada ao vão de 4 polegadas na direção Y, entra-se com o valor de MOD ω diferente de zero e em formato I2.

MOD ω

1

A seguir entra-se, em formato I2, com o tipo de parede. No caso de parede plana se tem:

TIPO

1

Dá-se então as coordenadas inicial e final que definem a posição da parede plana no arranjo modulado.

				inicial		final
1	2	1	3	(1,2)	e	(1,3)

Para as duas vigas na direção X, entra-se com os valores das inércias a flexão, IFV $_x$, e a torção, ITV $_x$, em formato E14.7.

IFV $_x$	ITV $_x$
0.0406900E+00	0.0056914E+00
0.0406900E+00	0.0056914E+00

E para as vigas na direção Y entra-se com seis valores devido ao particionamento na modulação de vãos na direção Y, correspondentes as vigas definidas pelos nós de coordenadas (2,1), (2,2), (2,3), (3,1), (3,2) e (3,3). Assim:

		IFV $_y$	ITV $_y$
6 vezes	}	0.0406900E+00	0.0056914E+00
		.	.
		.	.
		.	.

A seguir entra-se com os dados sobre os pilares, sendo dados, respectivamente, a inércia a flexão segundo o eixo X, IPX, a inércia a flexão segundo o eixo Y, IPY, a inércia a torção, ITP, e a área da secção transversal, AP, todos em formato E14.7.

IPX	IPY	ITP	AP
0.0263672E+00	0.0263672E+00	0.0445605E+00	0.5625000E+00
0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
0.0263672E+00	0.0263672E+00	0.0445605E+00	0.5625000E+00
0.0263672E+00	0.0263672E+00	0.0445605E+00	0.5625000E+00
0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
0.0263672E+00	0.0263672E+00	0.0445605E+00	0.5625000E+00

Os pilares com dados nulos são os pilares fictícios criados na modulação da parede ao arranjo estrutural e são definidos pelas coordenadas (2,2), (2,3), (3,2) e (3,3).

Depois entra-se com o valor da espessura da parede, t_w , em formato E10.4.

t_w
0.2500E+00

Na seqüência tem-se os valores das forças horizontais F_x , na direção do eixo X, F_y , na direção do eixo Y e M_z , momento resultante em torno do eixo Z. Todos esses dados têm formato E14.7.

F_x	F_y	M_z
0.0000000E+00	0.5000000E+00	0.5000000E+01

Como não há cargas verticais os valores de NNCA, número de nós carregados no andar, NVCX, número de vãos carregados na direção X e NVCY, número de vãos carregados na direção Y, são nulos.

NNCA	NVCX	NVCY
0	0	0

Do 9º andar ao 1º andar todos são pavimento tipo em relação ao 10º andar e, portanto, os dados sobre as vigas e os pilares são buscados em arquivo direto com a informação de que o Índice de pavimento tipo, IPVT, é igual a 1. Será necessário entrar com os dados de carga horizontal F_x , F_y e M_z , a espessura t_w da parede e os dados sobre carregamento vertical NNCA, NVCX e NVCY até o andar de número 1.

	IPVT		
	1		
	t_w		
	0.2500E+00		
F_x	F_y	M_z	
0.0000000E+00	1.0000000E+00	1.0000000E+01	
	NNCA	NVCX	NVCY
	0	0	0

Esses dados são repetidos do 9º andar até o 1º andar e, por último, entra-se com os índices de saída de dados para vigas, ISV, pilares, ISP, e paredes, IS w , todos em formato I2. Se um dos índices for dado como nulo significa que os resultados referentes ao mesmo não constarão na saída de dados.

ENTRADA DE DADOS PARA O EXEMPLO 3:

Entra-se com a parede de secção aberta modulada em vãos, sendo definida a entrada de dados com 1 vão na direção X e 1 vão na direção Y e, portanto, NVX e NVY são iguais a 1. O número de andares, NA, é igual a 15 e o número de paredes, N ω , igual a 1. Na mesma linha de entrada de dados lê-se os valores dos módulos de elasticidade longitudinal, E, e transversal, G, em formato E10.4.

NVX	NVY	NA	N ω	E	G
1	1	15	1	5.7600E+08	2.5043E+08

Na seqüência dá-se os valores do comprimento dos vãos na direção X, L_x, e na direção Y, L_y, em formato E10.4. Assim:

L _x
0.1900E+02
L _y
0.1900E+02

A altura dos andares, HA, é lida em formato E10.4 e a partir do andar do topo.

	HA
15 vezes	{ 0.1250E+02
	{ .
	{ .
	{ 0.1250E+02

O número de nós a omitir, NNO, é nulo. E assim:

NNO
0

Como a parede foi modulada aos vãos, entra-se com o valor de MOD ω diferente de zero, em formato I2.

MOD ω

1

A seguir entra-se com o parâmetro que define o tipo de parede. No caso de parede de secção aberta tem-se:

TIPO

2

Para a parede de secção aberta com a forma da letra "C", entra-se como segue:

M ω

2

Após a identificação do tipo e modelo da parede, dá-se as coordenadas de dois vértices da mesma. Para a parede em forma de "C" lêem-se os vértices opostos à abertura e no sentido anti-horário.

Vértices				Coordenadas	
1	1	2	1	(1,1)	e (2,1)

Entra-se com valor da dimensão do segmento da abertura para a parede em "C" e denominado de c ω , em formato E10.4.

C ω

0.4500E+01

Em seguida entra-se com as coordenadas do nó inicial da abertura e, também, com o número que define o lintel na direção X, LINT_x, ou na direção Y, LINT_y, em formato I2. Esse número é igual ao número total de nós de vérti

ces das paredes contidas no arranjo estrutural, para este exemplo tem-se $LINT_x$, ou $LINT_y$ caso o lintel esteja na direção Y, igual a 4. Portanto:

IL	JL	$LINT_x$	$LINT_y$
1	2	4	0

Tem-se a seguir os dados sobre o lintel, no caso de haver viga interna, da espessura t_ω da parede e os dados das forças horizontais F_x , F_y e M_z e sobre o carregamento vertical, NNCA, NVCX e NVCY. Tudo referido ao andar do topo, como segue:

IFV_x	ITV_x		
0.2812500E+00	0.1956379E+00	(C/ lintel)	
	t_ω		
	0.1000E+01		
F_x	F_y	M_z	
0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.1557650E+06	
	NNCA	NVCX	NVCY
	0	0	0

Do 14º andar até o 1º andar os dados são idênticos entre si e com o índice de pavimento tipo, IPVT, dado como nulo ou diferente de zero. Assim:

	IPVT		
	0		
IFV_x	ITV_x		
0.2812500E+00	0.1956379E+00	(C/ lintel)	
	t_ω		
	0.1000E+01		
F_x	F_y	M_z	
0.0000000E+00	0.0000000E+00	3.1153125E+05	
	NNCA	NVCX	NVCY
	0	0	0

Após se ter lido os dados do 1º andar entra-se com os índices de saída para vigas, ISV, pilares, ISP, e paredes, IS ω , em formato I2. Neste exemplo faz-se:

ISV	ISP	IS ω
1	0	1

ENTRADA DE DADOS PARA O EXEMPLO 4:

Para o exemplo 4 o número de vãos na direção X, NVX, é igual a 3 e o número de vãos na direção Y, NVY, é igual a 4, modulando assim a parede ao último vão de 3,5m na direção Y. O número de andares, NA, é igual a 15 e $N\omega$, número de paredes, igual a 1, todos em formato I2. Os módulos de elasticidade longitudinal, E, e transversal, G, são dados em formato E10.4. Assim na primeira linha de entrada de dados tem-se:

NVX	NVY	NA	$N\omega$	E	G
3	4	15	1	2.0000E+06	0.8000E+06

Na seqüência entra-se com os valores do comprimento dos vãos na direção X, L_x , em seguida na direção Y, L_y , ambos em formato E10.4.

L_x
0.7000E+01
0.7000E+01
0.7000E+01

L_y
0.7000E+01
0.7000E+01
0.3500E+01
0.3500E+01

A altura dos andares, HA, é lida na entrada de dados a partir do andar do topo e no formato E10.4.

HA
15 vezes { 0.3300E+01
 .
 .
 .
 0.3300E+01

A seguir entra-se com o número de nós a omitir, NNO, em formato I2. Entrando-se com 4 vãos na direção Y há 4 nós a omitir, definidos pelas coordenadas (3,4), (3,5), (4,4) e (4,5).

NNO

4

I J

3 4

3 5

4 4

4 5

Entra-se, em seguida, com os dados sobre a existência de vigas nas direções X, IVX, e Y, IVY, em formato I2. O valor 1 significa a existência e zero a não existência. Assim:

IVX	IVY	Coordenadas
1	1	(1,1)
1	1	(1,2)
1	0	(1,3)
0	0	(1,4)
0	0	(1,5)
1	1	(2,1)
1	1	(2,2)
1	0	(2,3)
0	0	(2,4)
0	0	(2,5)
1	1	(3,1)
1	1	(3,2)
1	0	(3,3)
0	0	(3,4)
0	0	(3,5)

IVX	IVY	Coordenadas
0	1	(4,1)
0	1	(4,2)
0	0	(4,3)
0	0	(4,4)
0	0	(4,5)

A parede foi modulada ao arranjo e, portanto, o valor de $MOD\omega$ é diferente de zero.

$MOD\omega$

1

A parede é de secção aberta e, sendo assim, é da da como do TIPO igual a 2.

TIPO

2

A forma da parede de secção aberta é a da letra "U" e portanto tem-se:

$M\omega$

1

Na seqüência entra-se com as coordenadas dos dois vértices da parede opostos à abertura, sendo lidos no sentido anti-horário.

		Coordenadas			
2	5	1	5	(2,5)	(1,5)

Entra-se com os valores de inércias das vigas na direção X, IFV_x e ITV_x , e na direção Y, IFV_y e ITV_y , todos em formato E14.7

$$\begin{array}{c}
 \text{9 vezes} \left\{ \begin{array}{cc}
 \text{IFV}_x & \text{ITV}_x \\
 0.0151815\text{E}+00 & 3.8675945\text{E}-03 \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 0.0151815\text{E}+00 & 3.8675945\text{E}-03
 \end{array} \right. \\
 \\
 \text{8 vezes} \left\{ \begin{array}{cc}
 \text{IFV}_y & \text{ITV}_y \\
 0.0151815\text{E}+00 & 3.8675945\text{E}-03 \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 0.0151815\text{E}+00 & 3.8675945\text{E}-03
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Para os pilares entra-se com as inércias a flexão na direção X, IPX, na direção Y, IPY, com a inércia a torção, ITP, e a área da secção transversal, AP, em formato E14.7.

$$\begin{array}{c}
 \text{12 vezes} \left\{ \begin{array}{cccc}
 \text{IPX} & \text{IPY} & \text{ITP} & \text{AP} \\
 2.1333333\text{E}-03 & 2.1333333\text{E}-03 & 3.6053333\text{E}-03 & 0.1600000\text{E}+00 \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 2.1333333\text{E}-03 & 2.1333333\text{E}-03 & 3.6053333\text{E}-03 & 0.1600000\text{E}+00
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

A seguir dá-se o valor da espessura da parede, t_ω , em formato E10.4.

$$\begin{array}{c}
 t_\omega \\
 0.2500\text{E}+00
 \end{array}$$

As forças horizontais são lidas para o andar do topo na seqüência, F_x , força segundo o eixo X, F_y , força segundo o eixo Y, e M_z , momento resultante em torno do eixo Z, em formato E14.7.

$$\begin{array}{ccc}
 F_x & F_y & M_z \\
 0.0000000\text{E}+00 & 3.4650000\text{E}+00 & 3.6382500\text{E}+01
 \end{array}$$

Entra-se em seguida com os dados sobre as cargas verticais, sendo NNCA o número de nós carregados no andar, NVCX o número de vãos carregados na direção X e NVCY o número de vãos carregados na direção Y, todos em formato I3.

NNCA	NVCX	NVCY
0	0	0

Vê-se que todos os andares são pavimento tipo e, portanto, os dados sobre vigas e pilares são omitidos do 14º andar ao 1º andar com o dado de IPVT, Índice de pavimento tipo, diferente de zero. Logo a entrada de dados para os outros andares, até o 1º andar, é dada como segue:

IPVT		
1		
t_{ω}		
0.2500E+00		
F_x	F_y	M_z
0.0000000E+00	6.9300000E+00	7.2765000E+01
NNCA	NVCX	NVCY
0	0	0

Quando se entrar com os dados do 1º andar, último da sequência, entra-se com os dados dos índices de saída de dados para vigas, ISV, pilares, ISP, e paredes, IS ω , em formato I2. Caso se entre com o valor zero em um dos índices de saída, implica que os resultados referentes ao mesmo não serão impressos.

IMPRESSÃO DE SAÍDA DE RESULTADOS DO EXEMPLO 4:

Estes valores se referem a análise sem a interação PÓRTICO-PAREDE.

NUMERO DE VAOS X NUMERO DE VAOS Y NUMERO DE ANDARES NUMERO DE PAREDES
NVX = 3 NVY = 4 NNA = 15 NN = 1

MODULO DE ELASTICIDADE LONGITUDINAL MODULO DE ELASTICIDADE TRANSVERSAL
E = 0.2000000E+07 G = 0.3000000E+06

ALTURA DOS ANDARES
DO ANCAR DO TUPU AO ANDAR DA BASE

- HA(15)=0.3300000E+01
- HA(14)=0.3300000E+01
- HA(13)=0.3300000E+01
- HA(12)=0.3300000E+01
- HA(11)=0.3300000E+01
- HA(10)=0.3300000E+01
- HA(9)=0.3300000E+01
- HA(8)=0.3300000E+01
- HA(7)=0.3300000E+01
- HA(6)=0.3300000E+01
- HA(5)=0.3300000E+01
- HA(4)=0.3300000E+01
- HA(3)=0.3300000E+01
- HA(2)=0.3300000E+01
- HA(1)=0.3300000E+01

DESLOCAMENTOS DE CORPO RIGIDO AO NIVEL DOS ANDARES

ANDAR 15

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(11)= 0.1175541E-01	D(12)= 0.4211404E-01	D(13)= 0.6173745E-03

ANDAR 14

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(14)= 0.1227398E-01	D(15)= 0.3927214E-01	D(16)= 0.6334415E-03

ANDAR 13

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(17)= 0.1265063E-01	D(18)= 0.3636706E-01	D(19)= 0.6437930E-03

ANDAR 12

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(10)= 0.1234001E-01	D(11)= 0.3336652E-01	D(12)= 0.6526973E-03

ANDAR 11

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(13)= 0.1266012E-01	D(14)= 0.3025341E-01	D(15)= 0.6490723E-03

ANDAR 10

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(16)= 0.1279700E-01	D(17)= 0.2701575E-01	D(18)= 0.6349919E-03

ANDAR 9

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(19)= 0.1236980E-01	D(20)= 0.2366668E-01	D(21)= 0.6133799E-03

ANDAR 8

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(22)= 0.1184395E-01	D(23)= 0.2023492E-01	D(24)= 0.5829384E-03

ANDAR 7

TRANSLACAO NO EIXO X	TRANSLACAO NO EIXO Y	ROTACAO NO EIXO Z
D(25)= 0.1111649E-01	D(26)= 0.1676781E-01	D(27)= 0.5431163E-03

ANDAR 6

TRANSLACAO NO EIXO X TRANSLACAO NO EIXO Y ROTACAO NO EIXO Z
 D(28)= 0.1017155E-01 D(29)= 0.1333176E-01 D(30)= 0.4930360E-03

ANDAR 5

TRANSLACAO NO EIXO X TRANSLACAO NO EIXO Y ROTACAO NO EIXO Z
 D(31)= 0.3974939E-02 D(32)= 0.1001646E-01 D(33)= 0.4317421E-03

ANDAR 4

TRANSLACAO NO EIXO X TRANSLACAO NO EIXO Y ROTACAO NO EIXO Z
 D(34)= 0.7494201E-02 D(35)= 0.6935593E-02 D(36)= 0.3577345E-03

ANDAR 3

TRANSLACAO NO EIXO X TRANSLACAO NO EIXO Y ROTACAO NO EIXO Z
 D(37)= 0.5696087E-02 D(38)= 0.4230509E-02 D(39)= 0.2696356E-03

ANDAR 2

TRANSLACAO NO EIXO X TRANSLACAO NO EIXO Y ROTACAO NO EIXO Z
 D(40)= 0.3533976E-02 D(41)= 0.2069218E-02 D(42)= 0.1635739E-03

ANDAR 1

TRANSLACAO NO EIXO X TRANSLACAO NO EIXO Y ROTACAO NO EIXO Z
 D(43)= 0.1044017E-02 D(44)= 0.6293333E-03 D(45)= 0.6000134E-04

PAREDE 1

COORDENADA X DO CENTRO DE CISCALHAMENTO COORDENADA Y DO CENTRO DE CISCALHAMENTO
 XCCW(1) = 0.3500000E+01 YCCW(1) = 0.2231250E+02

DIMENSAO ALTURA DIMENSAO BASE AREA DA SECCAO ESPESSURA
 Hw(1)=0.7000E+01 Bw(1)=0.3500E+01 Aw(1)=0.3500E+01 Tw(1)=0.2500E+01

FATOR DE FLEXIBILIDADE AO CISCALHAMENTO X FATOR DE FLEXIBILIDADE AO CISCALHAMENTO Y
 GX(1)= 0.5293580E+02 GY(1)= 0.6271220E+01

CENTRO DE GRAVIDADE DA PAREDE CENTRO DE CISCALHAMENTO DA PAREDE
 CGW(1)= 0.3750000E+00 CCW(1)= 0.1311500E+01

INERCIA A FLEXAO EM X INERCIA A FLEXAO EM Y INERCIA A TORCAO INERCIA SETORIAL
 XIw(1)= 0.4465146E+01 YIw(1)= 0.2858333E+02 JI(1)= 0.72517E-01 Jw(1)= 0.39297E+02

Mostra-se nesta parte a impressão dos resultados de saída de esforços nos pilares e na parede ao nível do 8º (oitavo) andar.

ANDAR 8

PILAR(1, 1)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.3703717E+01	ESFP(2) = -0.9230128E+00	ESFP(3) = 0.1148809E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.3375352E+00	ESFP(5) = 0.2252009E+01	ESFP(6) = 0.3430534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.3727907E+01	ESFP(8) = -0.1508522E+00	ESFP(9) = -0.1146309E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.3375352E+00	ESFP(11) = -0.2252009E+01	ESFP(12) = -0.3430534E-01

PILAR(2, 1)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.4088722E+01	ESFP(2) = -0.1370020E+01	ESFP(3) = 0.1251467E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.3204584E+00	ESFP(5) = 0.2478611E+01	ESFP(6) = 0.3430534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.4090689E+01	ESFP(8) = -0.1337491E+01	ESFP(9) = -0.1251467E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.3204584E+00	ESFP(11) = -0.2478611E+01	ESFP(12) = -0.3430534E-01

PILAR(3, 1)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.4420963E+01	ESFP(2) = -0.1370020E+01	ESFP(3) = 0.1130957E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.3204534E+00	ESFP(5) = 0.2672760E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.4389135E+01	ESFP(8) = -0.1227491E+01	ESFP(9) = -0.1130957E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.3204534E+00	ESFP(11) = -0.2672760E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR(4, 1)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.4803968E+01	ESFP(2) = -0.9230128E+00	ESFP(3) = 0.1235614E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.5375352E+00	ESFP(5) = 0.2855362E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.4761921E+01	ESFP(8) = -0.8506522E+00	ESFP(9) = -0.1235614E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.5375352E+00	ESFP(11) = -0.2855362E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR(1, 2)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.5447467E+01	ESFP(2) = -0.5366703E+00	ESFP(3) = -0.3914822E+00
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.3103430E+00	ESFP(5) = 0.3312940E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.5485230E+01	ESFP(8) = -0.4374608E+00	ESFP(9) = 0.3914822E+00
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.3103430E+00	ESFP(11) = -0.3312940E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR (2, 2)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.5957010E+01	ESFP(2) = -0.7976787E+00	ESFP(3) = 0.4196167E+00
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.4767516E+00	ESFP(5) = 0.3443598E+01	ESFP(6) = 0.3400534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.6026856E+01	ESFP(8) = -0.7756007E+00	ESFP(9) = -0.4196167E+00
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.4767516E+00	ESFP(11) = -0.3443598E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR (3, 2)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.5473453E+01	ESFP(2) = -0.7976787E+00	ESFP(3) = -0.4196167E+00
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.4767516E+00	ESFP(5) = 0.3929387E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.5453517E+01	ESFP(8) = -0.7756007E+00	ESFP(9) = 0.4196167E+00
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.4767516E+00	ESFP(11) = -0.3929387E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR (4, 2)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.7022995E+01	ESFP(2) = -0.9366703E+00	ESFP(3) = 0.3914822E+00
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.3103430E+00	ESFP(5) = 0.4260044E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.7035143E+01	ESFP(8) = -0.4874603E+00	ESFP(9) = -0.3914822E+00
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.3103430E+00	ESFP(11) = -0.4260044E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR(1, 3)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.3703717E+01	ESFP(2) = -0.1503279E+00	ESFP(3) = -0.1225106E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.8315076E-01	ESFP(5) = 0.2252009E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.3727907E+01	ESFP(8) = -0.1240694E+00	ESFP(9) = 0.1225106E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.8315076E-01	ESFP(11) = -0.2252009E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR(2, 3)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.4089722E+01	ESFP(2) = -0.2253372E+00	ESFP(3) = -0.1167543E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.1330447E+00	ESFP(5) = 0.2478611E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.4090689E+01	ESFP(8) = -0.2127102E+00	ESFP(9) = 0.1167543E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.1330447E+00	ESFP(11) = -0.2478611E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR(3, 3)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.4420963E+01	ESFP(2) = -0.2253372E+00	ESFP(3) = -0.1214881E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.1330447E+00	ESFP(5) = 0.2672760E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.4399137E+01	ESFP(8) = -0.2137102E+00	ESFP(9) = 0.1214881E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.1330447E+00	ESFP(11) = -0.2672760E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PILAR (4, 3)

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(1) = 0.4805968E+01	ESFP(2) = -0.1503279E+00	ESFP(3) = -0.1157318E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(4) = 0.8319076E-01	ESFP(5) = 0.2859362E+01	ESFP(6) = 0.3480534E-01

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL
ESFP(7) = 0.4761921E+01	ESFP(8) = -0.1240694E+00	ESFP(9) = 0.1157318E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR
ESFP(10) = -0.8319076E-01	ESFP(11) = -0.2859362E+01	ESFP(12) = -0.3480534E-01

PAREDE 1

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 8

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL	BIMOMENTO
ESFW(1) = 0.4781933E+02	ESFW(2) = 0.2385772E+02	ESFW(3) = -0.2625008E-12	ESFW(4) = 0.6570102E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR	
ESFW(5) = -0.4722567E+01	ESFW(6) = 0.1622355E+02	ESFW(7) = -0.1050637E+01	

ESFORÇOS NO EXTREMO DO ANDAR 7

MOMENTO FLETOR EM X	MOMENTO FLETOR EM Y	ESFORÇO NORMAL	BIMOMENTO
ESFW(8) = 0.5723629E+01	ESFW(9) = -0.8273288E+01	ESFW(10) = 0.2629008E-12	ESFW(11) = -0.7149107E+02
ESFORÇO CORTANTE X	ESFORÇO CORTANTE Y	MOMENTO TORÇOR	
ESFW(12) = 0.4722567E+01	ESFW(13) = -0.1622355E+02	ESFW(14) = 0.1050637E+01	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - VLASSOV, B.Z. Pièces longues en voiles minces. Paris, Eyrolles, 1962. P. 23-36.
- 02 - LANGENDONCK, T.V. Torção de peças de secção delgada. Revista Estrutura, (13): 49-73, 1959.
- 03 - RACHID, M. Instabilidade de barras de secção delgada. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1975. P. 93-111. (Tese de Doutorado).
- 04 - TIMOSHENKO, S.P. & GERE, J.M. Theory of elastic stability. New York, McGraw-Hill, 1961. P. 212-250.
- 05 - TIMOSHENKO, S.P. & GOODIER, J.N. Teoria da elasticidade. (Theory of elasticity). Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980. P. 5-10.
- 06 - WEAVER, W. & GERE, J.M. Analysis of framed structures. New York, Van Nostrand, 1965. 475 p.
- 07 - BARBOSA, J.A. Edifícios com paredes de secção aberta contraventadas por lintéis, sob carga lateral. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1977. P. III.1-III.101. (Dissertação de Mestrado).
- 08 - MANNING JR, T.A. The analysis of tier buildings with shear walls. Department of Civil Engineering, Stanford University, 1970. 217 p. (Ph.D. Thesis).
- 09 - FAKURY, R.H. Comportamento das estruturas tubulares de edifícios altos sob carregamento lateral. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1986. 231 P. (Dissertação de Mestrado).
- 10 - STAMATO, M.C. Associação contínua de painéis de contraventamento. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1980. P. 48-60.

- 11 - STAMATO, M.C. Torção de estruturas de edifícios elevados. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1971. P. 1-76.
- 12 - ALBRECHT, P. Análise numérica: um curso moderno. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1973. P. 58-61. (Série ciência de computação).

BIBLIOGRAFIA

- 01 - ALBRECHT, P. Análise numérica: um curso moderno. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1973. P. 58-61. (Série ciência de computação).
- 02 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças devidas ao vento em edificações: NBR-6123. Rio de Janeiro, ABNT, 1978. 62 p.
- 03 - BARBOSA, J.A. Edifícios com paredes de secção aberta contraventadas por lintéis, sob carga lateral. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1977. P. III.1 - III.101. (Dissertação de Mestrado).
- 04 - BLESSMANN, J. Pressão interna. Porto Alegre, Edições URGs, 1981. 61 p. (Série Engenharia Estrutural, 5).
- 05 - BORGES, J.F. & RAVARA, A. Estudo do comportamento de estruturas de edifícios elevados sob ação de forças horizontais. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2., Rio de Janeiro - São Paulo, agosto 1977. 30 p.
- 06 - COSTA, J.L. Núcleos estruturais sobre fundações flexíveis. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1984. P. 70-187. (Dissertação de Mestrado).
- 07 - FAKURY, R.H. Comportamento das estruturas tubulares de edifícios altos sob carregamento lateral. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1986. 231 p. (Dissertação de Mestrado).
- 08 - FERREIRA, L.F.O. Associação plana de pórticos com pilares paredes. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1975. P. 2-1 - 2-74. (Dissertação de Mestrado).

- 09 - HEIDEBRECHT, A.C. & SWIFT, R.D. Analysis of asymmetrical coupled shear walls. Journal of the Structural Division, ASCE, 97 (5): 1407 - 1422, 1971.
- 10 - HEHL, M.E. Linguagem de programação estruturada Fortran 77. São Paulo, McGraw-Hill, 1986. 511 p.
- 11 - LANGENDONCK, T.V. Torção de peças de secção delgada. Revista Estrutura, (13): 49-73, 1959.
- 12 - MANNING JR., T.A. The Analysis of tier buildings with shear walls. Department of Civil Engineering, Stanford University, 1970. 217 p. (Ph.D. Thesis).
- 13 - MOREIRA, D.F. Análise matricial das estruturas. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1977. 390p.
- 14 - RACHID, M. Instabilidade de barras de secção delgada. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1975. P. 93-111. (Tese de Doutorado).
- 15 - SORIANO, H.L. Sistemas de equações algébricas lineares em problemas estruturais. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1981. P. 2-1 - 2-43, 3-1 - 3-16, 4-1 - 4-11.
- 16 - STAMATO, M.C. Associação contínua de painéis de contraventamento. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1980. P. 48-60.
- 17 - STAMATO, M.C. Torção de estruturas de edifícios elevados. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1971. P. 1-76.
- 18 - STAMATO, M.C. Distribuição das cargas do vento entre os painéis de contraventamento. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1978. 30 p.
- 19 - TIMOSHENKO, S.P. & GERE, J.M. Theory of elastic stability. New York, McGraw-Hill, 1961. P. 212-250.
- 20 - TIMOSHENKO, S.P. & GOODIER, J.N. Teoria da elasticidade. (Theory of Elasticity). Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980. P. 5-10.

- 21 - TIMOSHENKO, S.P. Resistência dos Materiais. (Strength of Materials). Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1980. P. 57-86.
- 22 - VLASSOV, B.Z. Pièces longues en voiles minces. Paris, Eyrolles, 1962. P. 23-36.
- 23 - WEAVER, W. & GERE, J.M. Analysis of framed structures. New York, Van Nostrand, 1955. 475 p.