

**ANÁLISE TRIDIMENSIONAL E ENVOLTÓRIA
DE ESFORÇOS EM EDIFÍCIOS ALTOS
SUJEITOS A AÇÕES VERTICAIS E LATERAIS**

**AUTOR: ENG. BENIGNO MARCELO CARDOSO RIOS
ORIENTADORA: PROF^ª DR^ª HELENA M. C. CARMO ANTUNES**

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

ANÁLISE TRIDIMENSIONAL E ENVOLTÓRIA
DE ESFORÇOS EM EDIFÍCIOS ALTOS
SUJEITOS A AÇÕES VERTICAIS E LATERAIS

ENG. BENIGNO MARCELO CARDOSO RIOS

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

ORIENTADORA:
PROF^ª DR^ª HELENA M. C. CARMO ANTUNES

SÃO CARLOS-SP, JANEIRO DE 1991

À minha esposa Patrícia
e à minha mãe Valda.

AGRADECIMENTOS

à Profª Drª Helena M. C. Carmo Antunes que, com sua orientação segura e precisa, sua experiência e capacidade, tornou possível a realização deste trabalho;

à minha esposa, Patrícia, que em todos os momentos esteve presente com sua ajuda e dedicação, contribuindo nas diversas etapas deste trabalho;

ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsa de estudos, condição necessária para a realização deste trabalho;

ao Profª Moacyr Schwab de Souza Menezes pela revisão cuidadosa do texto;

a Francisco Carlos de Brito pelo capricho e presteza na confecção dos desenhos, e demais funcionários do Departamento de Estruturas da EESC que, de uma forma ou de outra, contribuíram neste trabalho;

ao Profª Norberto Costardi pela boa vontade e ajuda no ramo da informática;

ao Profª José Roberto L. de Andrade pelos exemplos e opiniões práticas.

RESUMO

A finalidade deste trabalho é mostrar o cálculo de deslocamentos e envoltória de esforços em estruturas tridimensionais de edifícios altos.

No capítulo 2, o cálculo dos esforços é feito utilizando-se a técnica da subestruturação em série, onde cada pavimento representa uma subestrutura tridimensional. Cada pilar ou tramo de viga do pavimento contribui com sua rigidez, independentemente de qualquer associação em painel. São previstos pilares e vigas de seções quaisquer, bem como excentricidades dessas vigas em relação aos pilares.

As lajes funcionam como diafragmas nos níveis dos andares, transmitindo as forças aos pilares e compatibilizando os deslocamentos nelas contidos.

O cálculo da envoltória, apresentado no capítulo 3, é feito para os coeficientes previstos na NBR-8681, para diversos carregamentos acidentais combinados às diversas hipóteses de carga do vento. Da envoltória de esforços nas vigas resulta um gráfico de momentos e cortantes máximos e mínimos para facilitar o dimensionamento.

As informações necessárias para a utilização do programa de computador, bem como o fluxo de dados, encontram-se no capítulo 4.

São apresentados alguns exemplos para comprovar a validade do processo e demonstrar a potencialidade do mesmo nas aplicações práticas.

ABSTRACT

The aim of this work is to show a method of calculation of the displacements and the internal forces envelope for tridimensional structures of high buildings.

In Chapter 2, the procedure for calculation of the internal forces is presented; in it, it is assumed that each floor represents a tridimensional substructure and a technique of serial calculations is applied. Each column or beam of the floor contributes with its rigidity, independently of any panel association. Columns and beams may have any geometric section and the excentricity of these beams in relation to the columns may also be of any possible value. The Slabs act as diaphragms at the level of each floor, transmitting the forces to the columns, and so the horizontal displacements are made compatible.

The computation of the envelope, presented in chapter 3, is made for the coefficients recommended by NBR-8681, for several accidental loadings combined to different wind loading conditions. A graphic of maximum and minimum moments and shear stresses results from the envelope of internal forces acting on the beams and facilitates the design.

The necessary information for use of the computer program is presented in chapter 4, together with the data flow.

Some examples are presented in order to confirm the validity of the process and to demonstrate its usefulness for practical purposes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS ALTOS	
2.1. Generalidades	7
2.2. Notação	9
2.3. Hipóteses	13
2.3.1. Lajes	13
2.3.2. Pilares	13
2.3.3. Vigas	13
2.3.4. Nós	14
2.3.5. Sistema estrutural	14
2.3.6. Cargas	15
2.4. Sistemas de referência	15
2.4.1. Sistema de referência para o sistema estrutural	15
2.4.2. Sistema de referência para os pilares	16
2.4.3. Sistema de referência para os nós de vigas	16
2.5. Deslocamentos	17
2.6. Matriz de rigidez das vigas	18
2.7. Matriz de rigidez dos pilares	23
2.8. Excentricidade pilar-pilar	35
2.9. Montagem da matriz global	37
2.9.1. Vigas	40
2.9.2. Pilares	40
2.9.3. Sistematização no cálculo da rigidez	42
2.10. Carregamentos básicos	44
2.10.1. Forças horizontais	45
2.10.2. Forças verticais	46
2.11. Vetor de carga da viga	48
2.12. Eliminação em série	50
2.13. Cálculo dos esforços	54

3. ENVOLTÓRIA DE ESFORÇOS	
3.1. Generalidades	56
3.2. Definições	57
3.2.1. Estado limite último	57
3.2.2. Ações permanentes	57
3.2.3. Ações variáveis	57
3.2.4. Valores característicos	58
3.2.5. Valores característicos nominais	58
3.2.6. Valores reduzidos de combinação	59
3.2.7. Valores de cálculo das ações .	59
3.2.8. Ações	60
3.2.9. Carregamentos	60
3.3. Combinações últimas normais	61
3.4. Coeficientes de ponderação	62
3.4.1. Ações permanentes	62
3.4.2. Ações variáveis	64
3.4.3. Valores dos fatores de combinação	64
3.5. Análise das combinações	65
3.6. Exemplo	67
3.6.1. Dados	67
3.6.2. Cálculos Preliminares	67
3.6.3. Reações de apoio das lajes ...	69
3.6.4. Ações nas extremidades das vigas	69
3.6.5. Resultados	76
4. PROGRAMAS PARA SISTEMATIZAÇÃO DO CÁLCULO	
4.1. Generalidades	86
4.2. Entrada de dados	88
4.2.1. ENTPAV	89
4.2.2. ENTGERAL	91
4.2.3. ENTENVOL	92
4.3. Ação do vento	93
4.4. Resolução dos esforços	93
4.4.1. ANATRI	94

4.5. Envoltória	96
4.6. Desenhos	96
4.6.1. DESENPAV	96
4.6.2. GRAFVIGA	96
5. EXEMPLOS	
5.1. EXEMPLO 1	107
5.2. EXEMPLO 2	127
5.3. EXEMPLO 3	169
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	212
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	215
BIBLIOGRAFIA	217
Apêndice A - CÁLCULO DAS FORÇAS DEVIDAS À AÇÃO ESTÁTICA DO VENTO	220
Apêndice B - REAÇÕES DE APOIO DAS LAJES	239

1. INTRODUÇÃO

A escassez de terrenos nos grandes centros urbanos e a super-valorização dos mesmos vem fazendo com que a ocupação, por metro quadrado, seja cada vez maior, aumentando o número de edifícios esbeltos e, conseqüentemente, obrigando o projetista a levar em conta as forças horizontais provenientes da ação do vento.

Os edifícios residenciais de alto luxo têm, quase sempre, apenas um apartamento por andar, o que provoca a assimetria na estrutura, fazendo com que os modelos simplificados não mais sejam adequados. Por outro lado, as técnicas empregadas vêm evoluindo de maneira a tornar o modelo o mais fiel possível à situação real.

Edifícios muito baixos, estruturas mais simples, podem até ser tratados como compostos de vigas, pilares e lajes, isoladamente, sem a interação tridimensional de esforços. Outros, um pouco mais complexos, admitem o cálculo do conjunto de vigas do pavimento como grelha. O caso mais geral, porém, deve ser tratado como estrutura tridimensional; para tal, algumas técnicas matriciais são empregadas com o intuito de conseguir resolver o problema em computadores.

Os programas usuais para o cálculo de pórtico espacial consideram seis coordenadas deslocamentos (três translações e três rotações) em cada nó. Isto faz com que o sistema de equações resultante seja muito grande, o que aumenta bastante o tempo de processamento além de não

traduzir a realidade do comportamento da estrutura, uma vez que a laje, com sua imensa rigidez no seu plano, compatibiliza os deslocamentos nela contidos (rotação em torno do eixo vertical e duas translações contidas no plano da mesma). Com esta simplificação, o número de incógnitas reduz-se a quase metade.

As técnicas de subestruturação são empregadas para tornar os sistemas computacionais capazes de resolver estruturas maiores, mesmo que aumentem um pouco o tempo de processamento devido ao uso de memória auxiliar externa ao computador. Os micros mais modernos já possuem disco rígido de acesso rápido, que atenua esse problema.

BORGES & RAVARA⁽⁰¹⁾ fizeram a associação tridimensional de painéis planos. Esses painéis eram estruturas planas verticais, classificadas em: a) painéis aperticados; b) painéis do tipo parede; c) painéis mistos. Nesse trabalho, foi notada a importância da consideração da rigidez infinita da laje no seu plano. SORIANO⁽⁰²⁾, em 1971, estudou a associação tridimensional de pórticos ortogonais desprezando as interações nas interseções dos mesmos. O estudo da compatibilização dos deslocamentos verticais, nas interseções, foi feito por FERREIRA⁽⁰³⁾. PRUDENTE⁽⁰⁴⁾ analisou a associação de painéis sob carregamento lateral e vertical.

Paralelamente ao estudo da associação tridimensional de painéis planos, alguns autores, como FONTE⁽⁰⁵⁾, CAMARA⁽⁰⁶⁾ e RIBEIRO⁽⁰⁷⁾, dividiam a estrutura em pavimentos, sem observar a formação desses painéis. Nesse modelo, cada barra, viga ou pilar, contribui com sua rigidez no andar. O sistema estrutural constitui, portanto, um pórtico tridimensional com deslocamentos horizontais únicos em cada laje. FONTE⁽⁰⁵⁾ sistematizou esse cálculo em programa para computador, porém, para um número reduzido de nós. CAMARA⁽⁰⁶⁾ previu excentricidades

entre os elementos e esses nós. RIBEIRO^[07] admitiu vigas apenas em duas direções ortogonais além de considerar núcleos estruturais.

Recentemente, SILVA^[08], no estudo do efeito P- Δ , analisou a estrutura com associação tridimensional de painéis ortogonais, uma vez que foi prevista a interação vertical nas interseções, mas não tratou das interações de rotações nesses pontos.

O pórtico espacial, com as lajes funcionando como diafragma rígido, representa melhor o comportamento do edifício, uma vez que todas as interações de deslocamentos verticais e rotações são previstas em todos os pontos nodais. A divisão da estrutura em pavimentos permite o emprego da técnica de subestruturação em série.

Neste trabalho, é utilizada essa técnica de subestruturação, mostrada no capítulo 2, juntamente com o processo dos deslocamentos. Foi elaborado um programa para a sistematização do cálculo em micro computadores PC-XT e seus compatíveis, onde é possível admitir-se pilares de seção circular ou poligonal qualquer, e vigas de seção poligonal simétrica em relação ao eixo vertical, assim como excentricidades das extremidades das vigas em relação aos pilares, reduções excêntricas de pilares, encontro de vigas sem coincidência com pilar, enfim, uma série de situações comuns nos projetos, hoje cada vez mais sofisticados, como mostra a planta da Fig. 1.1.

A NBR-8681^[10], do que trata o estado limite último para verificação de segurança, prevê várias situações de cálculo, envolvendo cargas permanentes, cargas acidentais e ação do vento. A combinação de esforços e coeficientes produz dezenas ou até centenas de verificações numa dada seção da peça. De fato, seria quase que humanamente impossível calcular uma estrutura de

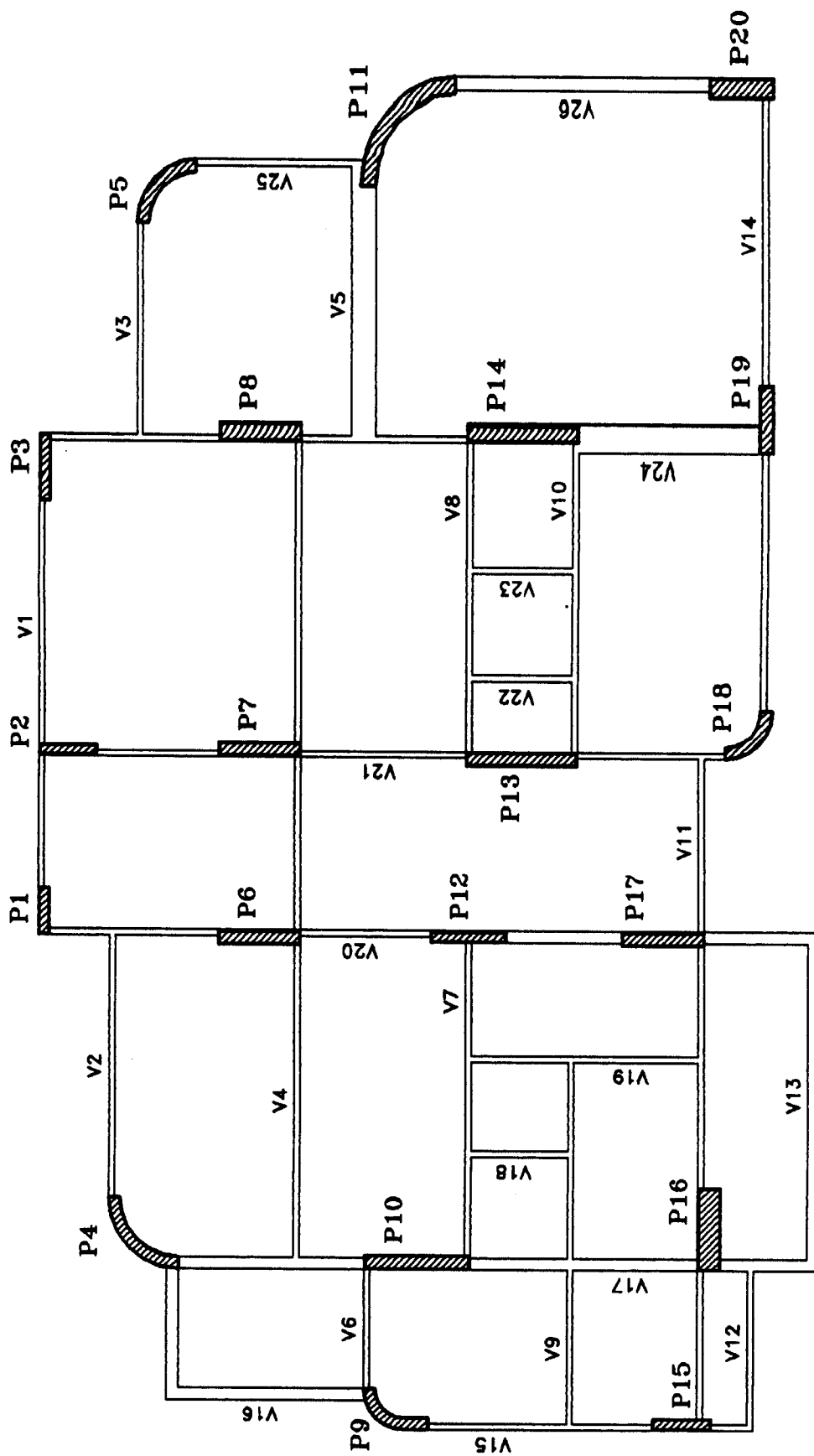


Fig. 1.1 - Planta de Forma

edifício alto, sem a ajuda do computador, observando as imposições da Norma. No capítulo 3, são apresentados alguns comentários e definições com base na NBR-8681, bem como uma sistemática de cálculo para verificação de esforços máximos e mínimos. No programa desenvolvido, a envoltória desses esforços pode ser calculada para um pavimento ou para um grupo de pavimentos iguais, nos quais pretende-se fazer um detalhamento único das vigas. Desse modo, o programa cria um arquivo de saída, contendo os valores dos esforços em diversos pontos da viga, ou desenha um gráfico em escala previamente escolhida.

Pensando na utilização futura do programa desenvolvido, foram preparados outros programas auxiliares, para facilitar o fluxo de dados, bem como torná-lo acessível ao engenheiro comum da área de projeto estrutural. A entrada de dados é feita de maneira interativa, através de quadros e tabelas na tela, onde o usuário insere, altera, ou extrai dados e pode conferi-los, de maneira rápida, através de desenhos de planta de forma, detalhes de pilares etc; são também desenvolvidos programas para cálculo das ações do vento segundo a NBR-6123⁽⁰⁹⁾, para resolução da envoltória de esforços, para desenho de planta de fôrma do pavimento e desenho de gráficos de momentos e esforços cortantes nas vigas, objetivando um dimensionamento e detalhamento futuros.

No capítulo 4, são descritos os programas que automatizam o cálculo e os procedimentos necessários para sua utilização.

No capítulo 5, são mostrados alguns exemplos que ajudam a comprovar os modelos adotados.

O apêndice A mostra o cálculo das ações do vento em edifícios, juntamente com um exemplo numérico. No apêndice B, faz-se um estudo das reações das lajes retangulares, nas vigas, através do método dos elementos finitos. Foi confeccionada uma tabela para cada um dos nove casos de vinculação e contendo relações entre os lados, que variam de 1 a 5. São apresentadas funções aproximadoras para essas reações, com erro percentual inferior a 1%, com a finalidade de distribuir melhor as cargas permanentes e acidentais das lajes do pavimento, sem, contudo, aumentar muito o tempo de processamento.

2. ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS ALTOS

2.1. GENERALIDADES

Basicamente, o que se pretende mostrar neste capítulo é uma sistemática de análise tridimensional de edifícios altos, respeitando hipóteses e considerações previamente adotadas, visando à utilização de micro computador.

Os edifícios, aqui tratados, são constituídos por vigas e pilares interligados, ao nível de cada andar, pela laje, unidos monoliticamente, sem a consideração de rigidez de vigas e pilares à torção.

Cada andar ou pavimento do edifício é constituído de uma laje plana, vigas nesse nível e pilares situados abaixo, fazendo a ligação com o pavimento inferior.

Os pavimentos podem ser diferentes entre si, por vários motivos, destacando-se: seções diferentes de vigas ou pilares, arrumação das vigas, excentricidades, interrupção de pilares em determinado pavimento etc.

As seções de viga podem ser poligonais e são simétricas em relação ao eixo vertical, enquanto que as dos pilares podem ser circulares ou poligonais.

São admitidas excentricidades das vigas em relação aos centros de gravidade dos pilares, bem como as excentricidades entre pilares de uma mesma prumada que,

porventura, tenham sido reduzidos fora do eixo, no pavimento superior, como é comum na prática, por imposições arquitetônicas.

As excentricidades "viga-pilar" permitem a consideração de um trecho rígido da viga. Permite-se também a consideração de pilares que não tenham os seus eixos principais de inércia coincidentes com as direções das vigas. Com isso, pode-se resolver os casos práticos onde as formas arquitetônicas impedem uma sistematização estrutural simplista de associação de painéis.

Será utilizado o processo dos deslocamentos, combinado às técnicas correntes da análise matricial de estruturas.

Serão mostrados os sistemas de referência em toda a estrutura, globais e locais, bem como os deslocamentos necessários para a determinação dos esforços.

A partir dos sistemas locais de referência, serão apresentadas as matrizes de rigidez das vigas e pilares e os vetores de carga. Posteriormente, mostrar-se-ão a transformação dessas matrizes em matrizes das coordenadas da estrutura e os espalhamentos na matriz de rigidez global.

Será mostrado também um "passo a passo" para a construção da rigidez dos andares, concomitantemente com o armazenamento em memória auxiliar no computador.

Uma vez construída a matriz rigidez global, será a vez dos vetores de carga referentes aos carregamentos básicos. Esses podem ser de três tipos:

- a) carga permanente da estrutura;
- b) ação do vento;
- c) cargas acidentais ou de uso.

Depois de construído o sistema de equações, com todos os deslocamentos incógnitos, será empregada a

técnica da eliminação em série, para resolver o problema. Com uma retro-substituição, serão encontrados os valores dos deslocamentos da estrutura. Este processo permite armazenar, em memória central, apenas as matrizes de rigidez e vetores de carga de dois andares consecutivos, possibilitando o emprego de micro computadores. Quando esses têm 640 kBytes de memória central, é possível, com o programa desenvolvido, resolver até sessenta e seis nós por pavimento, sem limitação no número de andares.

O cálculo dos esforços em cada barra (pilar ou viga) será feito pela multiplicação da sua matriz de rigidez pelos deslocamentos em coordenadas locais.

Os esforços encontrados neste capítulo não representam ainda o objetivo maior deste trabalho, uma vez que teremos esforços para cada carregamento básico em separado. Posteriormente (capítulo 3), será feita a combinação dos mesmos, de acordo com a norma de ações e segurança nas estruturas.

2.2. NOTAÇÃO

No decorrer deste capítulo, serão empregados os seguintes símbolos:

- X, Y e Z sistema de referência para o sistema estrutural
- x, y e z sistema de referência para um nó de pilar ou nó de viga
- u_k e v_k deslocamentos lineares da laje k nas direções de X e Y respectivamente
- w_j deslocamento linear do nó j na direção de z
- θ_{xj} e θ_{yj} rotações do nó j em torno de x e y

respectivamente

- θ_{zk} rotação da laje k em torno de Z
- N_n número de nós de viga do pavimento
- N_p número de pilares do pavimento
- N_a número de andares do edifício
- E módulo de deformação longitudinal
- G módulo de deformação transversal
- I_v momento de inércia de um trecho de viga
- l comprimento flexível de uma barra (pilar ou trecho de viga)
- e_{xve}, e_{yve} excentricidades de uma extremidade de viga em relação ao sistema de referência do nó à esquerda
- e_{xvd}, e_{yvd} excentricidades de uma extremidade de viga em relação ao sistema de referência do nó à direita
- α_{vi} ângulo formado entre o eixo do trecho de viga e o eixo x do sistema de referência do nó i
- $\{ u \}$ deslocamentos de um trecho de viga, em coordenadas locais
- $\{ U \}$ deslocamentos de um trecho de viga, em coordenadas globais
- $[\beta_v]$ matriz que relaciona os deslocamentos de um trecho de viga, em coordenadas locais, com os deslocamentos em coordenadas do sistema de referência dos nós de extremidade
- $[K_v]$ matriz de rigidez da viga, em coordenadas locais
- $[K_{vg}]$ matriz de rigidez da viga, em coordenadas

globais

- I_x, I_y inércias principais, em torno dos eixos x e y , respectivamente, de uma seção de pilar
- A_z área da seção transversal de um pilar
- X_{cg}, Y_{cg} coordenadas do centro de gravidade de uma seção de pilar, em relação aos eixos dados
- α_{pj} ângulo formado pelo eixo x do sistema de referência do pilar e o eixo X do sistema de referência global da estrutura
- $e_{x'e}, e_{y'e}$ excentricidades da extremidade da viga nas direções x e y em relação a um sistema de referência dado para o pilar
- d_x distância do eixo x de um pilar à origem do sistema de referência global da estrutura (considerando o sinal)
- d_y distância do eixo y de um pilar à origem do sistema de referência global da estrutura (considerando o sinal)
- $[K_p]$ matriz de rigidez do pilar, em coordenadas locais
- $[K_{pg}]$ matriz de rigidez do pilar, em coordenadas globais
- $[K_{pe}]$ matriz de rigidez do pilar, com excentricidade na extremidade inferior, em coordenadas globais
- $[\beta_p]$ matriz que relaciona os deslocamentos em coordenadas locais com os deslocamentos em coordenadas globais, de um pilar
- $[\beta_e]$ matriz que transforma os deslocamentos da extremidade inferior de um pilar, para os eixos do pilar inferior, quando existe

excentricidade pilar-pilar

- $[R]_{k,k}$ matriz de rigidez de um pavimento k
- F_{xk} força do vento na laje k decomposta na direção X
- F_{yk} força do vento na laje k decomposta na direção Y
- M_{zk} momento provocado pela força do vento na origem do sistema global na laje k
- a distância da linha de ação, da força do vento, à origem do sistema global
- V_e, V_d cortantes à esquerda e à direita, respectivamente, de um trecho de viga devidas às ações verticais nele aplicadas
- M_e, M_d momentos à esquerda e à direita, respectivamente, de um trecho de viga devidos às ações verticais nele aplicadas
- P_i carga concentrada em um trecho de viga
- a_i distância da carga P_i à extremidade esquerda do trecho
- P carga distribuída uniforme, em um trecho de viga
- $\{ f \}$ ações nas extremidades de uma viga, devidas a um carregamento vertical, em coordenadas locais
- $\{ F \}$ ações nas extremidades de uma viga, devidas a um carregamento vertical, em coordenadas do sistema de referência dos nós
- $\{ D \}_k$ deslocamentos do andar k
- $\{ F \}_k$ ações aplicadas no andar k
- $\{ F_v \}$ esforços finais nas extremidades de um trecho de viga

$\{ F_p \}$ esforços finais nas extremidades de um pilar.

2.3. HIPÓTESES

2.3.1. Lajes

Cada laje é considerada como se fosse um diafragma infinitamente rígido em seu próprio plano (horizontal) e com rigidez transversal desprezível. Assim, a transmissão de forças entre os pilares, num mesmo pavimento, é feita pela laje. Seus deslocamentos são duas translações horizontais independentes e a rotação em torno do eixo vertical.

2.3.2. Pilares

Admite-se que cada pilar tenha comportamento tridimensional, sem contudo considerar a rigidez à torção. É necessário que o pilar tenha a mesma seção transversal entre dois pavimentos, podendo variar de um para outro. Não são considerados trechos rígidos nos pilares onde os mesmos conectam-se com as vigas.

2.3.3. Vigas

As vigas são formadas por trechos. Cada trecho é definido como sendo uma barra horizontal, com seção constante, que tem, em cada extremidade, um nó de viga ou nó de pilar definidos a seguir. Numa mesma viga, é possível ter trechos de seções diferentes. A rigidez à torção e à flexão transversal são desprezadas.

No caso da extremidade do trecho de viga se conectar com um pilar, uma excentricidade pode ser admitida em relação ao centro de gravidade desse último, a fim de que se possa considerar um trecho rígido ou excentricidades reais do projeto. Caso se pretenda admitir que a viga não se deforme no trecho interno ao pilar, deve-se considerar sua extremidade coincidindo com a face do mesmo.

As vigas são os elementos que recebem, direta ou indiretamente (através das lajes), os carregamentos verticais, sejam eles permanentes ou acidentais.

2.3.4. Nós

Os nós são os encontros das barras. Dividem-se em duas categorias:

a) nós de viga - encontro de dois ou mais trechos de vigas, ao nível da laje, com deslocamento vertical totalmente livre;

b) nó de pilar - encontro do pilar com a laje e, conseqüentemente, com trechos de vigas que nele se apoiam.

2.3.5. Sistema Estrutural

O conjunto de vigas e pilares, formando ângulos e excentricidades quaisquer e travados horizontalmente pelas lajes, constitui o sistema estrutural. O mesmo sistema estrutural utilizado para absorver as cargas verticais é utilizado também para receber as forças do vento.

Cada pilar é tratado separadamente, não se observando a formação de painéis. Os esforços são distribuídos em todas as barras da estrutura.

2.3.6. Cargas

As cargas atuantes na estrutura podem ser de três tipos:

a) carga permanente, proveniente do peso próprio da estrutura, peso dos sistemas de piso, forro e vedação;

b) carga acidental, aqui admitida uniformemente distribuída nas lajes, também chamada de sobrecarga, podendo atuar em algumas ou todas as lajes;

c) ação do vento, conforme mostrado no apêndice A, com resultantes em cada andar, aplicadas nas lajes e em direção paralela a seus planos.

2.4. SISTEMAS DE REFERÊNCIA

2.4.1. Sistema de referência para o sistema estrutural

O sistema de eixos empregado para a estrutura global tem a origem na base, eixos X e Y horizontais e Z vertical para cima, conforme a Fig. 2.1.

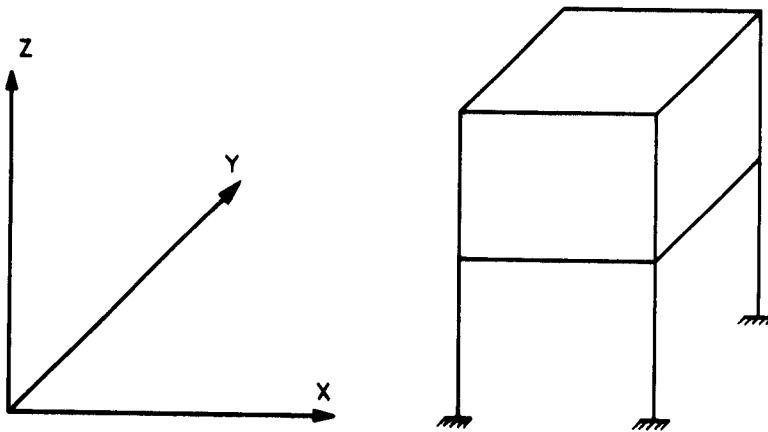


Fig. 2.1 - Sistema de referência para a estrutura

2.4.2. Sistema de referência para os pilares

Cada pilar tem o seu sistema de eixos cartesianos com os eixos x e y coincidindo com os eixos principais de inércia (Fig. 2.2) e origem no centro de gravidade da seção transversal. O eixo z continua de baixo para cima.

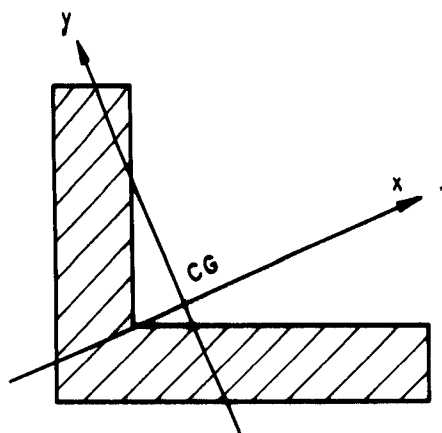


Fig. 2.2 - Sistema de referência para os pilares

2.4.3. Sistema de referência para os nós de vigas

Cada nó de viga tem o seu sistema de referência com os eixos paralelos ao sistema global da estrutura, de acordo com a Fig. 2.3.

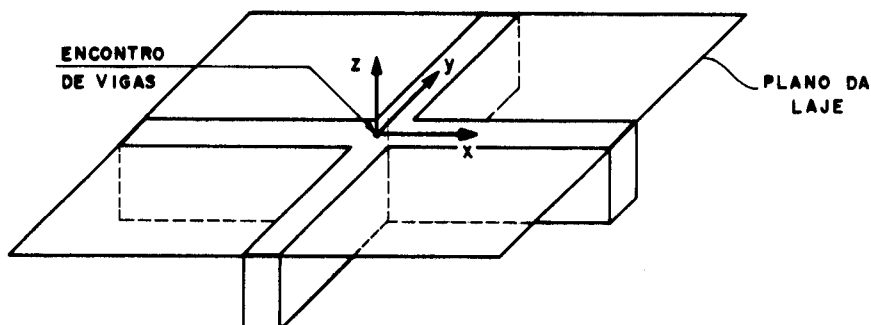


Fig. 2.3 - Sistema de referência para um nó de viga

2.5. DESLOCAMENTOS

Os deslocamentos da estrutura estão divididos em dois grupos:

a) deslocamentos de nó - podem ocorrer no nó de pilar, encontro do pilar com a laje em cada pavimento, ou no nó de viga, encontro de dois ou mais trechos de vigas sem pilar. São três esses deslocamentos: rotações em torno dos eixos x e y e translação na direção de z ;

b) deslocamentos da laje - são as translações nas direções X e Y e rotação em torno de Z , para cada andar.

As coordenadas deslocamentos são mostrados na Fig. 2.4.

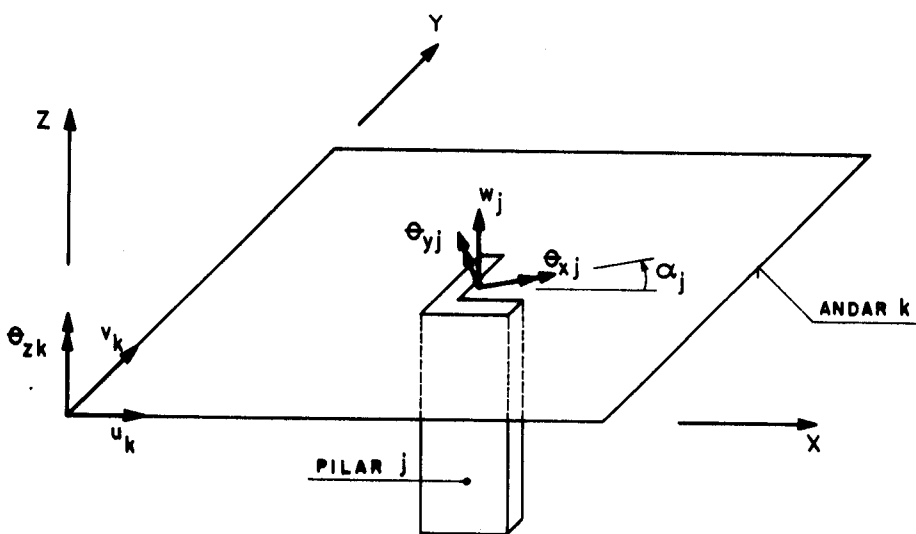


Fig. 2.4 - Deslocamentos no nível de uma laje

Considerar a laje como rígida no seu plano traz um alívio computacional muito grande, visto que, cada nó da estrutura passa a ter apenas três deslocamentos

independentes (rotações em torno dos eixos x e y e translação em z). O número de graus de liberdade diminui para a metade, a menos dos deslocamentos de corpo rígido da laje (nas direções X e Y e rotação em torno de Z).

As coordenadas do movimento da laje estão associadas ao sistema de referência global da estrutura.

Assim, para cada nó da estrutura, têm-se, como deslocamentos incógnitos, θ_{xj} , θ_{yj} e w_j . Para a laje de cada pavimento, têm-se u_k , v_k e θ_{zk} , totalizando $3.(N_n + N_p + 1)$ deslocamentos por andar, onde N_n é o número de nós de viga da estrutura e N_p é o número de pilares.

2.6. MATRIZ DE RIGIDEZ DAS VIGAS

As vigas, como foi discutido anteriormente, são divididas em trechos de seção transversal constante. Cada trecho é definido como a ligação entre dois nós (de pilar ou não). As excentricidades estão representadas na Fig.2.6.

A matriz de rigidez de um trecho de viga, expressa em coordenadas locais (Fig. 2.5), fica definida como:



Fig. 2.5 - Coordenadas locais de um trecho de viga

$$[K_v] = \begin{bmatrix} \frac{12.E.I_v}{l^3} & \frac{6.E.I_v}{l^2} & \frac{-12.E.I_v}{l^3} & \frac{6.E.I_v}{l^2} \\ \frac{6.E.I_v}{l^2} & 4.E.I_v & \frac{-6.E.I_v}{l^2} & 2.E.I_v \\ \frac{-12.E.I_v}{l^3} & \frac{-6.E.I_v}{l^2} & \frac{12.E.I_v}{l^3} & \frac{-6.E.I_v}{l^2} \\ \frac{6.E.I_v}{l^2} & 2.E.I_v & \frac{-6.E.I_v}{l^2} & 4.E.I_v \end{bmatrix}$$

onde:

E é o módulo de deformação longitudinal;

I_v é a inércia da seção transversal da viga em torno do seu eixo horizontal;

l é o comprimento flexível do trecho.

A matriz de rigidez do trecho da viga apresentada anteriormente refere-se ao sistema local. O que se pretende é que essa mesma matriz seja referida às coordenadas dos nós de extremidade. Para isso, é necessário fazer uma transformação de coordenadas de rotação.

A Fig. 2.6 mostra a situação do trecho de viga em relação a essas coordenadas.

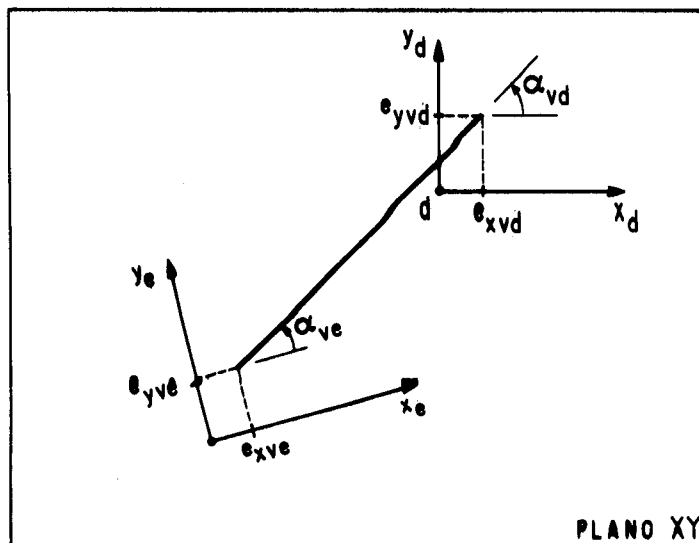


Fig. 2.6 - Trecho de viga e nós de extremidade

onde:

e_{xve} , e_{yve} são as excentricidades em relação ao sistema de eixos do nó à esquerda;

e_{xvd} , e_{yvd} são as excentricidades em relação ao sistema de eixos do nó à direita;

α_{ve} é o ângulo formado entre o eixo x do nó esquerdo e o trecho de viga no sentido anti-horário positivo;

α_{vd} é o ângulo formado entre o eixo x do nó direito e o trecho de viga no sentido anti-horário positivo.

No caso da rotação (Fig. 2.7), da extremidade da barra, é necessário decompô-la nas coordenadas do nó.

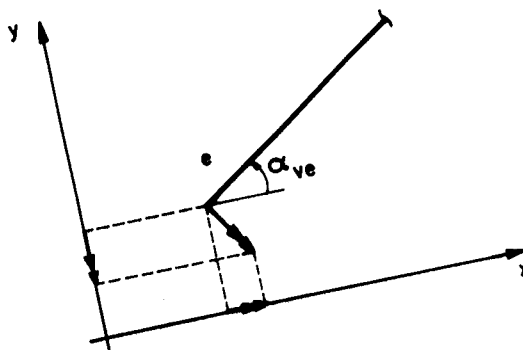


Fig. 2.7 - Decomposição dos deslocamentos da viga

Os deslocamentos $\{u\}$, do sistema local, são obtidos a partir dos deslocamentos $\{U\}$ do sistema global através da matriz $[\beta_v]$ de transformação de coordenadas:

$$\{u\} = [\beta_v] \cdot \{U\}$$

sendo:

$$[\beta_v] = \begin{bmatrix} e_{yve} & -e_{xve} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \text{sen}(\alpha_{ve}) & -\text{cos}(\alpha_{ve}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{yvd} & -e_{xvd} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \text{sen}(\alpha_{vd}) & -\text{cos}(\alpha_{vd}) & 0 \end{bmatrix}$$

A matriz de rigidez do trecho de viga nas coordenadas dos nós fica definida como:

$$[K_{vg}] = [\beta_v]^T \cdot [K_v] \cdot [\beta_v]$$

fazendo:

$$[K_{vg}] = \begin{bmatrix} [K_{vg1}] & [K_{vg2}] \\ [K_{vg2}]^T & [K_{vg3}] \end{bmatrix}$$

onde:

$$[K_{vg1}] = \begin{bmatrix} +L3.e_{yve}^2 + & -L3.e_{xve}.e_{yve}^+ & \\ +2.L2.e_{yve}.SE+ & -L2.e_{xve}.SE+ & +L3.e_{yve}^+ \\ +L1.SE^2 & -L2.e_{yve}.CE+ & +L2.SE \\ & -L1.SE.CE & \\ -L3.e_{xve}.e_{yve}^+ & +L3.e_{xve}^2 + & -L3.e_{xve}^+ \\ -L2.e_{xve}.SE+ & +2.L2.e_{xve}.CE+ & -L2.CE \\ -L2.e_{yve}.CE+ & +L1.CE^2 & \\ -L1.SE.CE & & \\ +L3.e_{yve}^+ & -L3.e_{xve}^+ & L3 \\ +L2.SE & -L2.CE & \end{bmatrix}$$

$$[K_{vg2}] = \begin{bmatrix} -L3.e_{yve}.e_{yvd}^+ & L3.e_{yve}.e_{xvd}^+ & \\ -L2.e_{yvd}.SE+ & +L2.e_{xvd}.SE+ & -L3.e_{yve}^+ \\ +L2.e_{yve}.SD+ & -L2.e_{yve}.CD+ & -L2.SE \\ +L1/2.SE.SD & -L1/2.SE.CD & \\ L3.e_{xve}.e_{yvd}^+ & -L3.e_{xve}.e_{xvd}^+ & \\ +L2.e_{yvd}.CE+ & -L2.e_{xvd}.CE+ & +L3.e_{xve}^+ \\ -L2.e_{xve}.SD+ & +L2.e_{xve}.CD+ & +L2.CE \\ -L1/2.CE.SD & +L1/2.CE.CD & \\ -L3.e_{yvd}^+ & +L3.e_{xvd}^+ & -L3 \\ +L2.SD & -L2.CD & \end{bmatrix}$$

$$[K_{vg^3}] = \begin{bmatrix} +L3.e_{yvd}^2 + & -L3.e_{xvd}.e_{yvd} + & \\ -2.L2.e_{yvd}.SD + & +L2.e_{xvd}.SD + & +L3.e_{yvd} + \\ +L1.SD^2 & +L2.e_{yvd}.CD + & -L2.SD \\ & -L1.SD.CD & \\ -L3.e_{xvd}.e_{yvd} + & +L3.e_{xvd}^2 + & \\ +L2.e_{xvd}.SD + & -2.L2.e_{xvd}.CD + & -L3.e_{xvd} + \\ +L2.e_{yvd}.CD + & +L1.CD^2 & +L2.CD \\ -L1.SD.CD & & \\ +L3.e_{yvd} + & -L3.e_{xvd} + & \\ -L2.SD & +L2.CD & L3 \end{bmatrix}$$

onde os símbolos a seguir representam:

$$L1 = \frac{4.E.I_v}{l}$$

$$L2 = \frac{6.E.I_v}{l^2}$$

$$L3 = \frac{12.E.I_v}{l^3}$$

$$CE = \text{Cos } \alpha_{ve}$$

$$SE = \text{Sen } \alpha_{ve}$$

$$CD = \text{Cos } \alpha_{vd}$$

$$SD = \text{Sen } \alpha_{vd}$$

2.7. MATRIZ DE RIGIDEZ DOS PILARES

Os pilares têm as suas coordenadas locais representadas na Fig. 2.8. São coordenadas de uma barra prismática vertical, de pórtico espacial, com três rotações e três translações por nó, referidas aos eixos

principais de inércia da seção transversal.

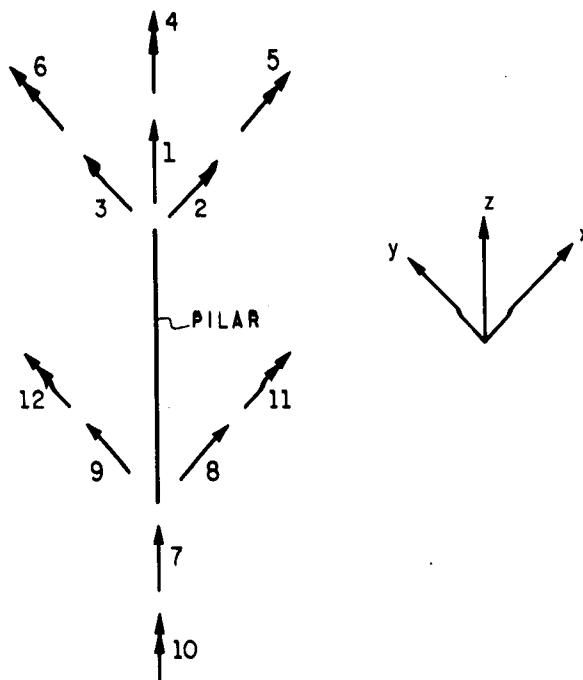


Fig. 2.8 - Coordenadas locais do pilar

As coordenadas globais são divididas em dois grupos: as que correspondem aos deslocamentos do próprio pilar em seus eixos principais de inércia (deslocamentos de nó = e_{xj} , e_{yj} e w_j), e as que correspondem às coordenadas da laje (u_k , v_k e θ_{zk}).

A Fig. 2.9 representa um dos planos das lajes (andar k genérico) e as coordenadas globais do pilar j .

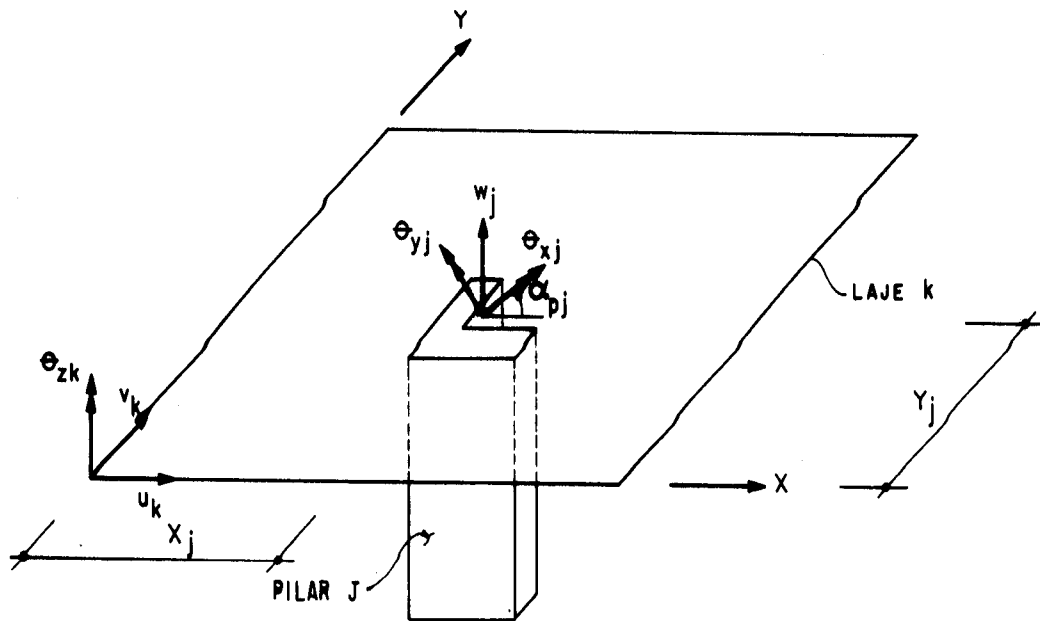


Fig. 2.9 - Coordenadas globais do pilar

onde:

θ_{xj} , θ_{yj} e w_j são os deslocamentos incógnitos para um pilar genérico j qualquer;

α_{pj} é o ângulo formado entre o eixo X da estrutura e o eixo x do sistema de referência do pilar j ;

u_k , v_k e θ_{zk} são os deslocamentos de corpo rígido da laje k .

É importante notar a necessidade, desde o início, de colocar os coeficientes de rigidez em coordenadas dependentes das lajes. Assim, a matriz de rigidez de cada pavimento tem o aspecto mostrado na Fig.2.10.

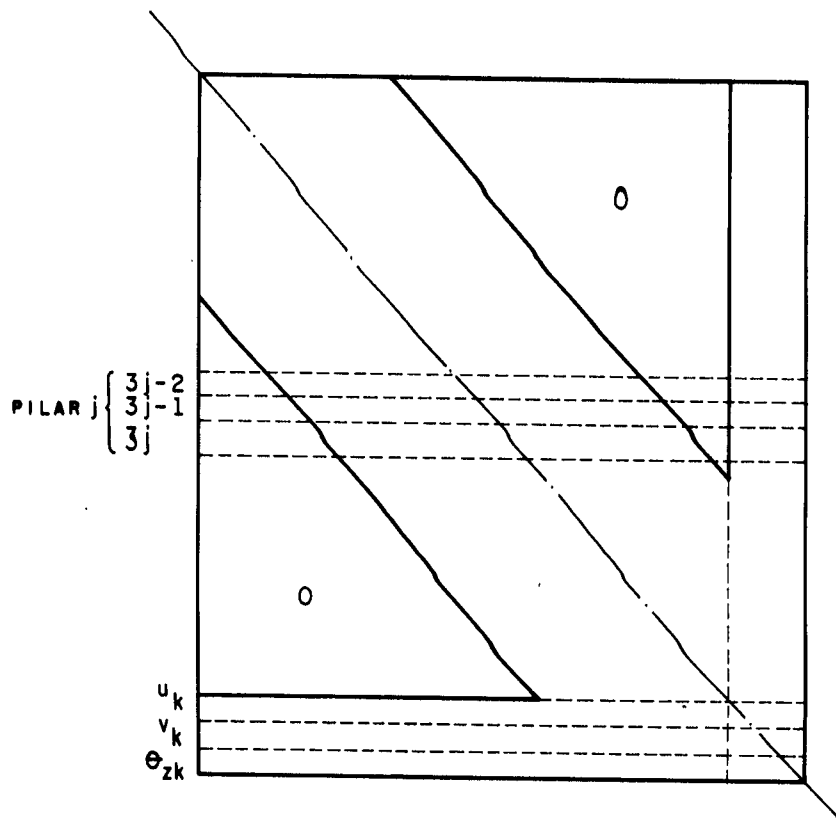


Fig. 2.10 - Configuração da matriz de rigidez do andar

As faixas horizontal e vertical, transpostas entre si, relacionam as coordenadas dos pilares do pavimento com aquelas da laje.

A matriz de rigidez do pilar, em coordenadas locais, fica definida como:

$$[K_p] = \begin{bmatrix} [K_{p1}] & [K_{p2}] \\ [K_{p2}]^T & [K_{p3}] \end{bmatrix}$$

sendo:

$$[K_{p1}] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6EI}{l^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI}{l^3} & 0 & \frac{6EI}{l^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GI}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{4EI}{l} & 0 \\ 0 & \frac{-6EI}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix}$$

$$[K_{p2}] = \begin{bmatrix} \frac{-EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EI}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6EI}{l^2} \\ 0 & 0 & \frac{-12EI}{l^3} & 0 & \frac{6EI}{l^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-GI}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-6EI}{l^2} & 0 & \frac{2EI}{l} & 0 \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI}{l} \end{bmatrix}$$

$$[K_{p3}] = \begin{bmatrix} \frac{EA_z}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_y}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{+6EI_y}{l^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_x}{l^3} & 0 & \frac{-6EI_x}{l^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GI_z}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-6EI_x}{l^2} & 0 & \frac{4EI_x}{l} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_y}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_y}{l} \end{bmatrix}$$

Onde:

E = módulo de deformação longitudinal;

G = módulo de deformação transversal;

I_x e I_y = inércias principais em torno de x e y respectivamente;

I_z = constante de torção (desprezada adiante);

A_z = área da seção transversal do pilar;

l = comprimento do pilar.

É importante salientar que a matriz de rigidez $[K_p]$ refere-se aos eixos principais da seção. Por esse motivo, para uma dada seção poligonal de pilar, é necessário um cálculo anterior das inércias, centróide da figura e ângulo de giro dos eixos em relação aos anteriores (Fig. 2.11).

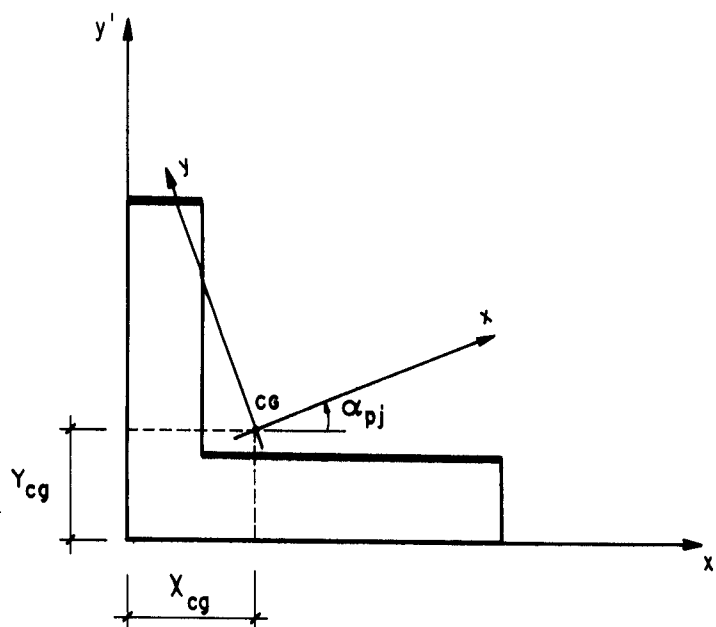


Fig. 2.11 - Seção poligonal de pilar

As excentricidades da viga do tipo viga-pilar, em relação aos eixos antigos, são transformadas para os eixos novos (Fig. 2.12):

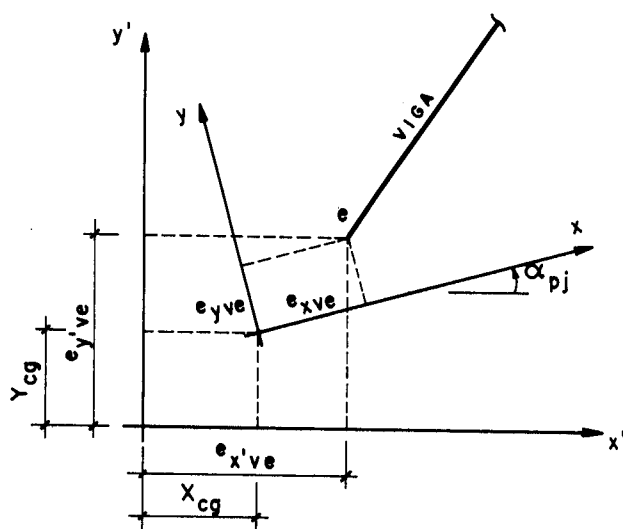


Fig. 2.12 - Excentricidade viga-pilar

$$e_{xve} = (e_{x've} - x_{CG}) \cdot \cos(\alpha_{pj}) + (e_{y've} - y_{CG}) \cdot \sin(\alpha_{pj}) \quad (2.01)$$

$$e_{yve} = (e_{y've} - y_{CG}) \cdot \cos(\alpha_{pj}) - (e_{x've} - x_{CG}) \cdot \sin(\alpha_{pj}) \quad (2.02)$$

Nos pilares de seção circular ou retangular, para os quais são fornecidas as coordenadas do centro de gravidade, não é preciso calcular novas excentricidades para as vigas.

Com os novos eixos e coordenadas globais, já ilustrados na Fig. 2.9, pode-se deduzir a matriz de transformação de coordenadas para os pilares.

Primeiramente, calculam-se as distâncias d_x e d_y , dos eixos do pilar à origem do sistema de referência da estrutura (Fig. 2.13).

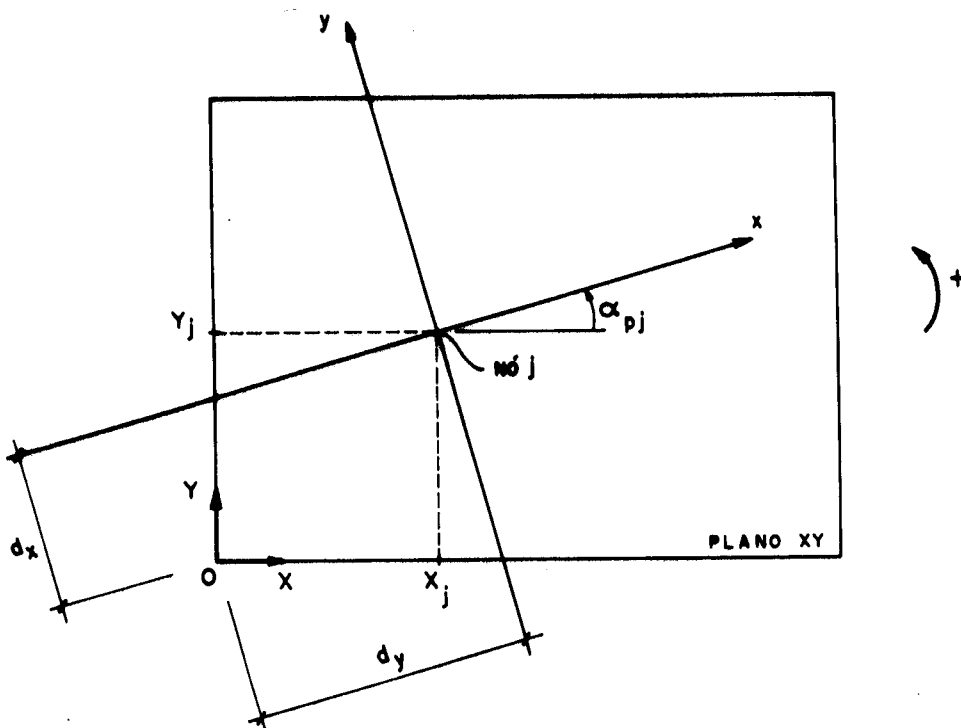


Fig. 2.13 - Distância dos eixos do pilar à origem

onde:

$$d_x = X_j \cdot \text{sen}(\alpha_{pj}) - Y_j \cdot \text{cos}(\alpha_{pj}) \quad (2.03)$$

$$d_y = X_j \cdot \text{cos}(\alpha_{pj}) + Y_j \cdot \text{sen}(\alpha_{pj}) \quad (2.04)$$

Estas distâncias são importantes para o cálculo da matriz de transformação, uma vez que a rotação da laje gera deslocamentos lineares nas direções 2 e 3 (Fig.2.8) no pilar j , como mostra a Fig.2.14.

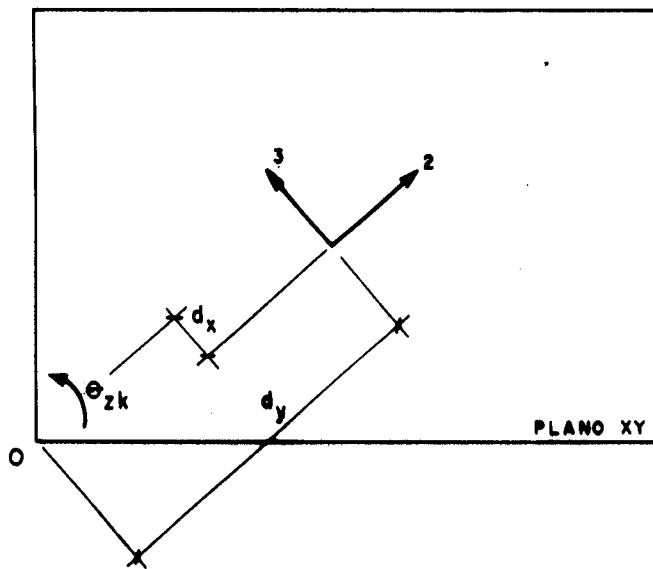


Fig. 2.14 - Rotação da laje

Com base no que foi discutido, é apresentada a matriz de transformação para as coordenadas de uma extremidade do pilar:

$$\beta_{p1} = \begin{matrix} & \begin{matrix} e_{xj} & e_{yj} & w_j & u_k & v_k & e_{zk} \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(\alpha_{pj}) & \sin(\alpha_{pj}) & d_x \\ 0 & 0 & 0 & -\sin(\alpha_{pj}) & \cos(\alpha_{pj}) & d_y \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

O mesmo acontece, para a outra extremidade do pilar, com β_{p2} .

A matriz de transformação β_p , para o pilar, fica portanto:

$$[\beta_p] = \begin{bmatrix} [\beta_{p1}] & [0] \\ [0] & [\beta_{p2}] \end{bmatrix}$$

Para achar a matriz de rigidez em coordenadas globais, faz-se:

$$[K_{pg}] = [\beta_p]^T \cdot [K_p] \cdot [\beta_p] \quad (2.05)$$

onde:

$$[K_{pg}] = \begin{bmatrix} [K_{pg1}] & [K_{pg2}] \\ [K_{pg2}]^T & [K_{pg3}] \end{bmatrix}$$

$$[K_{pg1}] =$$

X1	0	0	$-X2.S$	$X2.C$	$X2.d_y$
	Y1	0	$-Y2.C$	$-Y2.S$	$-Y2.d_x$
		ZA	0	0	0
			$Y3.C^2 +$ $+X3.S^2$	$(Y3-X3).S.C$	$Y3.C.d_x +$ $-X3.S.d_y$
SIMÉTRICO				$Y3.S^2 +$ $+X3.C^2$	$Y3.S.d_x +$ $+X3.C.d_y$
					$Y3.d_x^2 +$ $+X3.d_y^2$

$$[K_{pg2}] =$$

X1/2	0	0	$X2.S$	$-X2.C$	$-X2.d_y$
0	Y1/2	0	$Y2.C$	$Y2.S$	$Y2.d_x$
0	0	-ZA	0	0	0
$-X2.S$	$-Y2.C$	0	$-Y3.C^2$ $-X3.S^2$	$(X3-Y3).S.C$	$-Y3.C.d_x +$ $+X3.S.d_y$
$X2.C$	$-Y2.S$	0	$(X3-Y3).C.S$	$-Y3.S^2 +$ $-X3.C^2$	$-Y3.S.d_x +$ $-X3.C.d_y$
$X2.d_y$	$-Y2.d_x$	0	$-Y3.C.d_x +$ $+X3.S.d_y$	$-Y3.S.d_x$ $-X3.C.d_y$	$-Y3.d_x^2 +$ $-X3.d_y^2$

$$[K_{pg3}] = \begin{bmatrix} X1 & 0 & 0 & X2.S & -X2.C & -X2.d_y \\ & Y1 & 0 & Y2.C & Y2.S & Y2.d_x \\ & & ZA & 0 & 0 & 0 \\ & & & Y3.C^2 + & (Y3-X3). & Y3.C.d_x + \\ & & & +X3.S^2 & .S.C & -X3.S.d_y \\ & \text{SIMÉTRICO} & & & Y3.S^2 + & Y3.S.d_x + \\ & & & & +X3.C^2 & +X3.C.d_y \\ & & & & & Y3.d_x^2 + \\ & & & & & +X3.d_y^2 \end{bmatrix}$$

onde os símbolos a seguir representam:

$$X1 = \frac{4.E.I_x}{l}$$

$$Y1 = \frac{4.E.I_y}{l}$$

$$X2 = \frac{6.E.I_x}{l^2}$$

$$Y2 = \frac{6.E.I_y}{l^2}$$

$$X3 = \frac{12.E.I_x}{l^3}$$

$$Y3 = \frac{12.E.I_y}{l^3}$$

$$ZA = \frac{E.A_z}{l}$$

$$C = \text{Cos } \alpha_{pj}$$

$$S = \text{Sen } \alpha_{pj}$$

2.8. EXCENTRICIDADE PILAR-PILAR

Em consequência do alívio de carga normal, os pilares dos pavimentos superiores geralmente necessitam de uma seção transversal menor. Muitas vezes, em edifícios de concreto armado, essa redução de seção não se justifica, pelo trabalho adicional de emenda das formas das vigas. Outras vezes, a redução é feita excentricamente, principalmente em pilares de borda ou de canto, para não ferir a fachada do edifício.

Nos casos de redução excêntrica, as coordenadas deslocamentos do nó, no ponto de transição, devem coincidir com os eixos principais de inércia do pilar situado abaixo do nó, uma vez que esse é o pilar que pertence ao pavimento da transição (Fig.2.15).

A redução em um pavimento k afeta a composição da matriz de rigidez do pilar do pavimento $k+1$, primeiro pilar acima do ponto de redução. Nesse pilar, as coordenadas inferiores não correspondem aos eixos principais da seção. A matriz de rigidez $[K_{pg}]$ refere-se a um pilar que tem as doze coordenadas nos eixos principais, o que não mais acontece neste caso.

Admite-se que as coordenadas inferiores formam um ângulo α_p com as superiores e o centro de gravidade da seção inferior esteja afastado de e_{xp} e e_{yp} , de acordo com a Fig. 2.15.

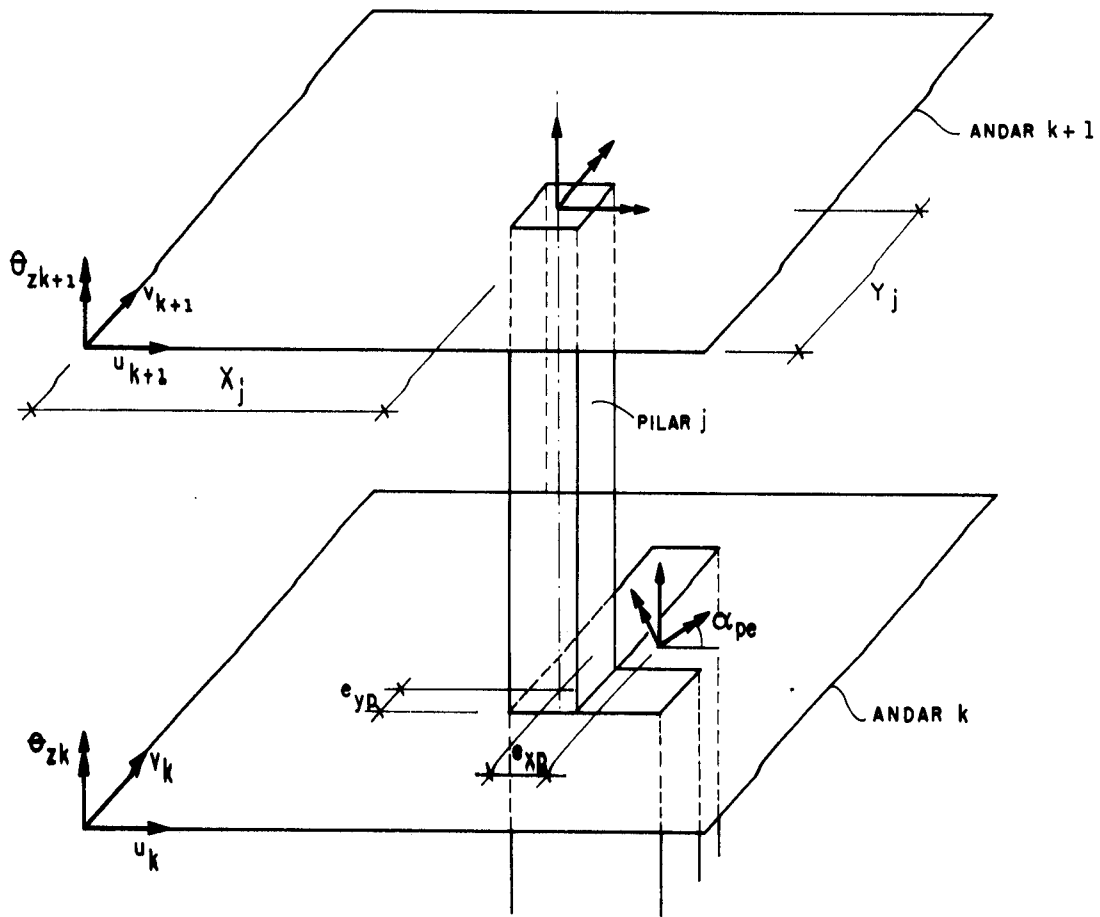


Fig. 2.15 - Excentricidade pilar-pilar

A fim de transformar a matriz para as novas coordenadas, é usada uma matriz de transferência β_e , onde:

$$[\beta_e] = \begin{bmatrix} [I_e] & [0] \\ [0] & [\beta_{e2}] \end{bmatrix}$$

$[I_e]$ = matriz identidade de ordem 6

$[0]$ = matriz nula.

$$[\beta_{e_2}] = \begin{bmatrix} \cos\alpha_{ep} & -\text{sen}\alpha_{ep} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{sen}\alpha_{ep} & \cos\alpha_{ep} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ d_{xp} & d_{yp} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Onde:

$$d_{xp} = e_{xp} \cdot \text{sen}(\alpha_{ep}) - e_{yp} \cdot \cos(\alpha_{ep})$$

$$d_{yp} = e_{xp} \cdot \cos(\alpha_{ep}) + e_{yp} \cdot \text{sen}(\alpha_{ep})$$

A matriz para o pilar com excentricidades na extremidade inferior é obtida pela expressão:

$$[K_{pe}] = [\beta_e]^T \cdot [K_{pg}] \cdot [\beta_e]$$

onde os símbolos a seguir representam:

$$C_e = \cos(\alpha_{ep}) \quad S_e = \text{sen}(\alpha_{ep})$$

2.9. MONTAGEM DA MATRIZ GLOBAL

As vigas têm suas matrizes de rigidez espalhadas dentro da própria matriz de rigidez do pavimento em que se encontra, enquanto que os pilares são elementos de ligação entre dois andares.

A matriz $[R]_{k,k}$, do pavimento k , tem N_t coordenadas, sendo que $N_t = 3 \cdot (N_n + N_p + 1)$, N_n é o número

X1	0	0	-X2.S	X2.C	X2.dy	X1/2.Ce	-X1/2.Se	0	X2.S	-X2.C	-X2.dy
	Y1	0	-Y2.C	-Y2.S	-Y2.dx	Y1/2.Se	Y1/2.Ce	0	Y2.C	Y2.S	Y2.dx
		ZA	0	0	0	-ZA.dxp	-ZA.dyp	-ZA	0	0	0
			Y3.C ² +X3.S ²	(Y3-X3). S.C	Y3.C.dx -X3.S.dy	-X2.S.Ce -Y2.C.Se	X2.S.Se -Y2.C.Ce	0	-Y3.C ² -X3.S ²	(X3-Y3). S.C	-Y3.C.dx +X3.S.dy
				Y3.S ² +X3.C ²	Y3.S.dx +X3.C.dy	X2.C.Ce -Y2.S.Se	-X2.C.Se -Y2.S.Ce	0	(X3-Y3). C.S	-Y3.S ² -X3.C ²	-Y3.S.dx -X3.C.dy
					Y3.dx ² +X3.dy ²	X2.dy.Ce -Y2.dx.Se	-X2.dy.Se -Y2.dx.Ce	0	-Y3.C.dx +X3.S.dy	-Y3.S.dx -X3.C.dy	-Y3.dx ² -X3.dy ²
						X1.Ce ² + Y1.Se ² + ZA.dxp ²	(Y1-X1) Se.Ce +ZA.dxp.dyp	ZA.dxp	X2.S.Ce +Y2.C.Se	-X2.C.Ce +Y2.S.Se	-X2.dy.Ce +Y2-dx.Se
						X1.Se ² + Y1.Ce ² + ZA.dyp ²	X1.Se ² + Y1.Ce ² + ZA.dyp ²	ZA.dyp	-X2.S.Se +Y2.C.Ce	X2.C.Se +Y2.S.Ce	X2.dy.Se +Y2-dx.Ce
								ZA	0	0	0
									Y3.C ² +X3.S ²	(Y3-X3). C.S	Y3.C.dx -X3.S.dy
										Y3.S ² +X3.C ²	Y3.S.dx +X3.C.dy
											Y3-dx ² +X3-dy ²

[K_{pe}] =

de nós de vigas e N_p é o número de pilares.

As coordenadas deslocamentos estão numeradas na seguinte ordem:

1º) coordenadas dos pilares, θ_{xj} , θ_{yj} e w_j , relativas aos eixos principais de cada pilar;

2º) coordenadas dos nós de viga, θ_{xi} , θ_{yi} e w_i , para os eixos de referência dos nós de viga;

3º) coordenadas u_k , v_k e e_{zk} da laje.

Assim, a matriz de rigidez do pavimento é arrumada conforme a Fig. 2.16-a.

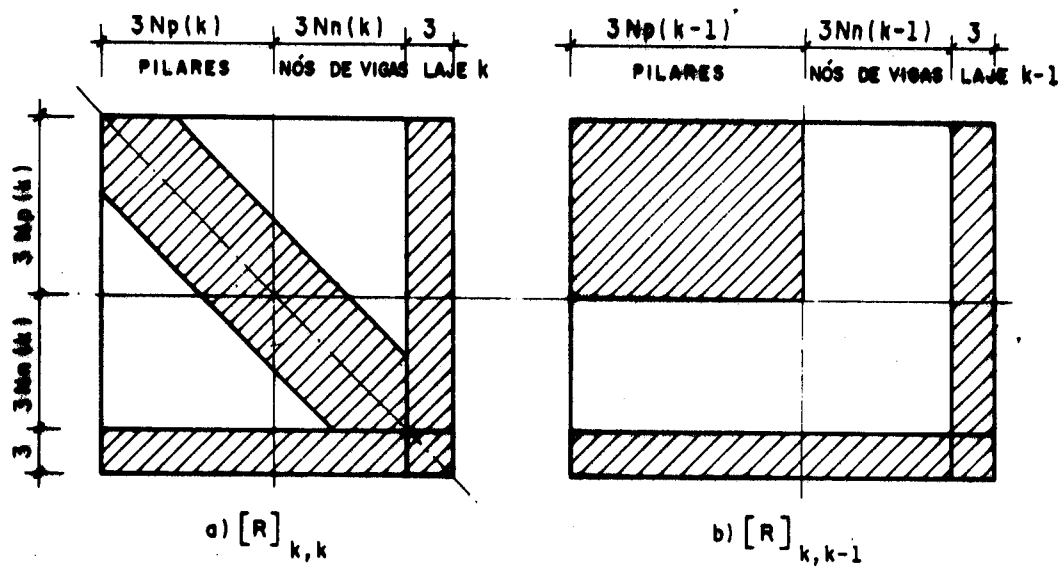


Fig. 2.16 - Partição das matrizes $[R]_{k,k}$ e $[R]_{k,k-1}$

A matriz $[R]_{k,k-1}$, que relaciona o andar k com o inferior $k-1$, pode ser descrita como na Fig. 2.16-b, onde o índice entre parênteses refere-se ao andar.

2.9.1. Vigas

Para fazer o espalhamento da matriz de rigidez de um trecho de viga, deve-se acumular, na matriz de rigidez do pavimento, a matriz $[K_{vg}]$ descrita no item 2.6. As seis coordenadas da estrutura são θ_x , θ_y e w , para os nós de extremidade.

No caso em que o trecho de viga esteja conectado ao pilar j , por exemplo, as três coordenadas são $3j-2$, $3j-1$ e $3j$; de acordo com a arrumação dada à matriz $[R]_{k,k}$. Para o caso de conectividade em nó de viga i , as três coordenadas são $3(N_p+i)-2$, $3(N_p+i)-1$ e $3(N_p+i)$.

A matriz de rigidez da viga é espalhada para as coordenadas globais descritas acima, correspondentes às linhas e colunas apresentadas na Fig. 2.17.

É importante lembrar que as matrizes de rigidez dos trechos das vigas são construídas separadamente; para uma viga com n trechos, são compostas n matrizes. A separação em vigas, e depois em trechos, visa, meramente, a organizar a numeração, como é feito habitualmente nos projetos.

Pela mesma razão, a numeração dos nós de vigas é feita separadamente, no intuito de não confundir com a numeração dos pilares.

2.9.2. Pilares

As coordenadas envolvidas no espalhamento da matriz de rigidez do pilar são: θ_{xj} , θ_{yj} e w_j , nos eixos do pilar, e u_k , v_k e θ_{zk} , nos eixos globais da estrutura, em cada andar. Para cada extremidade, têm-se seis coordenadas no pilar j , com a seguinte numeração: $3j-2$, $3j-1$, $3j$, N_t-2 , N_t-1 e N_t , onde N_t é o número total de deslocamentos do andar.

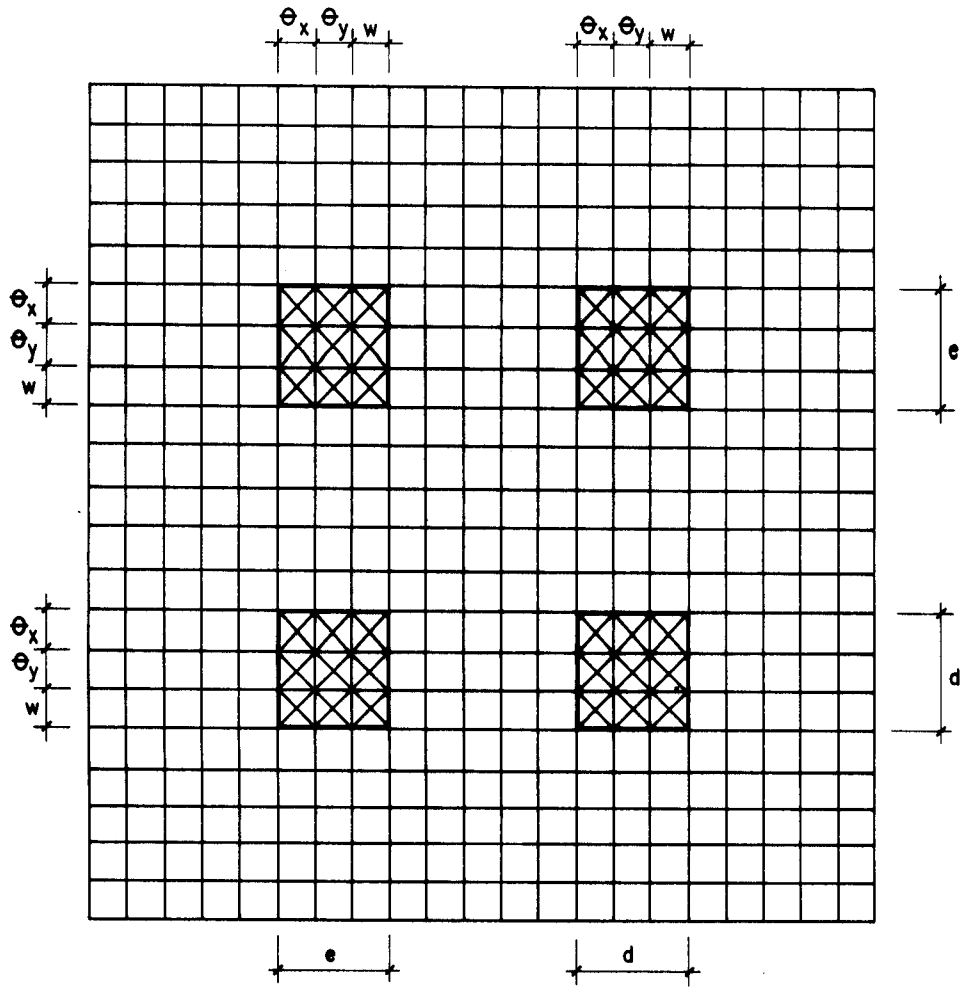


Fig. 2.17 - Espalhamento da matriz K_{vg}

A matriz de rigidez do pilar i , $[K_{pg}]$ ou $[K_{pe}]$, em coordenadas globais, é espalhada nas matrizes globais da estrutura $[R]_{k,k}$, $[R]_{k,k-1}$, $[R]_{k-1,k-1}$, conforme a Fig.

2.18, onde os termos têm os seguintes destinos:

- * vão para $[R]_{k,k}$;
- O vão para $[R]_{k,k-1}$;
- X vão para $[R]_{k-1,k-1}$.

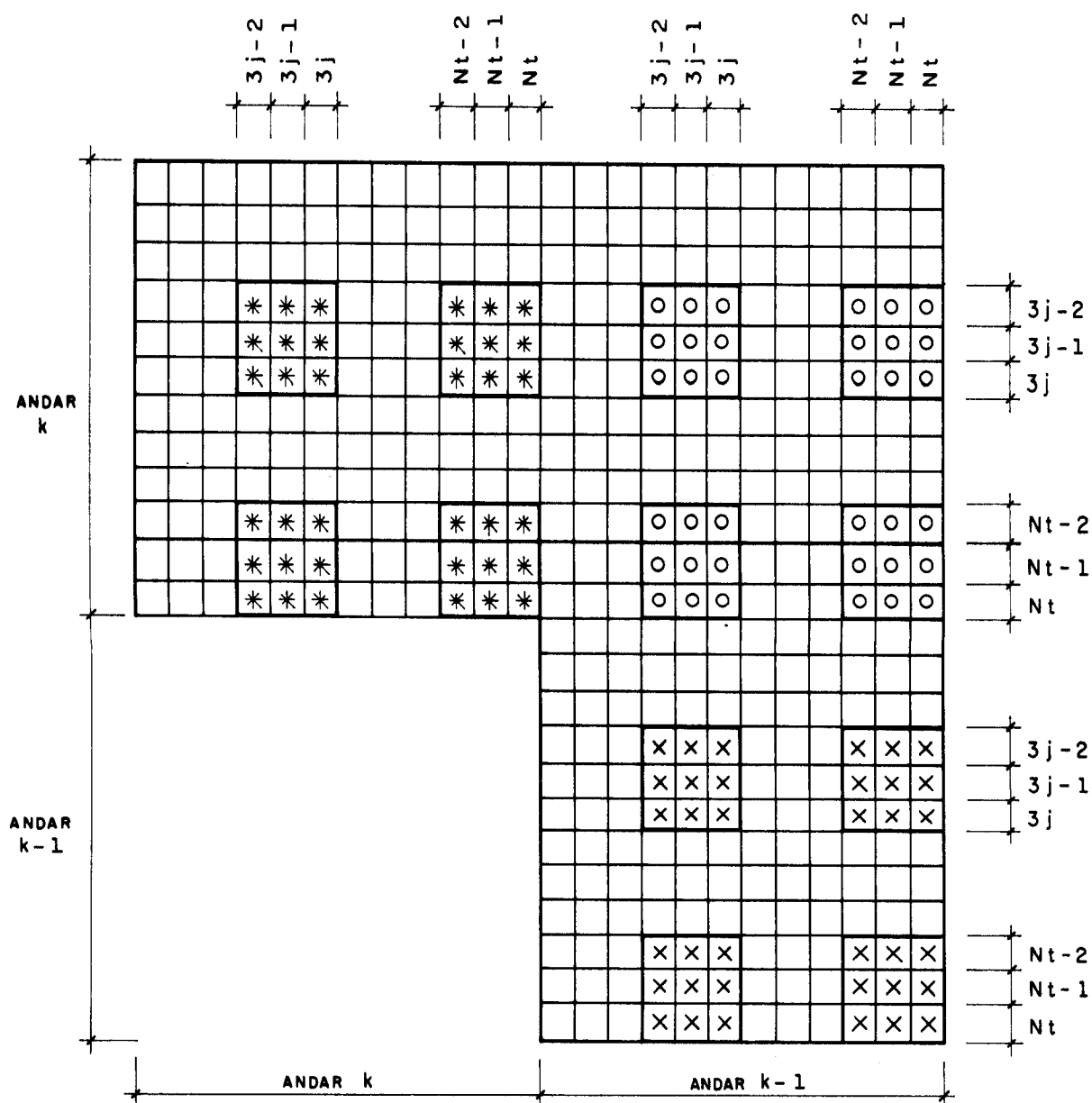


Fig. 2.18 - Espalhamento da matriz $[K_{pg}]$

2.9.3. Sistematização do cálculo da rigidez

A matriz de rigidez global da estrutura é obtida a partir da acumulação das rigidezes de todos os elementos, nas coordenadas globais, levando em conta a numeração adotada para as coordenadas.

No entanto, a intenção não é construir um sistema de equações com todos os deslocamentos incógnitos

da estrutura, de uma só vez, e sim subdividi-la em pavimentos, ou subestruturas, também tridimensionais. Com isso, é possível resolver qualquer número de andares.

Para tanto, foi criada uma sistemática de composição de rigidezes por pavimento (ou subestrutura), onde os seguintes passos são obedecidos:

1) são construídas as matrizes de rigidez das vigas do último pavimento e acumuladas em $[R]_{N_a, N_a}$;

2) as matrizes de rigidez dos pilares do último pavimento são acumuladas em $[R]_{N_a, N_a}$, $[R]_{N_a, N_a-1}$, $[R]_{N_a-1, N_a-1}$;

3) uma vez construídas as matrizes das vigas e pilares do pavimento N_a (último andar), as matrizes $[R]_{N_a, N_a}$ e $[R]_{N_a, N_a-1}$ estão prontas, podendo ser armazenadas em memória auxiliar;

4) para o aproveitamento do mesmo espaço na memória do computador, deve-se fazer a cópia da matriz do pavimento inferior (N_a-1) para a matriz superior;

5) é feito o cálculo das matrizes de rigidez das vigas e, depois, dos pilares, como descrito nos itens 1 e 2 anteriores, para o pavimento N_a-1 ;

6) o processo repete-se até que se chegue à base do edifício.

É importante notar que, para uma seqüência de pavimentos iguais, não é necessário compor todos eles, mas apenas os extremos e um central, da série.

2.10. CARREGAMENTOS BÁSICOS

Em estruturas comuns, de edifícios altos atuam pelo menos três tipos de carregamentos básicos, como relacionado a seguir:

- a) carga permanente;
- b) carga acidental;
- c) ação do vento.

Pensando em dimensionamento com obediência à norma NBR-8681⁽¹⁰⁾, deve-se resolver a estrutura com todos os carregamentos básicos atuantes, compondo quantos vetores de carga sejam necessários. Para o exemplo da Fig.2.19 foram escolhidas cinco combinações de lajes carregadas.

- a) um carregamento composto de carga permanente;
- b) cinco carregamentos de cargas acidentais de acordo com a Fig 2.23;
- c) dois carregamentos de vento.

A combinação de lajes carregadas gera um carregamento básico. É prudente tentar reduzir o número de arranjos e por isso o número de vetores de carga, fazendo uma escolha das piores situações de carga acidental. O arranjo número um é obrigatório, onde todas as lajes são carregadas.

Há oito vetores de carga que englobam os carregamentos descritos nos itens a, b e c, neste exemplo.

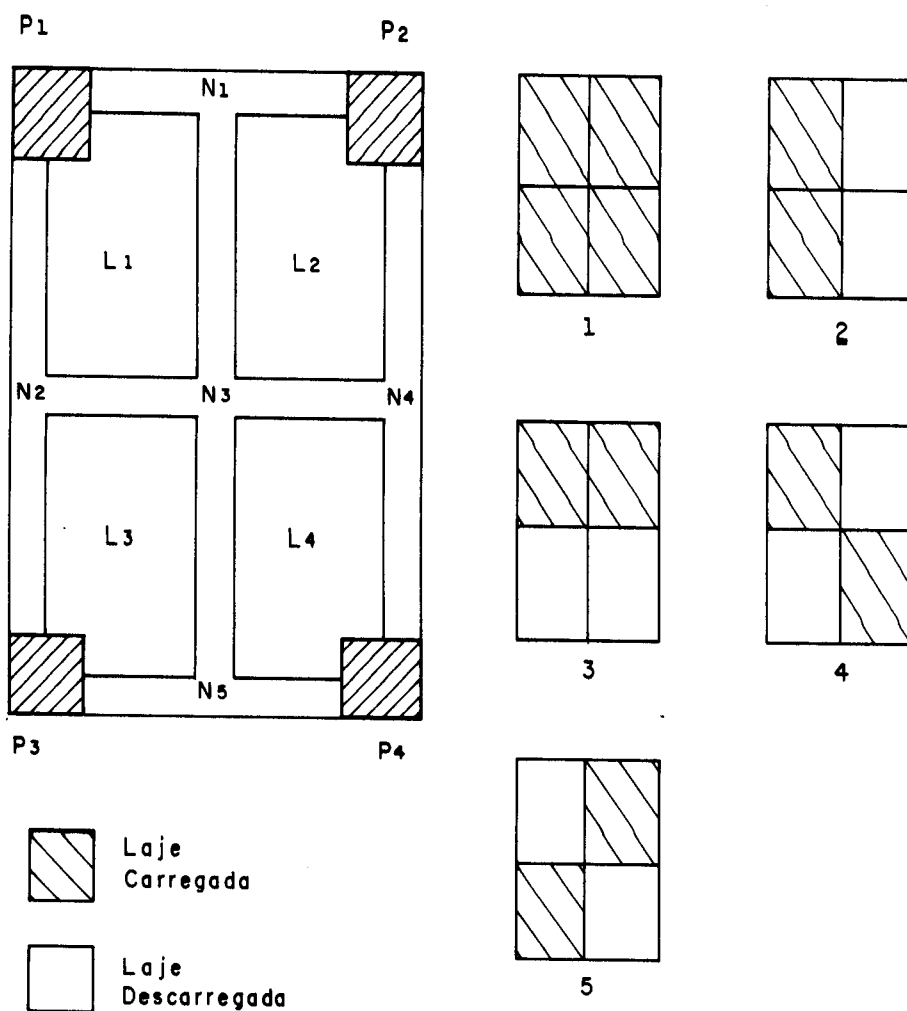


Fig. 2.19 - Carregamentos básicos

2.10.1. Forças horizontais

As forças do vento, que atuam no plano da laje, têm a sua resultante decomposta nas direções X, Y e um momento em torno de Z.

A distância a, na Fig. 2.20, pode ser obtida conhecendo-se um ponto qualquer (x_0, y_0) pertencente à linha de ação de F.

$$a = x_0 \cdot \text{sen}\theta - y_0 \cdot \text{cos}\theta \quad (2.06)$$

onde θ é o ângulo formado entre o eixo global X e a força F.

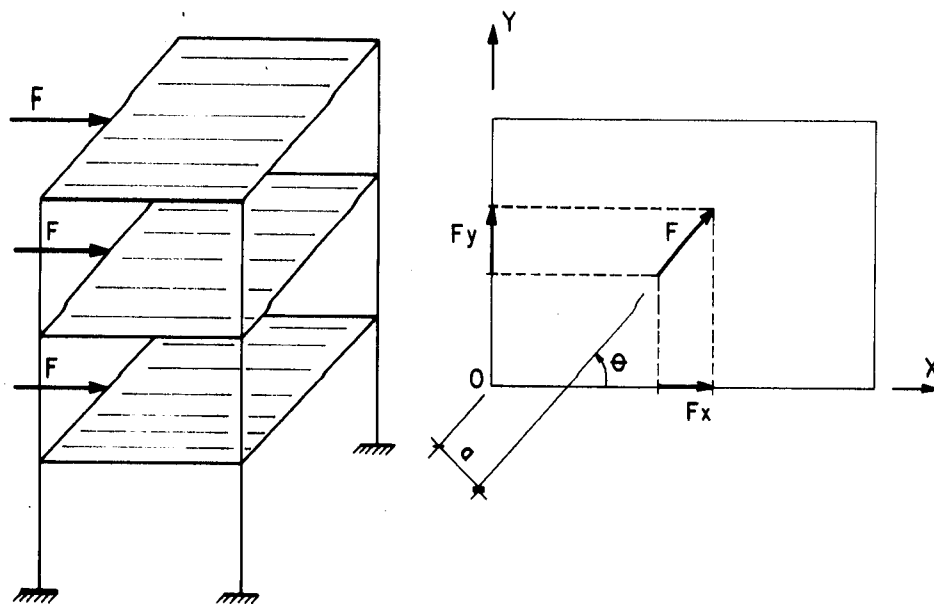


Fig. 2.20 - Decomposição das forças do vento

Os valores das forças F_x , F_y e M_z , para um andar k , têm o seu espalhamento no vetor de cargas nas linhas N_t-2 , N_t-1 e N_t , respectivamente. Os valores dos elementos anteriores (1 a N_t-3) do vetor de carga são nulos, ou seja, não existem forças, devidas à ação do vento, nos nós da estrutura.

2.10.2. Forças verticais

As forças verticais podem ser permanentes ou acidentais.

No apêndice B, é mostrado um modelo para distribuição das cargas das lajes nas vigas.

Apenas as cargas das lajes são passadas às vigas, para o caso de carregamento acidental; no entanto, para a carga permanente, além da laje (peso próprio, revestimento etc.), também é admitida uma carga uniformemente distribuída ao longo da viga, proveniente do seu peso próprio, parede nela apoiada etc., além de cargas concentradas provenientes do peso de elementos

localizados.

O cálculo do vetor de carga, em coordenadas locais, é descrito no item 2.11 e seu espalhamento obedece às mesmas relações de conectividade entre as extremidades da viga e os nós do pavimento.

A NBR-8681^[10] impõe coeficientes de combinação diferentes, para as cargas variáveis e permanentes, na composição de esforços para o dimensionamento, daí a necessidade do cálculo, em separado, dos diversos carregamentos básicos. A carga permanente é única e estará presente em todas as combinações. As ações do vento podem ser consideradas com diferentes direções e intensidades, enquanto que a carga accidental pode variar em relação à combinação das lajes carregadas. É obrigatória, pela NBR-6118^[11], a consideração da situação mais desfavorável da carga accidental, com o tramo totalmente carregado ou totalmente descarregado. Uma situação fica evidente como obrigatória: todas as lajes carregadas. As outras podem ser escolhidas de maneira intuitiva, em forma de xadrez, fazendo com que duas lajes vizinhas fiquem sempre em situações opostas de carregamento. Outra maneira conveniente é fazer com que alguns trechos de viga fiquem carregados ao máximo, enquanto os seus vizinhos ficam carregados ao mínimo, evidenciando, assim, uma situação extrema, para a solicitação de momento positivo no tramo carregado. Essa escolha depende do bom senso do projetista, que, com uma escolha adequada pode diminuir o número de carregamentos básicos e com isso o esforço computacional no cálculo da envoltória.

2.11. VETOR DE CARGA DA VIGA

As cargas verticais, permanentes ou acidentais, de um carregamento básico, provocam ações nas extremidades de um trecho de viga, em coordenadas locais, como mostrado na Fig. 2.21. As expressões 2.07 referem-se às ações nodais equivalentes.

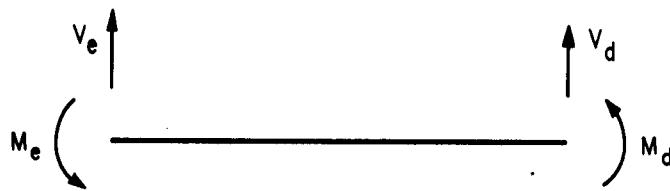


Fig. 2.21 - Ações nas extremidades da viga

V_e e V_d são forças verticais à esquerda e à direita, respectivamente;

M_e e M_d são momentos à esquerda e à direita, respectivamente.

Para o caso de carregamento uniformemente distribuído, ao longo do trecho com cargas concentradas, ambas verticais e orientadas para baixo, como mostra a Fig. 2.22, tem-se:

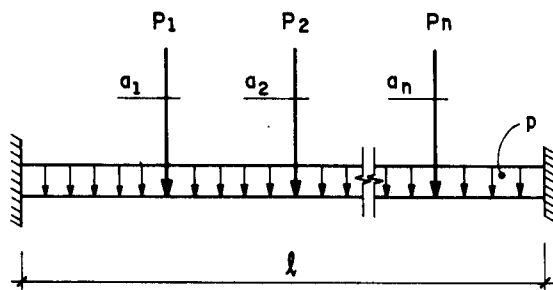


Fig. 2.22 - Cargas verticais no trecho da viga

P_1, P_2, \dots, P_n são as cargas concentradas;

p é a carga distribuída;

a_1, a_2, \dots, a_n são as distâncias das cargas concentradas à extremidade esquerda (ou nó inicial);

n é o número de cargas concentradas.

Os valores de M_e, M_d, V_e e V_d são determinados pelas expressões a seguir:

$$M_e = -\frac{p \cdot l^2}{12} - \sum_{i=1}^n \frac{P_i \cdot a_i \cdot (l-a_i)^2}{l^2}$$
$$M_d = +\frac{p \cdot l^2}{12} + \sum_{i=1}^n \frac{P_i \cdot a_i^2 \cdot (l-a_i)}{l^2}$$

(2.07)

$$V_e = -\frac{p \cdot l}{2} - \sum_{i=1}^n \frac{P_i \cdot (l-a_i)}{l} + \frac{M_e + M_d}{l}$$

$$V_d = -\frac{p \cdot l}{2} - \sum_{i=1}^n \frac{P_i \cdot a_i}{l} - \frac{M_e + M_d}{l}$$

ficando o vetor de forças em coordenadas locais:

$$\{F_o\} = \begin{Bmatrix} V_e \\ M_e \\ V_d \\ M_d \end{Bmatrix}$$

(2.08)

O vetor de cargas nodais equivalentes, no sistema global, é dado por:

$$\{F\} = [\beta_v]^T \cdot \{f\}$$

(2.09)

baixo tem índice 1, e a base do edifício é representada pelo 0. Com isso, a primeira linha de submatriz, corresponde ao último andar. A última, corresponde à base do edifício.

Da primeira linha do sistema de equações tem-se:

$$[R]_{n,n} \cdot [D]_n + [R]_{n,n-1} \cdot [D]_{n-1} = [F]_n \quad (2.11)$$

da segunda linha resulta:

$$[R]_{n-1,n} \cdot [D]_n + [R]_{n-1,n-1} \cdot [D]_{n-1} + [R]_{n-1,n-2} \cdot [D]_{n-2} = [F]_{n-1} \quad (2.12)$$

substituindo a expressão 2.11 na 2.12:

$$\left([R]_{n-1,n-1} - [R]_{n-1,n} \cdot [R]_{n,n}^{-1} \cdot [R]_{n,n-1} \right) \cdot [D]_{n-1} + [R]_{n-1,n-2} \cdot [D]_{n-2} = \left([F]_{n-1} - [R]_{n-1,n} \cdot [R]_{n,n}^{-1} \cdot [F]_n \right) \quad (2.13)$$

definindo:

$$[R]_{n-1,n-1}^* = [R]_{n-1,n-1} - [R]_{n-1,n} \cdot [R]_{n,n}^{-1} \cdot [R]_{n,n-1} \quad (2.14)$$

$$[F]_{n-1}^* = [F]_{n-1} - [R]_{n-1,n} \cdot [R]_{n,n}^{-1} \cdot [F]_n \quad (2.15)$$

temos:

$$[R]_{n-1,n-1}^* \cdot [D]_{n-1} + [R]_{n-1,n-2} \cdot [D]_{n-2} = [F]_{n-1}^* \quad (2.16)$$

para um andar genérico k:

$$[R]_{k,k}^* \cdot [D]_k + [R]_{k,k-1} \cdot [D]_{k-1} = [F]_k^* \quad (2.17)$$

para o 1º pavimento:

$$[R]_{1,1}^* \cdot [D]_1 + [R]_{1,0} \cdot [D]_0 = [F]_1^* \quad (2.18)$$

chegando à base do edifício:

$$[R]_{0,0}^* \cdot [D]_0 = [F]_0^* \quad (2.19)$$

De acordo com as expressões 2.14 e 2.15, pode-se observar que, nessa etapa do cálculo, só são utilizadas as matrizes $[F]_n$, $[F]_{n-1}$, $[R]_{n,n}$, $[R]_{n-1,n-1}$ e $[R]_{n,n-1}$, posto que $[R]_{n-1,n}$ é a transposta de $[R]_{n,n-1}$. Depois de calculadas $[R]_{n-1,n-1}^*$ e $[F]_{n-1}^*$, pode-se então calcular $[R]_{n-2,n-2}^*$ e $[F]_{n-2}^*$, e assim sucessivamente, até que se chegue à expressão 2.19.

A numeração dada às matrizes refere-se ao número do andar e, portanto, o índice 0 (zero) diz respeito à fundação. O vetor $[D]_0$ contém os deslocamentos da base do edifício, que podem ser nulos para o caso de engaste; não nulos, mas com valor pré-fixado, para os recalques impostos e, finalmente, livres para o caso de deslocamentos não conhecidos. Somente neste último caso é que se faz necessária a eliminação até a base. Para o caso de engaste, mais freqüente na prática, a equação 2.19 não faz sentido.

A fim de impor os deslocamentos na base, nulos ou não, algumas alterações são feitas nas matrizes $[R]_{0,0}^*$ e $[F]_0^*$ de maneira a obter os valores desejados no vetor $[D]_0$.

$$\begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \dots & R_{1,i} & \dots & R_{1,n} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & \dots & R_{2,i} & \dots & R_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ R_{i,1} & R_{i,2} & \dots & R_{i,i} & \dots & R_{i,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ R_{n,1} & R_{n,2} & \dots & R_{n,i} & \dots & R_{n,n} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_i \\ \vdots \\ F_n \end{Bmatrix}$$

$$[R]_{o,o}^* \cdot [D]_o = [F]_o^*$$

Se D_i é o deslocamento conhecido e igual a α , em cada equação esse valor é passado para o segundo membro. Na equação i , faz-se o valor de D_i igual a α , da seguinte maneira:

$$\begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \dots & 0 & \dots & R_{1,n} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & \dots & 0 & \dots & R_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ R_{n,1} & R_{n,2} & \dots & 0 & \dots & R_{n,n} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 - R_{1,i} \alpha \\ F_2 - R_{2,i} \alpha \\ \vdots \\ \alpha \\ \vdots \\ F_n - R_{n,i} \alpha \end{Bmatrix}$$

Assim, para qualquer valor de D_i conhecido, o processo resume-se a:

- 1) em cada elemento F_j , do vetor $[F]_o^*$, fazer $F_j - R_{j,i} \cdot \alpha$;
- 2) para o valor de F_i substituir por α ;
- 3) tornar zero todos os elementos do tipo $R_{i,j}$ e $R_{j,i}$, ou seja, todos os elementos da linha e da coluna i ;
- 4) fazer o elemento $R_{i,i}$ igual a 1.

Uma vez impostas as vinculações na base, o

cálculo dos deslocamentos fica por conta de um processo numérico qualquer (Gauss por exemplo), para resolução de sistemas de equações lineares.

De posse dos deslocamentos da base $[D]_0$, deve-se voltar à equação do primeiro pavimento (2.18) onde, substituindo o valor de $[D]_0$, encontra-se:

$$[R]_{1,1}^* \cdot [D]_1 = [F]_1^* - [R]_{1,0} \cdot [D]_0 \quad (2.20)$$

A equação 2.20 tem os termos do segundo membro conhecidos e agora pode ser resolvida, resultando os deslocamentos $[D]_1$, do primeiro pavimento. Assim, os deslocamentos são calculados até o topo em cada subestrutura.

2.13 CÁLCULO DOS ESFORÇOS

Para calcular os esforços de um trecho de viga ou de pilar, primeiramente é necessário compor o vetor dos deslocamentos nas extremidades da barra, passando-os para coordenadas locais:

$$\{u\} = [\beta] \cdot \{U\} \quad (2.21)$$

No caso da viga, passa-se de seis deslocamentos globais para quatro locais, enquanto que, para os pilares, têm-se doze locais, obtidos dos doze deslocamentos globais, pelo mesmo processo.

Uma vez calculado o vetor deslocamento, é bastante fazer:

$$\{F_v\} = [K_{vg}].\{u_v\} + \{F_o\} \text{ para as vigas,} \quad (2.22)$$

$$\{F_p\} = [K_p].\{u_p\} \text{ para os pilares.} \quad (2.23)$$

As vigas recebem a parcela $\{F_o\}$ de esforços nodais equivalentes, que nos pilares é nula.

Este cálculo é feito para todos os carregamentos básicos, obtendo assim, esforços independentes, nas extremidades das barras, para cada carregamento.

3. ENVOLTÓRIA DE ESFORÇOS

3.1. GENERALIDADES

Neste capítulo, serão definidos os diversos coeficientes necessários para determinar uma envoltória de esforços, de acordo com a NBR-8681^[10], visando a verificação à segurança no estado limite último, para cargas permanentes, acidentais e forças do vento agindo simultaneamente na edificação.

As ações variáveis devem ser consideradas nas situações mais desfavoráveis. Para o caso de cargas acidentais com valores altos (comparadas à carga permanente), é necessário que seja feita a verificação da alternância de carregamento em lajes vizinhas. Cada hipótese representa um carregamento básico, conforme definido no capítulo anterior. Chamando de N_{CA} o número total de carregamentos acidentais e de N_{CV} o número de carregamentos devidos à ação do vento, (incluindo também os carregamentos de sentidos contrários), a estrutura deve ser verificada em cada seção com $N_{CA} \times N_{CV}$ hipóteses diferentes. Para cada hipótese, é tomado o valor máximo ou mínimo do esforço, levando em conta todas as combinações de coeficientes de cada carregamento básico. Isto implica em algumas dezenas ou centenas de verificações.

São apresentadas as definições da norma^[10], que envolvem as ações aqui propostas para o caso de estado limite último, bem como as combinações e os coeficientes

correspondentes, com o intuito de sistematizar o processo de cálculo de máximos e mínimos.

3.2. DEFINIÇÕES

3.2.1. Estado limite último

É o estado em que a estrutura, ou parte dela, deve deixar de ser usada, por afetar a segurança. É caracterizado pela perda de equilíbrio como corpo rígido, ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais, transformação em sistema hipostático, instabilidade etc.

3.2.2. Ações permanentes

As ações permanentes podem ser diretas ou indiretas.

Ações permanentes diretas são todos os pesos próprios dos elementos da estrutura, equipamentos fixos, empuxos de terras não removíveis etc.

Ações permanentes indiretas são as ações devidas à protensão, recalques de apoio e retração dos materiais.

3.2.3. Ações variáveis

São as cargas acidentais, forças de frenação, impacto, efeitos do vento, variações de temperatura, pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas. De acordo com a probabilidade de ocorrência durante a vida útil da construção, as ações variáveis podem ser normais ou especiais.

As ações variáveis normais são aquelas com grande probabilidade de ocorrência e, por isso, são obrigatoriamente consideradas no projeto de um determinado tipo de construção.

As ações especiais têm pouca probabilidade de ocorrência, como ações sísmicas ou cargas de natureza ou intensidade especiais.

3.2.4. Valores característicos

Os valores característicos F_k , das ações, são definidos para um período convencional de recorrência de cinquenta anos, arbitrando-se um limite da probabilidade de que tais valores não sejam ultrapassados. Para situações em que seja necessário reduzir o período de recorrência, a correção é feita no valor característico da ação.

Os valores característicos das ações variáveis têm uma probabilidade de 25% a 35% de serem ultrapassados. Quando favoráveis, estes valores devem ser desprezados.

A probabilidade do valor característico ser ultrapassado é de apenas 5%, para as ações permanentes desfavoráveis, enquanto as ações favoráveis são consideradas com 95% de probabilidade de serem ultrapassadas, ou seja, somente em 5% dos casos o valor F_k considerado seria maior que o real, ficando contra a segurança.

3.2.5. Valores característicos nominais

As ações que não podem ser expressas por distribuições probabilísticas, adequadamente, ou têm baixa variabilidade, são expressas por valores característicos nominais, que são médias das respectivas distribuições.

3.2.6. Valores reduzidos de combinação

Nas verificações de segurança no estado limite último, os valores característicos de ações variáveis de diversas naturezas são multiplicados por fatores de combinação ψ_0 , resultando em valores reduzidos de combinação. Esses fatores, ψ_0 , levam em conta a baixa probabilidade de duas ou mais ações variáveis agirem simultaneamente na estrutura.

Devido à dificuldade em adotar-se diversos valores de ψ_0 , para combinações entre as diversas ações variáveis simultâneas, são atribuídos valores únicos para cada ação.

3.2.7. Valores de cálculo das ações

Os valores de cálculo, F_d , das ações são obtidos a partir da multiplicação dos valores representativos pelos coeficientes de ponderação γ_f .

O coeficiente γ_f é desdobrado em três outros ($\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3}$). O coeficiente γ_{f1} leva em conta a variabilidade das ações; γ_{f2} é o próprio ψ_0 e, finalmente, γ_{f3} considera os possíveis erros na avaliação dos efeitos das ações.

Outra maneira de simbolizar o coeficiente γ_f é através da identificação do índice com o tipo de ação considerada; γ_g para as ações permanentes, γ_q para ações variáveis, γ_p para a protensão e γ_e para os efeitos de deformações impostas ou ações indiretas, tais como recalques de apoio, efeito de temperatura etc.

3.2.8. Ações

No projeto da estrutura, são consideradas as ações que têm probabilidade, não desprezível, de atuar simultaneamente durante um período de tempo prefixado. As ações devem ser combinadas de modo a obter-se as situações mais desfavoráveis para a estrutura.

3.2.9. Carregamentos

Os carregamentos podem ser normais, especiais, excepcionais ou de construção.

O carregamento normal é aquele previsto no uso da construção. Deve figurar tanto na verificação do estado limite último como no estado limite de utilização, pois admite-se que esta ação possa ter duração igual ao período de referência da estrutura.

O carregamento especial decorre de ações variáveis, de natureza ou intensidade especiais, em que os efeitos produzidos superam o carregamento normal adotado para a estrutura. Por tratar-se de uma ação passageira, de duração muito pequena em relação ao tempo de referência da estrutura, exceto em casos particulares, não é necessário figurar na verificação do estado limite de utilização. Quanto ao estado limite último, a cada carregamento especial corresponde uma única combinação última de ações.

O carregamento excepcional é aquele que pode provocar efeitos catastróficos. Por esse motivo, a consideração só é feita quando não puder ser desprezado e, além disso, não possam ser tomadas medidas que anulem ou diminuam a gravidade das conseqüências. Não é considerado na verificação do estado limite de utilização, e no estado limite último, entra com uma combinação última excepcional.

O carregamento de construção é considerado nas

estruturas onde determinadas fases podem acarretar ocorrência de estado limite. A duração deve ser definida conforme o caso.

3.3. COMBINAÇÕES ÚLTIMAS NORMAIS

Na verificação da segurança no estado limite último, são consideradas todas as combinações de ações que provocam os efeitos mais desfavoráveis nas seções críticas da estrutura.

As ações permanentes são consideradas na sua totalidade, enquanto as variáveis são desprezadas, quando o efeito é favorável. O valor representativo de cada ação é multiplicado pelo coeficiente de ponderação.

Em cada combinação última, uma das ações variáveis é considerada como a principal e, por isso, admite-se que ela atue com seu valor característico F_k . As outras atuam com valores de combinação $\psi_o \cdot F_k$.

No problema aqui proposto, é indiferente aplicar o coeficiente de ponderação, γ_f , na ação característica, ou no esforço característico, uma vez que a análise é feita em regime elástico linear.

A fórmula geral para a combinação última normal é, portanto:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \cdot F_{gi,k} + \gamma_q \cdot \left[F_{q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{oj} \cdot F_{qj,k} \right] \quad (3.01)$$

onde $F_{gi,k}$ representa o valor característico das ações permanentes, $F_{q1,k}$ o valor característico da ação variável principal na combinação e $\psi_{oj} \cdot F_{qj,k}$ o valor reduzido de cada uma das outras ações variáveis. Para cada combinação com uma carga variável normal como principal, outra

combinação deve ser verificada, quando a ação permanente for favorável.

3.4. COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO

3.4.1. Ações permanentes

Os coeficientes de ponderação para as ações permanentes, γ_g , majoram os valores representativos que provocam efeitos desfavoráveis e minoram os valores representativos que provocam efeitos favoráveis à segurança da estrutura. Para uma mesma ação, γ_g não pode majorar em algumas partes da estrutura e minorar em outras.

As ações permanentes podem ser de grande ou pequena variabilidade, ou ainda efeitos de recalques de apoio, retração dos materiais etc.

As ações permanentes de grande variabilidade são aquelas em que o peso próprio da estrutura não supera 75% do valor total. Esse total inclui os pesos dos elementos construtivos permanentes, equipamentos fixos etc. Os valores de γ_g , para esses casos, estão na tabela 3.1.

TABELA 3.1. - Ações permanentes de grande variabilidade

COMBINAÇÕES	Para efeitos	
	desfavoráveis	favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$

No caso em que o peso próprio da estrutura é maior que 75% do total e nos outros casos de pequena variabilidade da ação permanente, os valores estão indicados na tabela 3.2.

TABELA 3.2. - Ações permanentes de pequena variabilidade

COMBINAÇÕES	Para efeitos	
	desfavoráveis	favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$

Os efeitos de recalques e retração têm coeficientes apresentados na tabela 3.3.

TABELA 3.3. - Efeitos de recalques de apoio e de retração dos materiais

COMBINAÇÕES	Para efeitos	
	desfavoráveis	favoráveis
Normais	$\gamma_e = 1,2$	$\gamma_e = 1,0$
Especiais ou de construção	$\gamma_e = 1,2$	$\gamma_e = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_e = 0$	$\gamma_e = 0$

3.4.2. Ações variáveis

Os coeficientes γ_q , das ações variáveis, majoram os valores representativos que provocam efeitos desfavoráveis à segurança da estrutura. As ações variáveis favoráveis não são consideradas. Quando possam atuar parcelas favoráveis e parcelas desfavoráveis, essas últimas serão consideradas sozinhas, exceto quando não puderem atuar separadamente. No caso das lajes de edifícios, o carregamento pode atuar em uma laje sem, contudo, atuar em outra vizinha; por isso, devem ser previstas as combinações de carregamento mais desfavoráveis. Os valores de γ_q são apresentados na tabela 3.4.

TABELA 3.4. - Coeficientes de ponderação para ações variáveis

COMBINAÇÕES	Ações variáveis em geral incluída a carga acidental móvel.	Efeitos de temperatura
Normais	$\gamma_q = 1,4$	$\gamma_e = 1,2$
Especiais ou de construção	$\gamma_q = 1,2$	$\gamma_e = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_q = 1,0$	$\gamma_e = 0$

3.4.3. Valores dos fatores de combinação

Os fatores de combinação ψ_0 estão indicados na tabela 3.5.

TABELA 3.5. - Valores dos fatores de combinação

Ações em geral	ψ_0
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,4
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em que a ação variável principal tem pequena variabilidade durante grandes intervalos de tempo (exemplo: edifícios de habitação)	0,6
Cargas acidentais dos edifícios	ψ_0
Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4
Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7
Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	ψ_0
Pontes de pedestres	0,4
Pontes rodoviárias	0,6
Pontes ferroviárias, ferrovias não especializadas	0,8

3.5. ANÁLISE DAS COMBINAÇÕES

Tendo em vista o exposto anteriormente, pode-se agora analisar as diversas combinações de ações, visando à verificação de segurança no estado limite último, quando agem, simultaneamente, cargas permanentes, acidentais e efeito do vento.

As cargas permanentes favoráveis levam $\gamma_g = 0,9$ enquanto as desfavoráveis levam $\gamma_g = 1,4$ ou $\gamma_g = 1,3$, para combinações normais, conforme seja classificada em grande ou pequena variabilidade.

Três casos podem ocorrer nas cargas variáveis: $\gamma_q = 0$ para carga com efeito favorável, $\gamma_q = 1,4$ para a ação considerada principal e $\gamma_q = 1,4 \times \psi_0$ para a ação secundária.

Tomando como exemplo o caso em que a carga permanente é considerada de grande variabilidade ($\gamma_g = 1,4$), a carga acidental tem coeficiente de ponderação $\psi_0 = 0,4$ e, na ação do vento, ψ_0 assume valor igual a 0,6; das dezoito combinações possíveis de coeficientes, apenas nove são coerentes e estão relacionadas na tabela 3.6.

TABELA 3.6. - Combinações últimas

N	Permanente	Acidental	Vento
1	1,4	1,4	0,84
2	1,4	1,4	0
3	1,4	0,56	1,4
4	1,4	0	1,4
5	1,4	0	0
6	0,9	1,4	0,84
7	0,9	1,4	0
8	0,9	0,56	1,4
9	0,9	0	1,4

3.6. EXEMPLO

O exemplo, cuja planta é mostrada na Fig. 3.1, apesar de simples, tem a finalidade de ilustrar o processo nas diversas etapas, desde a composição dos vetores de carga até a envoltória de esforços nas barras.

3.6.1. Dados

Pilares 20 x 40cm

Vigas 12 x 50cm

Lajes h = 10cm

Revestimento = 1,00 kN/m²

Carga acidental = 2,00 kN/m²

Paredes sobre as vigas = 5,00 kN/m

Obs: A estrutura é considerada igual, em forma e carregamento, nos dois pavimentos.

3.6.2. Cálculos preliminares

Carga permanente nas lajes = $1,00 + 0,1 \times 25 = 3,50$ kN/m²

Peso próprio das vigas = $0,12 \times 0,50 \times 25 = 1,50$ kN/m²

Para efeito de carga acidental, tem-se três carregamentos básicos:

- a) L1 e L2 carregadas (C1);
- b) apenas L1 carregada (C2);
- c) apenas L2 carregada (C3).

O vento compõe o carregamento C4 e a carga permanente compõe o carregamento C0.

Pavimento Tipo

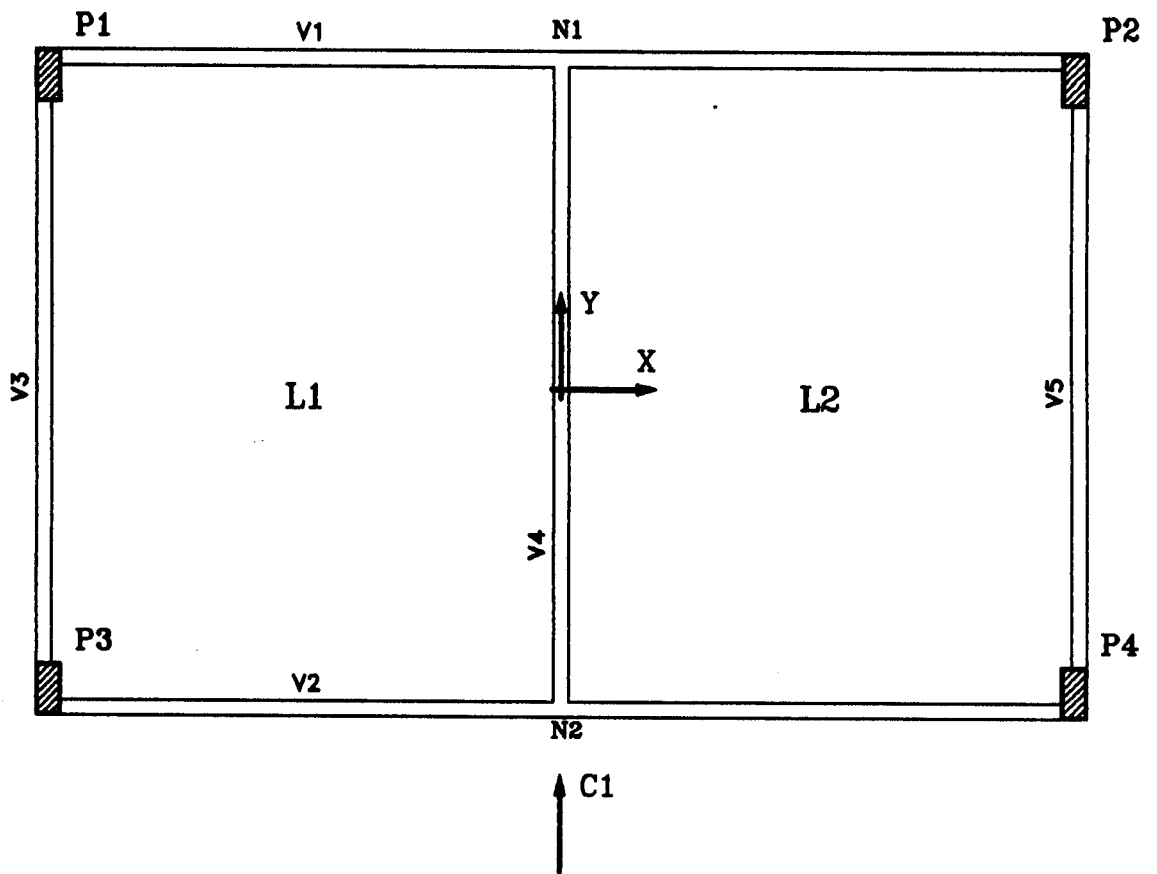


Fig. 3.1 - Edf. Exemplo - Pav. Tipo

3.6.3. Reações de apoio das lajes

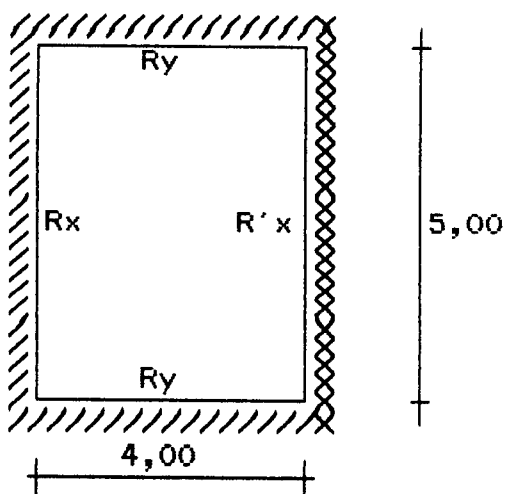


Fig. 3.2 - Reações de apoio das lajes.

Conforme mostrado no apêndice B, as reações da laje acima são:

Carga permanente: $g = 3,50 \text{ kN/m}^2$

$$R_y = 2,44 \text{ kN/m}$$

$$R_x = 3,69 \text{ kN/m}$$

$$R'x = 6,40 \text{ kN/m}$$

Carga acidental: $q = 2,00 \text{ kN/m}^2$

$$R_y = 1,40 \text{ kN/m}$$

$$R_x = 2,10 \text{ kN/m}$$

$$R'x = 3,66 \text{ kN/m}$$

3.6.4. Ações nas extremidades das vigas

Carregamento C0 (permanente)

- Viga 1 = Viga 2

Laje	2,44	Trecho 1	$M_e = -M_d = -11,68$
Parede	5,00	$(\begin{matrix} P_1 - N_1 \\ P_3 - N_2 \end{matrix})^\circ$	$V_e = V_d = -17,70$
P. próprio ..	<u>1,50</u>	Trecho 2	$M_e = -M_d = -11,68$
	8,94 kN/m	$(\begin{matrix} N_1 - P_2 \\ N_2 - P_4 \end{matrix})^\circ$	$V_e = V_d = -17,70$

$$l_1 = l_2 = 3,96 \text{ m}$$

- Viga 3 = Viga 5

Laje 3,69

Parede 5,00

P. próprio .. 1,50

10,19 kN/m

Me = -Md = -18,92

Ve = Vd = -24,05

$l = 4,72$ m

- Viga 4

Laje 12,80

Parede 5,00

P. próprio .. 1,50

19,30 kN/m

Me = -Md = -40,21

Ve = Vd = -48,25

$l = 5,00$ m

Carregamento C1 (L1 e L2 carregadas)

- Viga 1 = Viga 2

$q = 1,40$ kN/m

Trecho 1

$(\begin{matrix} P_1 - N_1 \\ P_3 - N_2 \end{matrix})^\circ$

Me = -Md = -1,83

Ve = Vd = -2,77

Trecho 2

$(\begin{matrix} N_1 - P_2 \\ N_2 - P_4 \end{matrix})^\circ$

Me = -Md = -1,83

Ve = Vd = -2,77

$l_1 = l_2 = 3,96$ m

- Viga 3 = Viga 5

$q = 2,10$ kN/m

Me = -Md = -3,90

Ve = Vd = -4,96

$l = 4,72$ m

- Viga 4

$q = 7,32$ kN/m

Me = -Md = -15,25

Ve = Vd = -18,30

$l = 5,00$ m

Carregamento C2 (L1 carregada)

- Viga 1 = Viga 2

$q_1 = 1,40$ kN/m

Trecho 1

$(\begin{matrix} P_1 - N_1 \\ P_3 - N_2 \end{matrix})^\circ$

Me = -Md = -1,83

Ve = Vd = -2,77

$q_2 = 0$

Trecho 2

$(\begin{matrix} N_1 - P_2 \\ N_2 - P_4 \end{matrix})^\circ$

Me = -Md = 0

Ve = Vd = 0

$l_1 = l_2 = 3,96$ m

- Viga 3

$$q = 2,10 \text{ kN/m}$$

$$M_e = -M_d = -3,90$$

$$V_e = V_d = -4,96$$

$$l = 4,72 \text{ m}$$

- Viga 4

$$q = 3,66 \text{ kN/m}$$

$$M_e = -M_d = -7,63$$

$$V_e = V_d = -9,15$$

$$l = 5,00 \text{ m}$$

- Viga 5

$$q = 0$$

$$M_e = -M_d = 0$$

$$V_e = V_d = 0$$

$$l = 4,72 \text{ m}$$

Carregamento C3 (L2 carregada)

- Viga 1 = Viga 2

$$q_1 = 0$$

Trecho 1

$$M_e = -M_d = 0$$

($P_1 - N_1$,
 $P_3 - N_3$)^o

$$V_e = V_d = 0$$

$$q_2 = 1,40$$

Trecho 2

$$M_e = -M_d = -1,83$$

($N_1 - P_2$,
 $N_2 - P_4$)^o

$$V_e = V_d = -2,77$$

$$l_1 = l_2 = 3,96 \text{ m}$$

- Viga 3

$$q = 0$$

$$M_e = -M_d = 0$$

$$V_e = V_d = 0$$

$$l = 4,72 \text{ m}$$

- Viga 4

$$q = 3,66 \text{ kN/m}$$

$$M_e = -M_d = -7,63$$

$$V_e = V_d = -9,15$$

$$l = 5,00 \text{ m}$$

- Viga 5

$$q = 2,10$$

$$M_e = -M_d = -3,90$$

$$V_e = V_d = -4,96$$

$$l = 4,72 \text{ m}$$

Carregamento C4 (vento)

$$F_x = 0$$

$$F_y = 10 \text{ kN} \quad (\text{Valor adotado para força em cada pavimento})$$

$$M_z = 0$$

Os valores dos esforços, obtidos da análise tridimensional para os seis vetores de carga (C0 a C5, com C5 e -C4), são apresentados na listagem a seguir.

Tomando a viga V5, do primeiro pavimento, como exemplo para o cálculo da envoltória de esforços, tem-se três carregamentos básicos provenientes das cargas acidentais (C1, C2 e C3) e dois provenientes do vento (C4 e -C4), resultando em seis hipóteses diferentes; para cada hipótese, é necessária a verificação das nove combinações de coeficientes, de acordo com a tabela 3.6. Assim, o total de verificações é cinquenta e quatro (54).

A seguir, estão relacionadas algumas verificações, onde os símbolos representam:

q_d = carga distribuída, de cálculo;

Me_d = momento, de cálculo, na extremidade esquerda do tramo;

Md_d = momento, de cálculo, na extremidade direita do tramo;

Ve_d = esforço cortante, de cálculo, na extremidade esquerda do tramo;

Vd_d = esforço cortante, de cálculo, na extremidade direita do tramo;

x = distância do ponto de momento máximo positivo, de cálculo, à extremidade esquerda do tramo ou nó inicial.

Mm_d = momento máximo positivo (tração na fibra inferior), de cálculo, do tramo.

1) Carregamento C0 + C1 + C4

1.1) $\gamma_g = 1,40$ $\gamma_q = 1,40$ $\gamma_v = 0,84$

$q_d = 1,4 \times 10,19 + 1,4 \times 2,10 = 17,21$

$Me_d = 22,97$ $Md_d = -37,20$ $Ve_d = 37,60$ $Vd_d = 43,63$

$x = 2,18$ $Mm_d = 18,10$

1.2) $\gamma_g = 1,40$ $\gamma_q = 1,40$ $\gamma_v = 0$

$q_d = 1,4 \times 10,19 + 1,4 \times 2,10 = 17,21$

$Me_d = 30,09$ $Md_d = -30,09$ $Ve_d = 40,61$ $Vd_d = 40,61$

$x = 2,36$ $Mm_d = 17,84$

1.3) $\gamma_g = 1,40$ $\gamma_q = 0,56$ $\gamma_v = 1,40$

$q_d = 1,4 \times 10,19 + 0,56 \times 2,10 = 15,44$

$Me_d = 15,11$ $Md_d = -38,83$ $Ve_d = 31,41$ $Vd_d = 41,47$

$x = 2,03$ $Mm_d = 16,85$

1.4) $\gamma_g = 1,40$ $\gamma_q = 0$ $\gamma_v = 1,40$

$q_d = 1,4 \times 10,19 = 14,26$

$Me_d = 13,03$ $Md_d = -36,75$ $Ve_d = 28,63$ $Vd_d = 38,68$

$x = 2,01$ $Mm_d = 15,71$

1.5) $\gamma_g = 1,40$ $\gamma_q = 0$ $\gamma_v = 0$

$q_d = 1,4 \times 10,19 = 14,26$

$Me_d = 24,89$ $Md_d = -24,89$ $Ve_d = 33,66$ $Vd_d = 33,66$

$x = 2,36$ $Mm_d = 14,83$

1.6) $\gamma_g = 0,90$ $\gamma_q = 1,40$ $\gamma_v = 0,84$

$q_d = 0,9 \times 10,19 + 1,40 \times 2,10 = 12,12$

$Me_d = 14,08$ $Md_d = -28,31$ $Ve_d = 25,58$ $Vd_d = 31,61$

$x = 2,11$ $Mm_d = 12,92$

1.7) $\gamma_g = 0,90$ $\gamma_q = 1,40$ $\gamma_v = 0$

$q_d = 0,9 \times 10,19 + 1,40 \times 2,10 = 12,12$

$Me_d = 21,20$ $Md_d = -21,20$ $Ve_d = 28,59$ $Vd_d = 28,59$

$x = 2,36$ $Mm_d = 12,55$

$$1.8) \gamma_g = 0,90 \quad \gamma_q = 0,56 \quad \gamma_v = 1,40$$

$$q_d = 0,9 \times 10,19 + 0,56 \times 2,10 = 10,35$$

$$Me_d = 6,22 \quad Md_d = -29,94 \quad Ve_d = 19,39 \quad Vd_d = 29,45$$

$$x = 1,87 \quad Mm_d = 11,95$$

$$1.9) \gamma_g = 0,90 \quad \gamma_q = 0 \quad \gamma_v = 1,40$$

$$q_d = 0,9 \times 10,19 = 9,17$$

$$Me_d = 4,14 \quad Md_d = -27,86 \quad Ve_d = 16,61 \quad Vd_d = 26,66$$

$$x = 1,81 \quad Mm_d = 10,90$$

Analogamente, o mesmo cálculo é feito para:

2) Carregamento C0 + C2 + C4

3) Carregamento C0 + C3 + C4

4) Carregamento C0 + C1 - C4

5) Carregamento C0 + C2 - C4

6) Carregamento C0 + C3 - C4

O momento positivo máximo ocorre para a combinação:

$$6.1) \gamma_g = 1,40 \quad \gamma_q = 1,40 \quad \gamma_v = 0,84$$

$$q_d = 1,4 \times 10,19 + 1,4 \times 2,10 = 17,21$$

$$Me_d = 37,07 \quad Md_d = -22,85 \quad Ve_d = 43,63 \quad Vd_d = 37,60$$

$$x = 2,54 \quad Mm_d = 18,23$$

Apesar da pequena diferença, neste caso, é importante notar que o momento máximo, na viga V5, foi obtido com a laje 2 carregada e a laje 1 descarregada (hipótese 6.1) e não como era de esperar-se na hipótese 1.1 (L1 e L2 carregadas); Para casos onde a carga de utilização é muito grande, essa diferença pode ser significativa.

Com os esforços de cálculo nas extremidades (Me_d , Md_d , Ve_d e Vd_d) e a carga distribuída q_d , obtêm-se os esforços em pontos intermediários do trecho da viga.

Os gráficos das envoltórias de momento e força cortante das vigas do primeiro pavimento são mostrados a seguir, onde são destacados os valores máximos das solicitações de cálculo.

No caso de edifícios com pavimentos repetidos, é conveniente que se faça um projeto e detalhamento únicos para as vigas de uma mesma prumada, pelo menos para um grupo de andares, facilitando a execução das mesmas.

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
EXENVOL

6/12/90 23:43
Pag. 1

DADOS GERAIS

Mod. Deformacao Longitudinal = 2000.0000 kN/cm²
Numero de Andares = 2
Combinacoes de cargas acidentais = 3
Numero de Acoes do Vento = 1

PAVIMENTOS

Andar	Pe-Direito (m)	Nome
2	3.00	EXENVOL
1	3.00	EXENVOL

FORCAS DO VENTO (kN)

Andar	C 1
2	10.0
1	10.0
Seno	1.000
Coss	0.000
XC	0.00
YC	0.00

PAVIMENTO - EXENVOL

Numero de Pilares = 4
Numero de Vigas = 5
Secoes Poligonais de Pilares = 0
Secoes Poligonais de Vigas = 0

CARACTERISTICAS DOS PILARES

Pilar	X (m)	Y (m)	Tipo	Dimensoes (cm)	
1	-4.06	2.36	R	Bx = 20.0	By = 40.0
2	4.06	2.36	R	Bx = 20.0	By = 40.0
3	-4.06	-2.36	R	Bx = 20.0	By = 40.0
4	4.06	-2.36	R	Bx = 20.0	By = 40.0

COORDENADAS DOS NOS DE VIGAS

X 1 = 0.00 Y 1 = 2.50 X 2 = 0.00 Y 2 = -2.50

CARACTERISTICAS DAS VIGAS

V/T	Exc. Iniciais			Exc. Finais			Tp Dim. (cm)
	No	X	Y	No	X	Y	
1 - 1	P 1	0.0	14.0	N 1	0.0	0.0	R 12.0x 50.0

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios
EXENVOL

6/12/90 23:43
 Pag. 2

1 - 2	N 1	0.0	0.0	P 2	0.0	14.0	R	12.0x 50.0
2 - 1	P 3	0.0	-14.0	N 2	0.0	0.0	R	12.0x 50.0
2 - 2	N 2	0.0	0.0	P 4	0.0	-14.0	R	12.0x 50.0
3 - 1	P 3	-4.0	0.0	P 1	-4.0	0.0	R	12.0x 50.0
4 - 1	N 2	0.0	0.0	N 1	0.0	0.0	R	12.0x 50.0
5 - 1	P 4	4.0	0.0	P 2	4.0	0.0	R	12.0x 50.0

CARGAS PERMANENTES NAS VIGAS

V/T	q	P1	a1	P2	a2	P3	a3
1 - 1	6.5						
1 - 2	6.5						
2 - 1	6.5						
2 - 2	6.5						
3 - 1	6.5						
4 - 1	6.5						
5 - 1	6.5						

LAJES RETANGULARES

Laje Reta 1 L1 = 4.00 L2 = 5.00 G = 3.50 Q = 2.00
 Combinacoes = 1, 2,
 Lado Vinculo Vigas

1	A	V 1 - 1
2	E	V 4 - 1
3	A	V 2 - 1
4	A	V 3 - 1

Laje Reta 2 L1 = 4.00 L2 = 5.00 G = 3.50 Q = 2.00
 Combinacoes = 1, 3,
 Lado Vinculo Vigas

1	A	V 1 - 2
2	A	V 5 - 1
3	A	V 2 - 2
4	E	V 4 - 1

ANALISE TRIDIMENSIONAL DE ESFORÇOS
 ESFORÇOS NAS BARRAS
 BENIGNO MARCELO CARDOSO RIOS
 Arquivo: EXENVOL

Em: 6/ 6/90

 ANDAR 1

PILARES

Pilar	Carga	N	Vx	Vy	Mxs	Mxi	Mys	Myi
1	0	168.97	-13.02	1.52	3.03	1.52	26.04	13.02
1	1	39.58	-3.49	0.27	0.53	0.27	6.98	3.49
1	2	27.67	-1.74	0.39	0.77	0.39	3.60	1.63
1	3	11.91	-1.74	-0.12	-0.24	-0.12	3.38	1.86
1	4	5.54	0.02	5.00	5.57	9.43	-0.04	-0.02
2	0	168.97	13.02	1.52	3.03	1.52	-26.04	-13.02
2	1	39.58	3.49	0.27	0.53	0.27	-6.98	-3.49
2	2	11.91	1.74	-0.12	-0.24	-0.12	-3.38	-1.86
2	3	27.67	1.74	0.39	0.77	0.39	-3.60	-1.63
2	4	5.54	-0.02	5.00	5.57	9.43	0.04	0.02
3	0	168.97	-13.02	-1.52	-3.03	-1.52	26.04	13.02
3	1	39.58	-3.49	-0.27	-0.53	-0.27	6.98	3.49
3	2	27.67	-1.74	-0.39	-0.77	-0.39	3.60	1.63
3	3	11.91	-1.74	0.12	0.24	0.12	3.38	1.86
3	4	-5.54	-0.02	5.00	5.57	9.43	0.04	0.02
4	0	168.97	13.02	-1.52	-3.03	-1.52	-26.04	-13.02
4	1	39.58	3.49	-0.27	-0.53	-0.27	-6.98	-3.49
4	2	11.91	1.74	0.12	0.24	0.12	-3.38	-1.86
4	3	27.67	1.74	-0.39	-0.77	-0.39	-3.60	-1.63
4	4	-5.54	0.02	5.00	5.57	9.43	-0.04	-0.02

VIGAS

Viga	Trecho	Carga	Me	Md	Ve	Vd
1	1	0	75.59	96.11	60.45	-24.13
1	1	1	20.20	28.45	14.82	-9.15
1	1	2	10.31	14.23	8.88	-3.21
1	1	3	9.90	14.23	5.94	-5.94
1	1	4	0.04	-0.04	-0.00	0.00
1	2	0	-96.11	-75.59	-24.13	60.45
1	2	1	-28.45	-20.20	-9.15	14.82
1	2	2	-14.23	-9.90	-5.94	5.94
1	2	3	-14.23	-10.31	-3.21	8.88
1	2	4	0.04	-0.04	0.00	-0.00
2	1	0	75.59	96.11	60.45	-24.13
2	1	1	20.20	28.45	14.82	-9.15
2	1	2	10.31	14.23	8.88	-3.21
2	1	3	9.90	14.23	5.94	-5.94
2	1	4	-0.04	0.04	0.00	-0.00

2	2	0	-96.11	-75.59	-24.13	60.45
2	2	1	-28.45	-20.20	-9.15	14.82
2	2	2	-14.23	-9.90	-5.94	5.94
2	2	3	-14.23	-10.31	-3.21	8.88
2	2	4	-0.04	0.04	-0.00	0.00
3	1	0	17.78	-17.78	24.04	24.04
3	1	1	3.71	-3.71	4.97	4.97
3	1	2	3.62	-3.62	4.97	4.97
3	1	3	0.09	-0.09	-0.00	0.00
3	1	4	-8.47	-8.47	-3.59	3.59
4	1	0	0.00	-0.00	48.27	48.27
4	1	1	0.00	-0.00	18.29	18.29
4	1	2	0.00	-0.00	9.15	9.15
4	1	3	0.00	-0.00	9.15	9.15
4	1	4	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
5	1	0	17.78	-17.78	24.04	24.04
5	1	1	3.71	-3.71	4.97	4.97
5	1	2	0.09	-0.09	0.00	-0.00
5	1	3	3.62	-3.62	4.97	4.97
5	1	4	-8.47	-8.47	-3.59	3.59

 ANDAR 2

PILARES

Pilar	Carga	N	Vx	Vy	Mxs	Mxi	Mys	Myi
1	0	84.49	-35.57	4.77	8.02	6.29	58.12	48.59
1	1	19.79	-9.53	0.84	1.41	1.10	15.58	13.02
1	2	13.82	-4.77	1.22	2.05	1.61	7.80	6.50
1	3	5.97	-4.77	-0.38	-0.64	-0.50	7.78	6.52
1	4	1.95	0.04	2.50	4.60	2.90	-0.05	-0.06
2	0	84.49	35.57	4.77	8.02	6.29	-58.12	-48.59
2	1	19.79	9.53	0.84	1.41	1.10	-15.58	-13.02
2	2	5.97	4.77	-0.38	-0.64	-0.50	-7.78	-6.52
2	3	13.82	4.77	1.22	2.05	1.61	-7.80	-6.50
2	4	1.95	-0.04	2.50	4.60	2.90	0.05	0.06
3	0	84.49	-35.57	-4.77	-8.02	-6.29	58.12	48.59
3	1	19.79	-9.53	-0.84	-1.41	-1.10	15.58	13.02
3	2	13.82	-4.77	-1.22	-2.05	-1.61	7.80	6.50
3	3	5.97	-4.77	0.38	0.64	0.50	7.78	6.52
3	4	-1.95	-0.04	2.50	4.60	2.90	0.05	0.06
4	0	84.49	35.57	-4.77	-8.02	-6.29	-58.12	-48.59
4	1	19.79	9.53	-0.84	-1.41	-1.10	-15.58	-13.02
4	2	5.97	4.77	0.38	0.64	0.50	-7.78	-6.52
4	3	13.82	4.77	-1.22	-2.05	-1.61	-7.80	-6.50
4	4	-1.95	0.04	2.50	4.60	2.90	-0.05	-0.06

VIGAS

Viga	Trecho	Carga	Me	Md	Ve	Vd
1	1	0	59.08	112.62	60.45	-24.13
1	1	1	15.78	32.87	14.82	-9.15
1	1	2	8.00	16.44	8.85	-3.18
1	1	3	7.78	16.44	5.97	-5.97
1	1	4	0.03	-0.03	-0.00	0.00
1	2	0	-112.62	-59.08	-24.13	60.45
1	2	1	-32.87	-15.78	-9.15	14.82
1	2	2	-16.44	-7.78	-5.97	5.97
1	2	3	-16.44	-8.00	-3.18	8.85
1	2	4	0.03	-0.03	0.00	-0.00
2	1	0	59.08	112.62	60.45	-24.13
2	1	1	15.78	32.87	14.82	-9.15
2	1	2	8.00	16.44	8.85	-3.18
2	1	3	7.78	16.44	5.97	-5.97
2	1	4	-0.03	0.03	0.00	-0.00
2	2	0	-112.62	-59.08	-24.13	60.45
2	2	1	-32.87	-15.78	-9.15	14.82
2	2	2	-16.44	-7.78	-5.97	5.97
2	2	3	-16.44	-8.00	-3.18	8.85
2	2	4	-0.03	0.03	0.00	0.00
3	1	0	16.49	-16.49	24.04	24.04
3	1	1	3.48	-3.48	4.97	4.97
3	1	2	3.29	-3.29	4.97	4.97
3	1	3	0.19	-0.19	0.00	-0.00
3	1	4	-4.60	-4.60	-1.95	1.95
4	1	0	0.00	-0.00	48.27	48.27
4	1	1	0.00	-0.00	18.29	18.29
4	1	2	0.00	-0.00	9.15	9.15
4	1	3	0.00	-0.00	9.15	9.15
4	1	4	0.00	0.00	-0.00	0.00
5	1	0	16.49	-16.49	24.04	24.04
5	1	1	3.48	-3.48	4.97	4.97
5	1	2	0.19	-0.19	0.00	-0.00
5	1	3	3.29	-3.29	4.97	4.97
5	1	4	-4.60	-4.60	-1.95	1.95

ANALISE TRIDIMENSIONAL DE EDIFICIOS ALTOS
 ENVOLTORIA DE ESFORÇOS
 BENIGNO MARCELO CARDOSO RIOS
 Arquivo: EXENVOL

Em: 6/ 6/90

 **
 ** GRUPO 1 **
 ** Andar 1 ao 1 **
 **

Viga 1 - 1 Mm = 174.42 X = 4.06
 M1 -134.14 -92.55 -53.35 -16.53 9.33 25.77 40.56 54.02 66.15 76.96 86.44
 M2 -67.98 -46.55 -26.45 -7.68 18.31 50.00 79.66 106.93 131.81 154.31 174.42
 V1 105.37 99.50 93.62 87.74 81.86 75.98 70.10 64.23 58.35 52.47 46.59
 V2 54.40 51.13 47.87 44.60 41.33 38.06 34.79 31.52 28.26 24.99 21.72

Viga 1 - 2 Mm = 174.42 X = 0.00
 M1 86.44 76.96 66.15 54.02 40.56 25.77 9.33 -16.53 -53.35 -92.55 -134.14
 M2 174.42 154.31 131.81 106.93 79.66 50.00 18.31 -7.68 -26.45 -46.55 -67.98
 V1 -21.72 -24.99 -28.26 -31.52 -34.79 -38.06 -41.33 -44.60 -47.87 -51.13 -54.40
 V2 -46.59 -52.47 -58.35 -64.23 -70.10 -75.98 -81.86 -87.74 -93.62 -99.50 -105.37

Viga 2 - 1 Mm = 174.42 X = 4.06
 M1 -134.14 -92.55 -53.35 -16.53 9.33 25.77 40.56 54.02 66.15 76.96 86.44
 M2 -67.98 -46.55 -26.45 -7.68 18.31 50.00 79.66 106.93 131.81 154.31 174.42
 V1 105.37 99.50 93.62 87.74 81.86 75.98 70.10 64.23 58.35 52.47 46.59
 V2 54.40 51.13 47.87 44.60 41.33 38.06 34.79 31.52 28.26 24.99 21.72

Viga 2 - 2 Mm = 174.42 X = 0.00
 M1 86.44 76.96 66.15 54.02 40.56 25.77 9.33 -16.53 -53.35 -92.55 -134.14
 M2 174.42 154.31 131.81 106.93 79.66 50.00 18.31 -7.68 -26.45 -46.55 -67.98
 V1 -21.72 -24.99 -28.26 -31.52 -34.79 -38.06 -41.33 -44.60 -47.87 -51.13 -54.40
 V2 -46.59 -52.47 -58.35 -64.23 -70.10 -75.98 -81.86 -87.74 -93.62 -99.50 -105.37

Viga 3 - 1 Mm = 18.22 X = 2.18
 M1 -38.83 -20.98 -6.83 0.65 6.08 9.40 6.08 0.65 -6.83 -20.98 -38.83
 M2 -4.15 2.67 7.71 13.94 17.46 17.96 17.46 13.94 7.71 2.67 -4.15
 V1 43.63 35.50 27.38 19.60 12.31 5.02 0.70 -3.63 -7.96 -12.28 -16.61
 V2 16.61 12.28 7.96 3.63 -0.70 -5.02 -12.31 -19.60 -27.38 -35.50 -43.63

Viga 4 - 1 Mm = 116.48 X = 2.50
 M1 -0.00 19.55 34.75 45.61 52.13 54.30 52.13 45.61 34.75 19.55 -0.00
 M2 -0.00 41.93 74.55 97.84 111.82 116.48 111.82 97.84 74.55 41.93 0.00
 V1 93.18 74.55 55.91 37.27 18.64 0.00 -8.69 -17.38 -26.06 -34.75 -43.44
 V2 43.44 34.75 26.06 17.38 8.69 -0.00 -18.64 -37.27 -55.91 -74.55 -93.18

Viga 5 - 1 Mm = 18.22 X = 2.54
 M1 -38.83 -20.98 -6.83 0.65 6.08 9.40 6.08 0.65 -6.83 -20.98 -38.83
 M2 -4.15 2.67 7.71 13.94 17.46 17.96 17.46 13.94 7.71 2.67 -4.15
 V1 43.63 35.50 27.38 19.60 12.31 5.02 0.70 -3.63 -7.96 -12.28 -16.61
 V2 16.61 12.28 7.96 3.63 -0.70 -5.02 -12.31 -19.60 -27.38 -35.50 -43.63

 **
 ** GRUPO 2 **
 ** Andar 2 ao 2 **
 **

Viga 1 - 1 Mm = 203.71 X = 4.06

M1	-104.82	-63.24	-24.03	6.37	24.53	40.64	55.43	68.89	81.03	91.84	101.32
M2	-53.14	-31.71	-11.62	13.55	47.25	79.30	108.95	136.22	161.10	183.60	203.71
V1	105.37	99.50	93.62	87.74	81.86	75.98	70.10	64.23	58.35	52.47	46.59
V2	54.40	51.13	47.87	44.60	41.33	38.06	34.79	31.52	28.26	24.99	21.72

Viga 1 - 2 Mm = 203.71 X = 0.00

M1	101.32	91.84	81.03	68.89	55.43	40.64	24.53	6.37	-24.03	-63.24	-104.82
M2	203.71	183.60	161.10	136.22	108.95	79.30	47.25	13.55	-11.62	-31.71	-53.14
V1	-21.72	-24.99	-28.26	-31.52	-34.79	-38.06	-41.33	-44.60	-47.87	-51.13	-54.40
V2	-46.59	-52.47	-58.35	-64.23	-70.10	-75.98	-81.86	-87.74	-93.62	-99.50	-105.37

Viga 2 - 1 Mm = 203.71 X = 4.06

M1	-104.82	-63.24	-24.03	6.37	24.53	40.64	55.43	68.89	81.03	91.84	101.32
M2	-53.14	-31.71	-11.62	13.55	47.25	79.30	108.95	136.22	161.10	183.60	203.71
V1	105.37	99.50	93.62	87.74	81.86	75.98	70.10	64.23	58.35	52.47	46.59
V2	54.40	51.13	47.87	44.60	41.33	38.06	34.79	31.52	28.26	24.99	21.72

Viga 2 - 2 Mm = 203.71 X = 0.00

M1	101.32	91.84	81.03	68.89	55.43	40.64	24.53	6.37	-24.03	-63.24	-104.82
M2	203.71	183.60	161.10	136.22	108.95	79.30	47.25	13.55	-11.62	-31.71	-53.14
V1	-21.72	-24.99	-28.26	-31.52	-34.79	-38.06	-41.33	-44.60	-47.87	-51.13	-54.40
V2	-46.59	-52.47	-58.35	-64.23	-70.10	-75.98	-81.86	-87.74	-93.62	-99.50	-105.37

Viga 3 - 1 Mm = 20.31 X = 2.46

M1	-31.83	-14.71	-2.48	3.92	8.27	10.42	8.27	3.92	-2.48	-14.71	-31.83
M2	-8.39	-0.49	6.46	14.11	19.09	20.23	19.09	14.11	6.46	-0.49	-8.39
V1	42.25	34.13	26.01	17.88	10.02	2.73	-1.60	-5.92	-10.25	-14.58	-18.90
V2	18.90	14.58	10.25	5.92	1.60	-2.73	-10.02	-17.88	-26.01	-34.13	-42.25

Viga 4 - 1 Mm = 116.48 X = 2.50

M1	-0.00	19.55	34.75	45.61	52.13	54.30	52.13	45.61	34.75	19.55	-0.00
M2	-0.00	41.93	74.55	97.84	111.82	116.48	111.82	97.84	74.55	41.93	0.00
V1	93.18	74.55	55.91	37.27	18.64	0.00	-8.69	-17.38	-26.06	-34.75	-43.44
V2	43.44	34.75	26.06	17.38	8.69	-0.00	-18.64	-37.27	-55.91	-74.55	-93.18

Viga 5 - 1 Mm = 20.31 X = 2.26

M1	-31.83	-14.71	-2.48	3.92	8.27	10.42	8.27	3.92	-2.48	-14.71	-31.83
M2	-8.39	-0.49	6.46	14.11	19.09	20.23	19.09	14.11	6.46	-0.49	-8.39
V1	42.25	34.13	26.01	17.88	10.02	2.73	-1.60	-5.92	-10.25	-14.58	-18.90
V2	18.90	14.58	10.25	5.92	1.60	-2.73	-10.02	-17.88	-26.01	-34.13	-42.25

Edificio : EXENVOL
Grupo N. 1 Pavimento : EXENVOL
Viga 1 escala = 1/ 50

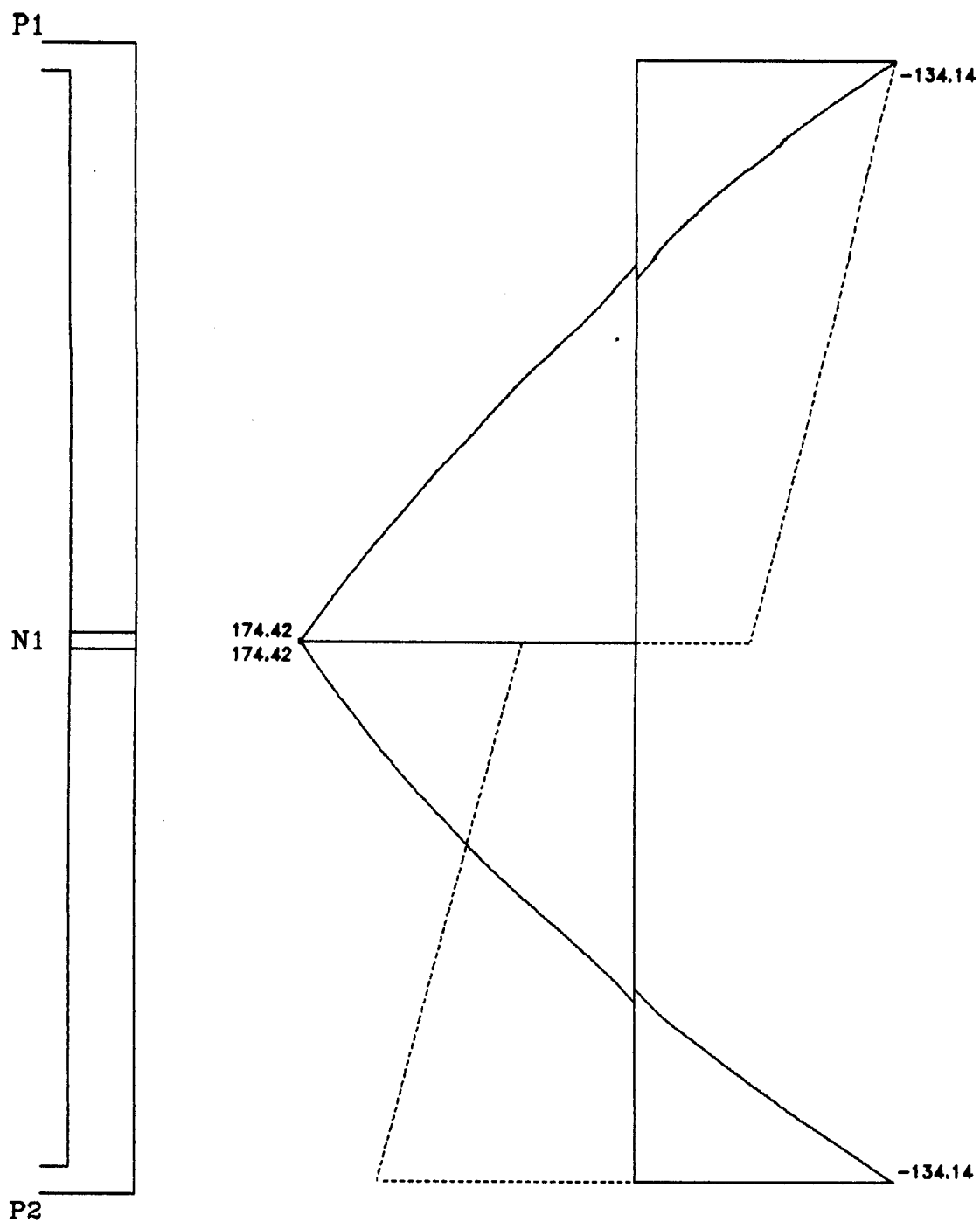


Fig. 3.3 - Viga V1 e V2 do 1º pavimento

Edifício : EXENVOL
Grupo N. 1 Pavimento : EXENVOL
Viga 4 escala = 1/ 50

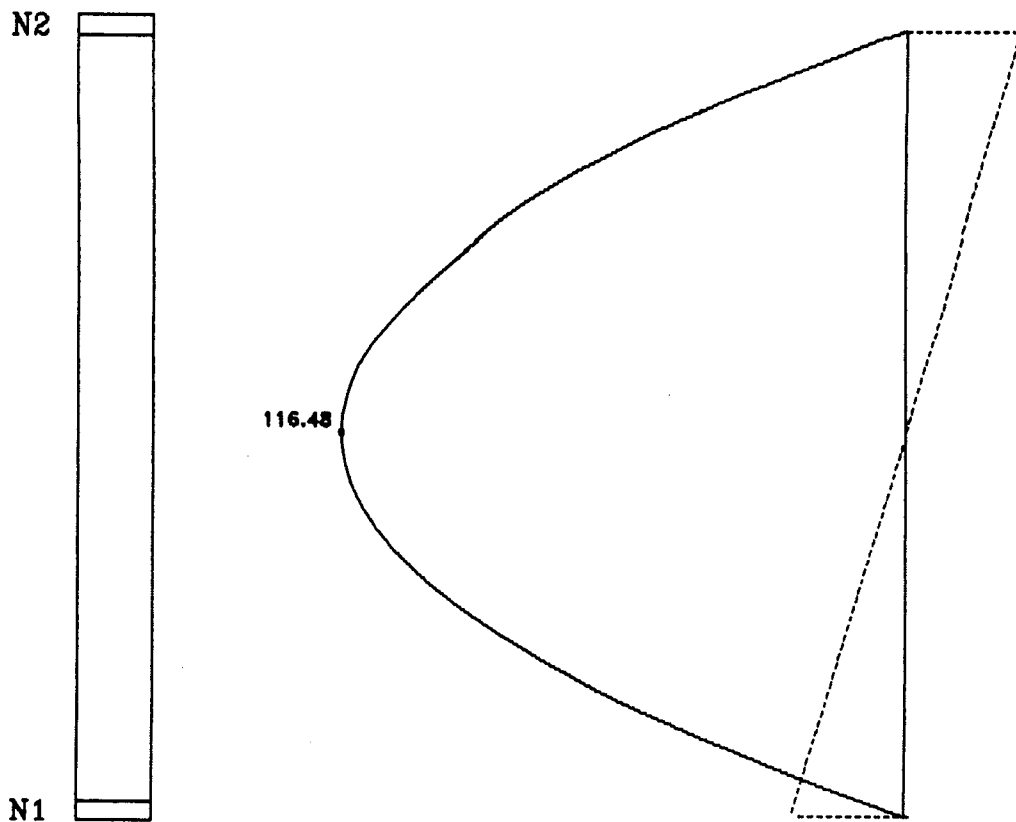


Fig. 3.4 - Viga V4 do 1º pavimento

Edifício : EXENVOL
Grupo N. 1 Pavimento : EXENVOL
Viga 5 escala = 1/ 50

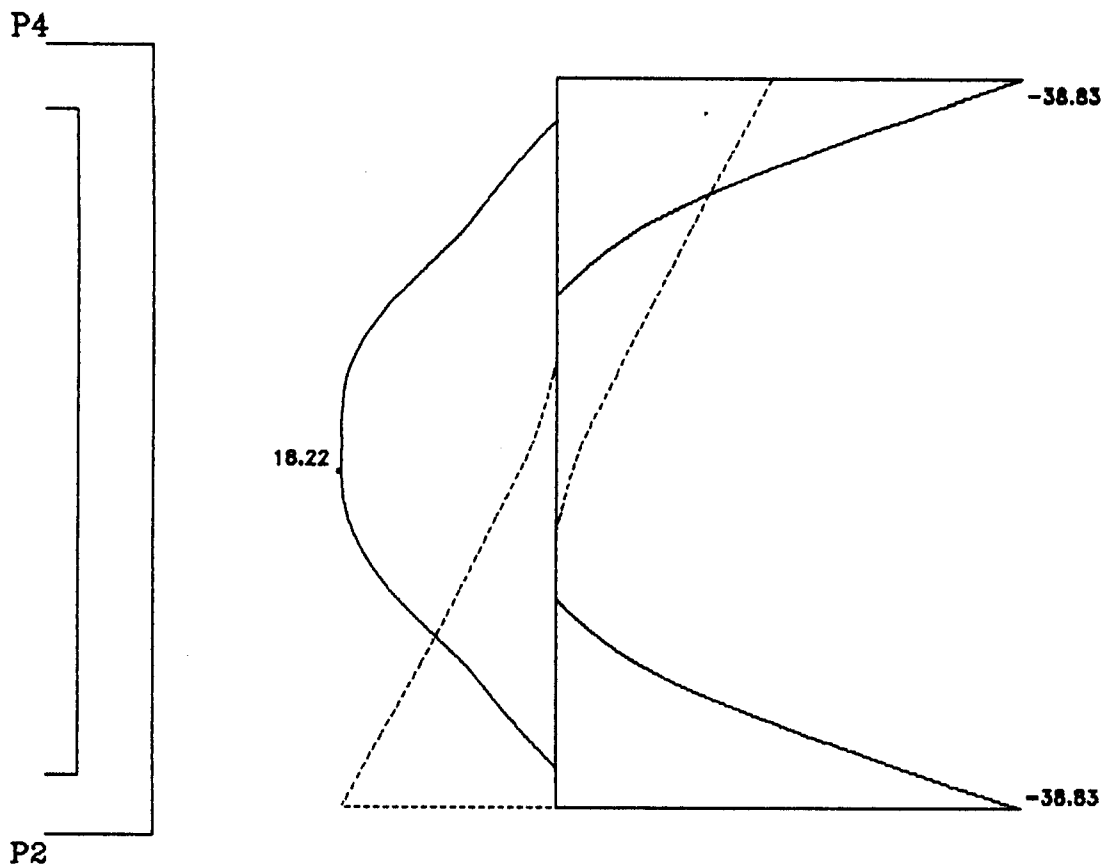


Fig. 3.5 - Viga V5 do 1º pavimento

4. PROGRAMAS PARA SISTEMATIZAÇÃO DO CÁLCULO

4.1. GENERALIDADES

Os oito programas, que compõem o sistema, estão divididos em cinco grupos: ação do vento, entrada de dados, resolução de esforços, envoltória e desenhos. Esses programas interagem por arquivos de dados, desde o cálculo das forças devidas à ação do vento, até o desenho, em escala, da envoltória de esforços da viga.

Os programas foram desenvolvidos separadamente, com a intenção de aproveitar melhor a memória do computador, armazenando apenas o necessário.

Foi utilizada a linguagem Turbo PASCAL e micro-computador da linha PC-XT com disco rígido.

A Fig 4.1 mostra o fluxo de dados nos diversos programas, onde as expressões abaixo significam:

ARQPAV: nome de um arquivo que se refere a um pavimento ou subestrutura;

ARQEDF: nome de um arquivo que se refere ao edifício.

As extensões dos nomes dos arquivos são criadas sempre internamente e estão relacionadas a seguir:

ADV: dados do edifício para o cálculo da ação do vento;

ADP: dados, do pavimento, referentes às características geométricas e carregamento vertical;

ADG e ADN: dados do edifício, referentes aos pés-direitos, módulo de deformação longitudinal, nomes dos arquivos dos pavimentos e forças horizontais;

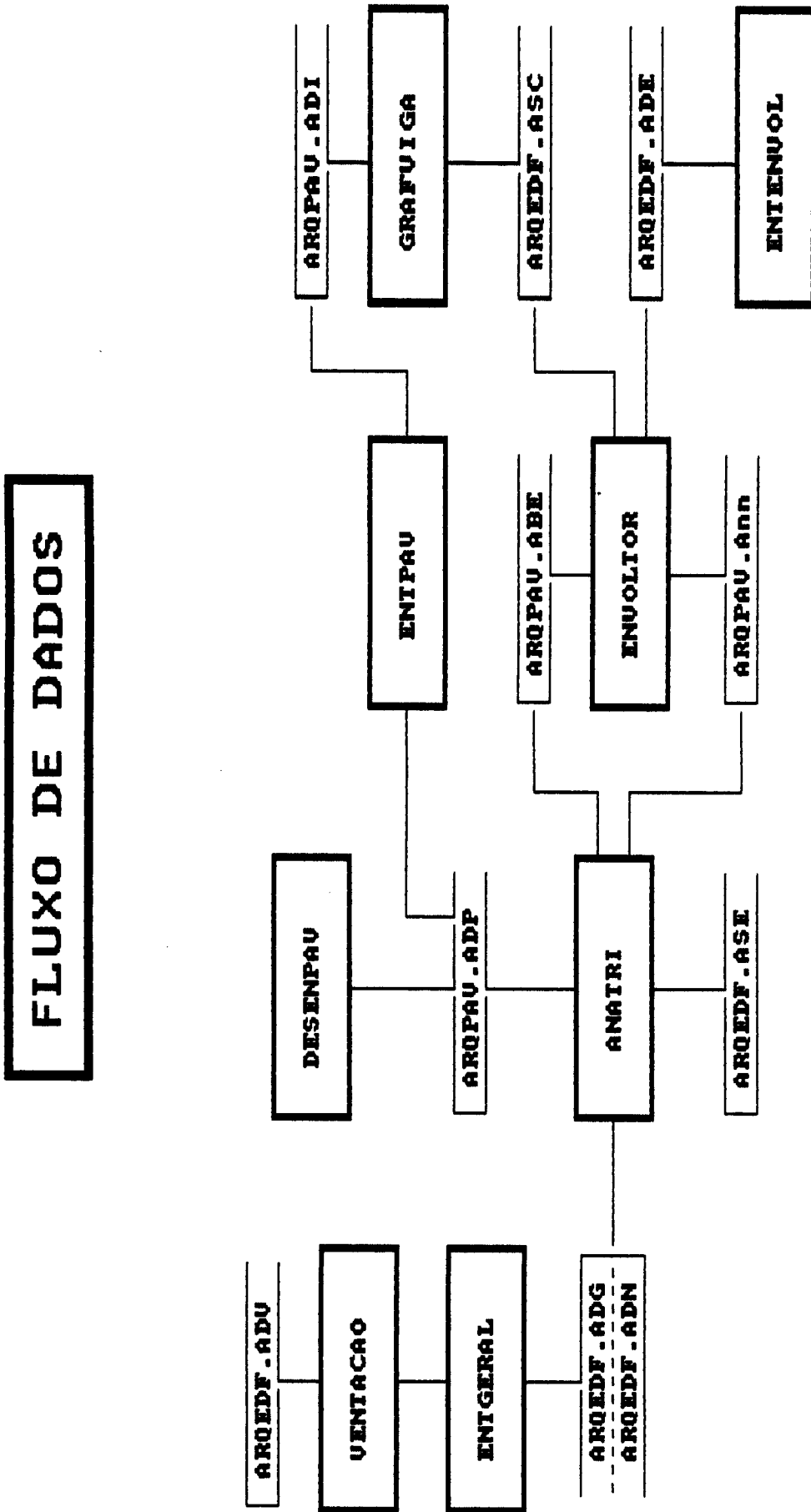


FIGURA 4.1 - Fluxo de dados no sistema

ADE: dados do edifício, para envoltória de esforços;
ABE: dados modificados do pavimento, para o cálculo da envoltória;
ASE: arquivo listável, contendo os esforços;
Ann: esforços do andar *nn*, para o cálculo da envoltória;
ASC: arquivo listável, contendo os esforços máximos e mínimos ao longo das vigas;
ADI: arquivo de dados, para impressão gráfica.

Na utilização de qualquer programa, é suficiente digitar o nome do mesmo, seguido do nome do arquivo de dados a ser utilizado (sem extensão). Caso esse parâmetro não seja passado, o arquivo pode ser lido internamente.

4.2. ENTRADA DE DADOS

Os programas de entrada de dados dividem-se em: ENTPAV, para os dados do pavimento, ENTGERAL, para os dados gerais do edifício e ENTENVOL, para os dados da envoltória.

A entrada dos dados dá-se de maneira sequenciada ou não. É necessário, apenas, entrar com os dados gerais em primeiro lugar (Quadro 1). Depois disso, pode-se desobedecer a seqüência oferecida pelo menu. Nenhum dado é pedido pelo programa; o usuário insere aquilo que é conveniente, apertando a tecla correspondente à inserção. Cada tela pode ser vista com parte dos dados, sem que seja necessário inserir ou modificar algo. Qualquer dado pode ser alterado a qualquer momento. Os menus têm sempre uma opção de retorno para o menu de ordem superior.

Os menus podem ser de dois tipos:

a) menus de barras: são aqueles onde as setas para cima (↑) e para baixo (↓) funcionam para mudar a opção. A tecla ENTER torna a opção verdadeira. No caso de escolha errada,

basta retornar ao mesmo menu;

b) menus de rodapé: são aqueles que aparecem em telas de dados, onde as opções são escolhidas por números. O número ZERO e a tecla ESC correspondem sempre ao retorno para o menu anterior.

4.2.1. ENTPAV

Nesse programa, são inseridos os dados geométricos e os carregamentos verticais do pavimento. Na seção de desenhos, pode ser visualizada a planta ou parte dela, na tela, ou ainda, em escala maior, o detalhe de um pilar apenas. Pode ser escolhida uma combinação de unidades para os dados, no sentido de dar uma melhor apresentação nas tabelas. Além disso, seria incômodo, por exemplo, utilizar carga distribuída, na laje, em kN/cm^2 , porque as dimensões de vigas e pilares estariam em cm. Todos os ajustes são feitos internamente.

As diversas partes da edição de dados, são descritas a seguir:

a) coordenadas dos pilares: são coordenadas cartesianas do centro do pilar circular ou retangular (Quadro 2). No caso de pilares com seção poligonal, as coordenadas são de um ponto de referência arbitrário do pilar, pertencente a ele ou não. A translação e a rotação para os eixos principais de inércia são feitas internamente. O importante é que esse ponto será referência também para as excentricidades de vigas, se houver. As coordenadas dos pilares podem ser geradas automaticamente nos casos em que estejam alinhados em uma das direções X ou Y, ou formem uma malha;

b) dimensões dos pilares: são os dois lados de pilares retangulares ou o raio do pilar circular (Quadro 3). Só são considerados pilares retangulares aqueles que têm os lados paralelos aos eixos globais X e Y. Em pilares

poligonais, é indicada uma referência a um tipo de seção definida no item a seguir;

c) dimensões de um pilar poligonal (Quadro 4): as seções são definidas através de coordenadas cartesianas dos vértices dos pilares, tomando os eixos paralelos aos globais, com origem no ponto de referência citado no item a, (Fig. 4.2);

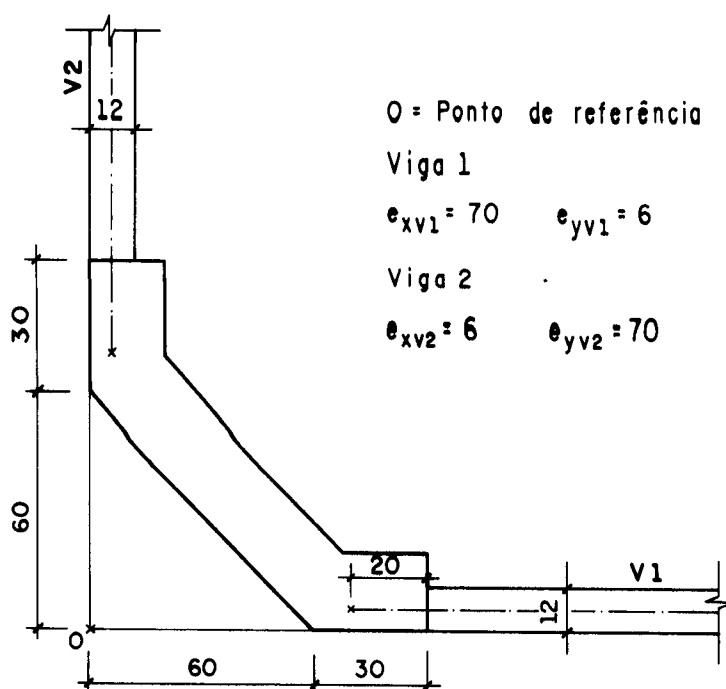


Fig. 4.2 - Seção poligonal de pilar

d) para cada extremidade de trecho de viga é informado o tipo de nó, que pode ser um pilar ou nó de viga (Quadro 5). No primeiro caso, uma excentricidade é admitida em relação ao centro do mesmo. Quando o pilar for poligonal, a excentricidade é medida a partir do ponto de referência, de acordo com a Fig. 4.2. São informadas, também, as dimensões da seção transversal, para o caso de retângulo, e a referência para uma "seção tipo", no caso de seção poligonal. A "seção tipo" de viga também é caracterizada por coordenadas de vértice, mas, é importante observar que o eixo vertical também é eixo de simetria da seção;

e) a carga permanente, no trecho de viga, é

oriunda do seu peso próprio, parede nele apoiada, e outras. É admitida, para cada trecho, uma carga uniformemente distribuída ao longo de todo o trecho e até três cargas concentradas, de acordo com o Quadro 6;

f) as lajes podem ser de dois tipos: retangulares ou de formato poligonal qualquer. Nas lajes retangulares (Quadro 7), são fornecidos os trechos de viga em que estas se apoiam, as cargas permanente e acidental e as dimensões. Os valores das reações de apoio são calculados de acordo com o apêndice B ou pela NBR-6118^[11], conforme opção do usuário. Em lajes de qualquer formato, as reações de apoio devem ser fornecidas pelo usuário. Para cada laje e cada carregamento básico acidental, é informado se a sua carga será computada ou não;

g) na fase de projeto, muitas vezes tem-se a necessidade de inserir ou retirar uma viga ou pilar. A numeração é alterada e, para facilitar esta modificação nos dados, o programa permite que se renumerem os elementos, pedindo apenas os pilares ou vigas inicial e final do grupo a ser relocado e o incremento, positivo ou negativo. No caso da renumeração de pilares, por exemplo, as vigas que neles se apoiam são automaticamente corrigidas para o novo número de apoio;

h) as coordenadas X e Y, no plano da laje, são fornecidas em cada nó de viga, conforme o Quadro 8.

Nesse programa, é criado o arquivo com o nome do pavimento e extensão ADP.

4.2.2. ENTGERAL

Nesse programa, são fornecidos os dados gerais do edifício, tais como:

a) pés-direitos (Quadro 9);

- b) nomes dos pavimentos (Quadro 10);
- c) forças horizontais: além das forças em cada andar (Quadro 11), são fornecidos o seno e o cosseno do ângulo formado entre a direção da força e o eixo X global da estrutura e um ponto (X,Y) qualquer pertencente à sua linha de ação (Quadro 12);
- d) módulo de deformação longitudinal;
- e) as unidades também podem ser escolhidas (Quadro 13).

São criados os arquivos com extensões ADN e ADG.

4.2.3. ENTENVOL

Esse programa visa à entrada dos dados para a envoltória de esforços. Quando só interessar a resolução dos esforços para os carregamentos básicos em estudo, sem a combinação dos mesmos, não é necessária a sua utilização.

Os dados são:

- a) matriz de coeficientes, γ_f , para combinação última, segundo a NBR-8681. O programa é inicializado com a matriz apresentada na tabela 3.6, do capítulo 3 (Quadro 14);
- b) número de seções a verificar em cada trecho de viga;
- c) agrupamento de andares, ou seja, para um grupo de andares iguais em forma, pode-se fazer a envoltória de um trecho de viga com as verificações previstas, envolvendo os esforços dos diversos andares.

O arquivo criado tem extensão ADE.

4.3. AÇÃO DO VENTO

Esse programa tem a finalidade de calcular as forças em cada andar, devidas à ação estática do vento. Nele são inseridos os dados, calculadas as forças e apresentadas na tela em forma de tabela. A teoria segue o descrito no apêndice A.

Os dados necessários são:

- a) velocidade básica do vento (m/s);
- b) coeficiente de arrasto;
- c) dimensões da edificação (m);
- d) topografia;
- e) rugosidade.

Os menus funcionam como descrito no item 4.2.

4.4. RESOLUÇÃO DE ESFORÇOS

Os esforços, obtidos da análise tridimensional, são calculados de acordo com a teoria apresentada no capítulo 2. Dois subprogramas compõem a resolução, formando o ANATRI, descrito a seguir. Quando se deseja processar mais de um arquivo, o comando é dado:

```
ANATRI ARGEDF1 ARGEDF2 ARGEDF3 ...
```

Quando o comando ANATRI é dado sem parâmetro, uma lista de arquivos é mostrada em um menu de opções.

O quadro 15 representa a tela que acompanha a resolução de esforços.

4.4.1. ANATRI

O programa ANATRI chama primeiro o subprograma com nome de TRANSDAT, que faz os cálculos preliminares e cria arquivos provisórios, no sentido de condensar os dados e diminuir o tamanho do programa principal. A seguir, estão relacionados os cálculos realizados pelo TRANSDAT:

a) calcula as reações das lajes retangulares nas vigas, seja por elementos finitos (apêndice B) ou pela NBR-6118^[11], e acumula nos valores dos carregamentos básicos;

b) calcula as características geométricas dos pilares, como centro de gravidade, inércias e ângulo de giro dos eixos principais;

c) calcula as características geométricas da seção transversal do trecho de viga, novas excentricidades em relação aos eixos principais do pilar situado no seu extremo, comprimento do trecho flexível, ângulos de incidência em relação a cada sistema de referência do nó de extremidade e ações, nos nós, devidas à carga vertical do trecho de viga;

d) decompõe as forças do vento em F_x , F_y e M_z .

Utilizando os arquivos oriundos do TRANSDAT, o programa ANATRI efetua a resolução automática dos esforços, eliminando, no final, esses arquivos temporários, criando um arquivo listável com os esforços; para as vigas, são impressos M_e , M_d , V_e e V_d , conforme a Fig. 4.3a e, para os pilares, os esforços de acordo com a Figura 4.3b.

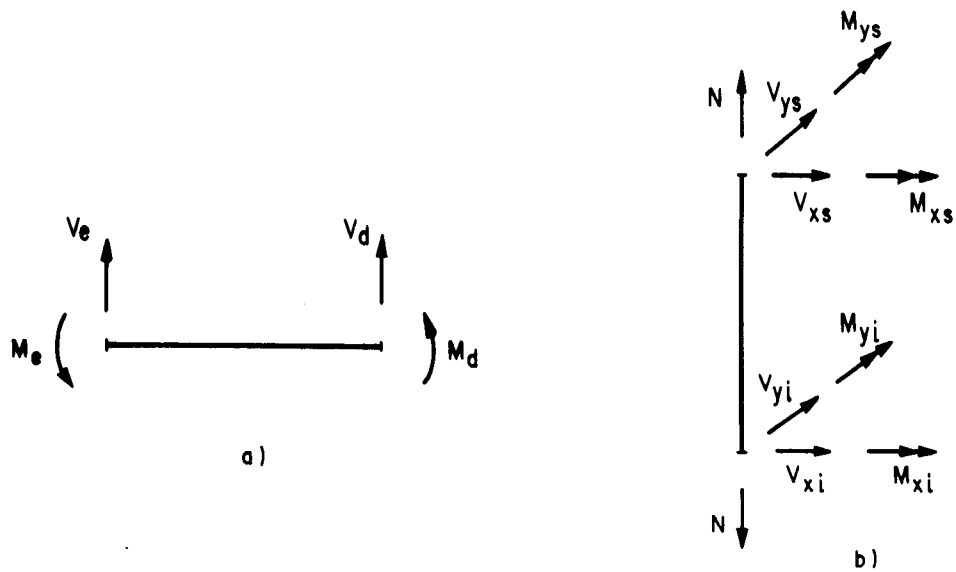


FIGURA 4.3 - Convenção utilizada na apresentação dos resultados

O limite de sessenta e seis (66) nós (pilares + nós de vigas) por pavimento é imposto pela memória central de 640 kBytes do micro-computador. Esse valor é satisfatório para os casos da prática.

As matrizes $[R]_{k,k}$ e $[R]_{k-1,k-1}$, definidas no item 2.12, são armazenadas em apenas uma matriz (Fig. 4.4), uma vez que são simétricas.

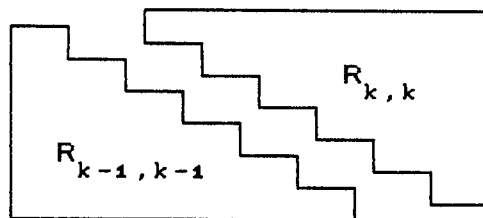


Fig. 4.4 - Armazenamento das matrizes simétricas

4.5. ENVOLTÓRIA (ENVOLTOR)

Neste caso, o comando para processar vários arquivos deve ser:

```
ENVOLTOR ARGEDF1 ARGEDF2 ARGEDF3 ...
```

Com a matriz de coeficientes e os esforços provenientes de cada carregamento básico, em cada uma das seções do trecho de viga, são calculados os valores máximos e mínimos de momentos e cortantes. Os resultados são listados em um arquivo com extensão .ASC.

4.6. DESENHOS

4.6.1. DESENPAV

O programa tem como objetivo desenhar a planta de forma do pavimento, com base nos dados fornecidos no *ENTPAV*; para executá-lo, basta digitar a expressão:

```
DESENPAV ARGEDF1 r
```

O parâmetro *R* ou *r* de rotação é opcional; para plantas onde a dimensão em *X* é maior que em *Y*, pode-se girar o desenho, em 90°, no sentido anti-horário.

4.6.2. GRAFVIGA

Neste programa, são traçados os gráficos de momentos e cortantes, máximos e mínimos, calculados no programa *ENVOLTOR*. Os comprimentos dos apoios, distâncias

entre eles e altura de cada trecho são obtidos do arquivo *ARGPAV.ADI*. Foram preparadas algumas telas de inserção, para que possam ser alterados dados como: margens, tamanho do gráfico, escala, qualidade de impressão etc. (Quadro 16).

Os esforços são obtidos do cálculo da envoltória, que fornece NP valores em cada tramo, em geral $NP = 10$. Construir um gráfico em escala 1/50, por exemplo, traçando retas para ligar esses pontos, não representaria o gráfico real. Por outro lado, calcular os esforços em centenas de pontos, somente para melhorar a precisão do desenho, seria extremamente penoso e demorado. Assim, foi criada uma rotina para o cálculo dos esforços, em um ponto intermediário, através de interpolação ("cubic spline").

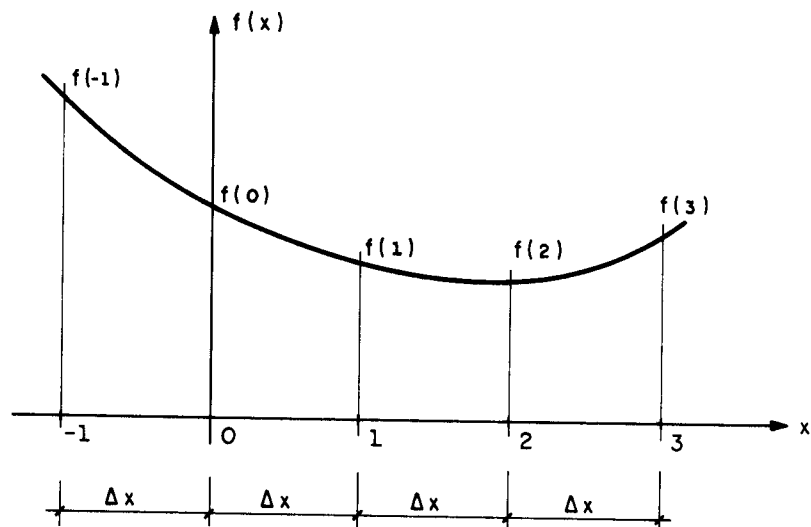


FIG 4.5 - Curva de esforços.

A curva utilizada em cada intervalo $X_i < X < X_{i+1}$ é a parábola cúbica, que passa pelos pontos X_{i-1} , X_i , X_{i+1} e X_{i+2} .

Por conveniência, o valor de X será medido a partir do ponto 1 e Δx unitário. O valor de x será adimensional.

$$a.X^3 + b.X^2 + c.X = f(X) - d$$

Ponto 1 (X = 0) ... $d = f(1)$

Ponto 2 (X = -1) ... $-a.X^3 + b.X^2 - c.X = f(0) - f(1)$

Ponto 2 (X = 1) ... $a.X^3 + b.X^2 + c.X = f(2) - f(1)$

Ponto 3 (X = 2) ... $8a.X^3 + 4b.X^2 + 2c.X = f(3) - f(1)$

Resultando:

$$b = \frac{f(2) - 2.f(1) + f(0)}{2}$$

$$a = \frac{f(3) - 2.f(2) + f(1) - 2.a}{6}$$

$$c = f(2) - f(1) - a - b$$

$$d = f(1)$$

No primeiro trecho, é necessário extrapolar $f(-1)$ com base em $f(0)$, $f(1)$, $f(2)$ e $f(3)$.

$$f(-1) = -8.a + 4.b - 2.c + d$$

Nota-se que o primeiro intervalo, $X_0 < X < X_1$, é regido pela parábola cúbica que passa por X_0 , X_1 , X_2 e X_3 enquanto o último intervalo, $X_{NP-1} < X < X_{NP}$, é regido pela parábola que passa pelos pontos X_{NP-3} , X_{NP-2} , X_{NP-1} e X_{NP} .

CONRADO

DADOS GERAIS		
1 - NÚMERO DE PILARES	NP =	22
2 - NÚMERO DE NÓS DE VIGAS	NNV =	22
3 - NÚMERO DE VIGAS	NV =	29
4 - NÚMERO DE SECÇÕES DE PILARES	NSP =	2
5 - NÚMERO DE SECÇÕES DE VIGAS	NSV =	0
0 - RETORNA		
Opção →		

QUADRO 1 - Dados gerais do pavimento

COORDENADAS DOS PILARES						CONRADO		
P	X (m)	Y (m)	P	X (m)	Y (m)	P	X (m)	Y (m)
1	-15.60	5.30	16	-8.00	-2.00			
2	-8.40	5.30	17	8.00	-2.00			
3	-3.10	5.30	18	11.50	-2.20			
4	3.10	5.30	19	-6.20	-5.30			
5	8.40	5.30	20	-2.40	-5.30			
6	15.60	5.30	21	2.40	-5.30			
7	-8.30	0.80	22	6.20	-5.30			
8	8.30	0.80						
9	-15.60	0.30						
10	-11.70	0.00						
11	11.70	0.00						
12	15.60	0.30						
13	-2.80	-1.55						
14	2.80	-1.55						
15	-11.50	-2.20						
1.Anterior 2.Posterior 3.Insere 0.Retorna								

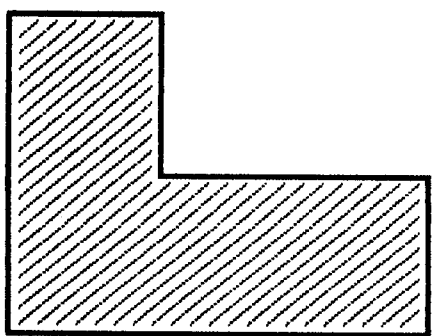
QUADRO 2 - Coordenadas dos pilares

DIMENSÕES E IDENTIFICAÇÃO DOS PILARES						CONRADO	
P	Id.	DIMENSÕES (cm)		P	Id.	DIMENSÕES (cm)	
1	R	Bx= 80.0	By= 20.0	16	R	Bx= 20.0	By= 60.0
2	R	Bx=100.0	By= 20.0	17	R	Bx= 20.0	By= 60.0
3	R	Bx= 80.0	By= 20.0	18	R	Bx= 60.0	By= 20.0
4	R	Bx= 80.0	By= 20.0	19	R	Bx= 80.0	By= 20.0
5	R	Bx=100.0	By= 20.0	20	R	Bx=100.0	By= 20.0
6	R	Bx= 80.0	By= 20.0	21	R	Bx=100.0	By= 20.0
7	R	Seção Tipo = 1		22	R	Bx= 80.0	By= 20.0
8	R	Seção tipo = 2					
9	R	Bx= 80.0	By= 20.0				
10	R	Bx= 20.0	By= 80.0				
11	R	Bx= 20.0	By= 80.0				
12	R	Bx= 80.0	By= 20.0				
13	R	Bx= 20.0	By=120.0				
14	R	Bx= 20.0	By=120.0				
15	R	Bx= 60.0	By= 20.0				

1.Anterior	2.Posterior	3.Insere
4.Mod. Tipo	5.Mod.Dimensão	0.Retorna

QUADRO 3 - Dimensões dos pilares

SECAO 1 DE PILAR		
N. de Pontos = 6		
Pt	X (cm)	Y (cm)
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	5.0	2.0
4	2.0	2.0
5	2.0	4.0
6	0.0	4.0



1-Seção Ant	2-Seção Post
3-Coord Ant	4-Coord Post
5-Modifica	6-Insere
7-Desenha	0-Retorna

QUADRO 4 - Dimensões de um pilar poligonal

INCIDÊNCIAS E CARACTERÍSTICAS DA VIGA 1 Nt=2						EXEMPLO		
Tcr	NI	X(cm)	Y(cm)	NF	X(cm)	Y(cm)	Tip	Dimensões (cm)
1	P1	20.0	-6.0	P2	0.0	0.0	R	Bw= 20.0 H= 50.0 Secao Tipo 1
2	P2	0.0	0.0	P3	10.0	-20.0	Q	


1.Anterior 2.Posterior 3.N.Trechos 4.Excent.
5.Seções 6.Igualdade 0.Retorna

QUADRO 5 - Dimensões e incidências das vigas

CARREGAMENTO VERTICAL NA VIGA 1									EXEMPLO	
Tc	NoI	NoF	q Tf/m	Nc.	P1	a1	P2	a2	P3	a3
1	P 1	P 2	2.14	1	3.56	2.30				
2	P 2	P 3	1.52	0						

1.Ant. 2.Post. 3.C.Dist. 4.C.Conc. 0.Retorna

QUADRO 6 - Cargas permanentes nas vigas

DADOS DA LAJE 1									
Lado	Ntc	Trechos							
1	1	1-1							
2	1	4-1							
3	1	2-1							
4	1	3-1							
Dimensões					Contorno				
Lado 1 = 4.00 m Lado 2 = 5.00 m					L1 = A				
Cargas									
Permanente = 3.50 kN/m ² Acidental = 2.00 kN/m ²					L4 = A L3 = A				
1.Anterior 3.Trechos 5.Cargas 0.Retorna 2.Posterior 4.Dimensões 6.Contorno 7.Gera									

QUADRO 7 - Lajes retangulares

COORDENADAS DOS NÓS DE VIGAS						CONRADO		
Nó	X (m)	Y (m)	Nó	X (m)	Y (m)	Nó	X (m)	Y (m)
1	-11.75	0.85	16	6.05	-2.85			
2	-8.00	0.60	17	8.00	-2.85			
3	-6.05	0.60	18	-2.80	-2.75			
4	-2.80	0.60	19	-1.55	-2.75			
5	-2.80	0.50	20	-0.75	-2.75			
6	2.80	0.50	21	1.00	-2.75			
7	2.80	0.60	22	2.80	-2.75			
8	6.05	0.60						
9	8.00	0.60						
10	11.75	0.85						
11	-1.55	-1.00						
12	-0.75	-1.00						
13	1.00	-1.00						
14	-8.00	-2.85						
15	-6.05	-2.85						
1.Anterior 2.Posterior 3.Insere 0.Retorna								

QUADRO 8 - Coordenadas dos nós de vigas

DISTÂNCIAS ENTRE LAJES							CONRADO
Pav	h (m)	Pav	h (m)	Pav	h (m)	Pav	h (m)
1	2.80						
2	2.80						
3	2.80						
4	2.80						
5	2.80						
6	2.80						
7	2.80						
8	2.80						
9	2.80						
10	2.80						
11	2.80						
12	2.80						
13	2.80						
14	2.80						
1.Insere 2.Modifica 0.Retorna							

QUADRO 9 - Alturas dos pés-direitos

ARQUIVOS DOS PAVIMENTOS							CONRADO
Pav	Arquivo	Pav	Arquivo	Pav	Arquivo	Pav	Arquivo
1	CONRADO						
2	CONRADO						
3	CONRADO						
4	CONRADO						
5	CONRADO						
6	CONRADO						
7	CONRADO						
8	CONRADO						
9	CONRADO						
10	CONRADO						
11	CONRADO						
12	CONRADO						
13	CONRADO						
14	CONRADO						
1.Insere 2.Modifica 0.Retorna							

QUADRO 10 - Nomes dos arquivos dos pavimentos

CARREGAMENTOS (NC = 2)				CONRADO
Carg	Seno	Cosseno	Xp (m)	Yp (m)
1	1.00000	0.00000	0.00	0.00
2	0.00000	1.00000	0.00	0.00

1.Número de Carregamentos 2.Insere 0.Retorna

QUADRO 11 - Direções das forças horizontais

FORÇAS HORIZONTAIS (Tf)									CONRADO
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9
1	0.00	0.00							
2	5.82	1.51							
3	5.82	1.51							
4	5.82	1.51							
5	8.74	2.27							
6	8.74	2.27							
7	8.74	2.27							
8	8.74	2.27							
9	12.23	3.17							
10	12.23	3.17							
11	12.23	3.17							
12	12.23	3.17							
13	12.23	3.17							
14	6.11	1.60							

1.Ant. 2.Post. 3.Mod. 4.Ins. 5.Ler Vento 0.Retorna

QUADRO 12 - Forças horizontais aplicadas nas lajes

UNIDADES		
Forças (kN),	Coord (m),	Dimensões (m)
Forças (kN),	Coord (m),	Dimensões (cm)
Forças (kN),	Coord (cm),	Dimensões (cm)
Forças (Tf),	Coord (m),	Dimensões (m)
Forças (Tf),	Coord (m),	Dimensões (cm)
Forças (Tf),	Coord (cm),	Dimensões (cm)

QUADRO 13 - Escolha de unidades

ENVOLTÓRIA								NG = 9
N	Perm.	Acid.	Vento	N	Perm.	Acid.	Vento	
1	1.400	1.400	0.840					
2	1.400	1.400	0.000					
3	1.400	0.560	1.400					
4	1.400	0.000	1.400					
5	1.400	0.000	0.000					
6	0.900	1.400	0.840					
7	0.900	1.400	0.000					
8	0.900	0.560	1.400					
9	0.900	0.000	1.400					
1.Anterior 2.Posterior 3.Insere 0.Retorna								

QUADRO 14 - Matriz de coeficientes da envoltória

ESTRUTURA TRIDIMENSIONAL
Com Sub-Estruturação em Série
Benigno Marcelo C. Rios
27/06/90

ETAPAS	Andar	Parcial	EXENVOL
Rigidezes dos Pavimentos	2/2	V 5/5	Pay. = 2
Triangularização	2/2	21/21	Desl.= 42
Retro-Substituição	2/2	21/21	
Esforços nos Pilares	2/2	4/4	Quadro de Avisos
Esforços nas Vigas	2/2	5/5	

ARQUIVOS
Ent. :EXENVOL.ADG
Saída:EXENVOL.ASE

FIM DE EXECUÇÃO

Início = 5:24:13
Término = 5:24:14
Execução= 0: 1: 1

QUADRO 15 - Apresentação do programa ANATRI

FORMATAÇÃO DE IMPRESSÃO	
Largura da folha	1800 Pts
▶Largura do gráfico	850 Pts
Margem Esquerda	200 Pts
Margem direita	50 Pts
Altura do cabeçalho	4 Lhs
Número de passadas	1
Pontos por tramo	10
Prolongamento do pilar ..	40 Pts
Escala (0 p/ 1 página) 1/	50
Comprimento da página ...	0.25 m
F1 para Salvar Esc para Retornar	

QUADRO 16 - Formatação para impressão da viga

5. EXEMPLOS

5.1. EXEMPLO 1

Apresenta-se um edifício garagem, em estrutura tubular, com 30 pavimentos de igual planta, mostrado na Fig. 5.1.

Serão mostrados, neste exemplo, os resultados obtidos em três análises diferentes:

1) análise tridimensional sem a consideração de trechos rígidos nas vigas;

2) análise com técnica matricial e associação tridimensional de painéis planos feita por ANTUNES⁽¹²⁾, sem a consideração de trechos rígidos;

3) análise tridimensional com a consideração de trechos rígidos nas vigas.

A comparação com os resultados obtidos em 2 ajudam a comprovar a validade das técnicas aqui empregadas.

As dimensões das vigas e pilares, pés-direitos, carga horizontal, excentricidades (caso 3) e outros dados são listados a seguir.

O carregamento de vento, C1, utilizado para comparação nos três casos, tem a direção Y, ou seja, paralelo às vigas V3 e V4. C2 é paralelo às vigas V1 e V2, por consequência.

A origem do sistema global XY foi adotado no

centro do pavimento.

Todos os pilares são retangulares (R), coordenadas em relação à origem acima definida, e dimensões B_x e B_y dos lados paralelos a X e Y respectivamente.

As excentricidades das vigas em relação aos pilares, são válidas para o caso 3, onde o trecho flexível da viga é considerado apenas entre as faces dos pilares. No caso 1 essas excentricidades são nulas. Todas as seções transversais são retangulares (R).

A estrutura não foi calculada para carregamento vertical.

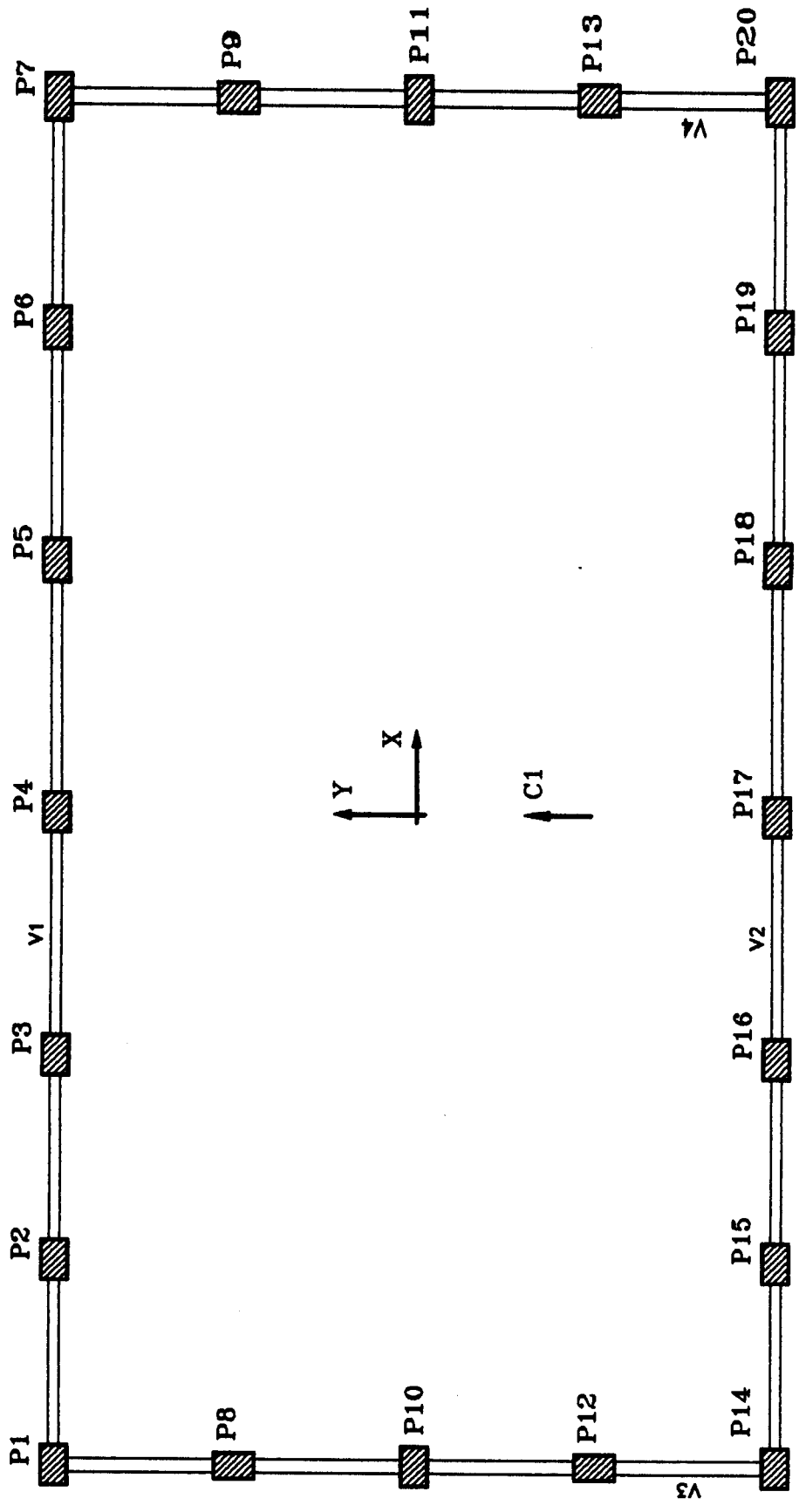


Fig 5.1 - Edifício Garagem - Planta do Pav. Tipo

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2: 7
GARAGE-2 Pag. 1

DADOS GERAIS

Mod. Deformacao Longitudinal = 200.00000 Tf/cm²
Numero de Andares = 30
Combinacoes de cargas acidentais = 0
Numero de Acoes do Vento = 2

PAVIMENTOS

Andar	Pe-Direito (m)	Nome
30	2.35	GARAGE-2
29	2.35	GARAGE-2
28	2.35	GARAGE-2
27	2.35	GARAGE-2
26	2.35	GARAGE-2
25	2.35	GARAGE-2
24	2.35	GARAGE-2
23	2.35	GARAGE-2
22	2.35	GARAGE-2
21	2.35	GARAGE-2
20	2.35	GARAGE-2
19	2.35	GARAGE-2
18	2.35	GARAGE-2
17	2.35	GARAGE-2
16	2.35	GARAGE-2
15	2.35	GARAGE-2
14	2.35	GARAGE-2
13	2.35	GARAGE-2
12	2.35	GARAGE-2
11	2.35	GARAGE-2
10	2.35	GARAGE-2
9	2.35	GARAGE-2
8	2.35	GARAGE-2
7	2.35	GARAGE-2
6	2.35	GARAGE-2
5	2.35	GARAGE-2
4	2.35	GARAGE-2
3	2.35	GARAGE-2
2	2.35	GARAGE-2
1	3.15	GARAGE-2

FORCAS DO VENTO (Tf)

Andar	C 1	C 2
30	17.23	12.81
29	6.71	2.90
28	6.71	2.90
27	6.71	2.90
26	6.71	2.90

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2: 7
GARAGE-2 Pag. 2

25	6.23	2.69
24	6.23	2.69
23	6.63	2.69
22	6.63	2.69
21	5.99	2.59
20	5.99	2.59
19	5.99	2.59
18	5.99	2.59
17	5.99	2.59
16	5.51	2.38
15	5.51	2.38
14	5.51	2.38
13	5.51	2.38
12	5.03	2.18
11	5.03	2.18
10	5.03	2.18
9	5.03	2.18
8	4.31	1.89
7	4.31	1.89
6	4.31	1.89
5	4.31	1.89
4	2.81	1.21
3	2.81	1.21
2	2.81	1.21
1	3.25	1.41
Seno	1.000	0.000
Coss	0.000	1.000
XC	0.00	0.00
YC	0.00	0.00

PAVIMENTO - GARAGE-2

Numero de Pilares = 20
 Numero de Vigas = 4
 Secoes Poligonais de Pilares = 0
 Secoes Poligonais de Vigas = 0

CARACTERISTICAS DOS PILARES

Pilar	X (m)	Y (m)	Tipo	Dimensoes (cm)	
1	-9.28	5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
2	-6.37	5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
3	-3.45	5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
4	-0.00	5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
5	3.45	5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
6	6.36	5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
7	9.28	5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
8	-9.28	2.59	R	Bx = 40.0	By = 60.0

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2: 7
GARAGE-2 Pag. 3

9	9.28	2.59	R	Bx = 40.0	By = 60.0
10	-9.28	0.00	R	Bx = 60.0	By = 40.0
11	9.28	0.00	R	Bx = 60.0	By = 40.0
12	-9.28	-2.59	R	Bx = 40.0	By = 60.0
13	9.28	-2.59	R	Bx = 40.0	By = 60.0
14	-9.28	-5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
15	-6.37	-5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
16	-3.45	-5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
17	-0.00	-5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
18	3.45	-5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
19	6.36	-5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0
20	9.28	-5.18	R	Bx = 60.0	By = 40.0

CARACTERISTICAS DAS VIGAS

V/T	Exc. Iniciais			Exc. Finais			Tp	Dim. (cm)
	No	X	Y	No	X	Y		
1 - 1	P 1	30.0	0.0	P 2	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
1 - 2	P 2	30.0	0.0	P 3	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
1 - 3	P 3	30.0	0.0	P 4	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
1 - 4	P 4	30.0	0.0	P 5	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
1 - 5	P 5	30.0	0.0	P 6	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
1 - 6	P 6	30.0	0.0	P 7	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
2 - 1	P14	30.0	0.0	P15	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
2 - 2	P15	30.0	0.0	P16	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
2 - 3	P16	30.0	0.0	P17	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
2 - 4	P17	30.0	0.0	P18	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
2 - 5	P18	30.0	0.0	P19	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
2 - 6	P19	30.0	0.0	P20	-30.0	0.0	R	15.0x 60.0
3 - 1	P14	0.0	20.0	P12	0.0	-30.0	R	20.0x 60.0
3 - 2	P12	0.0	30.0	P10	0.0	-20.0	R	20.0x 60.0
3 - 3	P10	0.0	20.0	P 8	0.0	-30.0	R	20.0x 60.0
3 - 4	P 8	0.0	30.0	P 1	0.0	-20.0	R	20.0x 60.0
4 - 1	P20	0.0	20.0	P13	0.0	-30.0	R	20.0x 60.0
4 - 2	P13	0.0	30.0	P11	0.0	-20.0	R	20.0x 60.0
4 - 3	P11	0.0	20.0	P 9	0.0	-30.0	R	20.0x 60.0
4 - 4	P 9	0.0	30.0	P 7	0.0	-20.0	R	20.0x 60.0

CARGAS PERMANENTES NAS VIGAS

V/T	q	P1	a1	P2	a2	P3	a3
1 - 1	0.00						
1 - 2	0.00						
1 - 3	0.00						
1 - 4	0.00						
1 - 5	0.00						
1 - 6	0.00						
2 - 1	0.00						
2 - 2	0.00						
2 - 3	0.00						

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2: 7
GARAGE-2 Pag. 4

2 - 4	0.00
2 - 5	0.00
2 - 6	0.00
3 - 1	0.00
3 - 2	0.00
3 - 3	0.00
3 - 4	0.00
4 - 1	0.00
4 - 2	0.00
4 - 3	0.00
4 - 4	0.00

Deslocamentos das Lajes

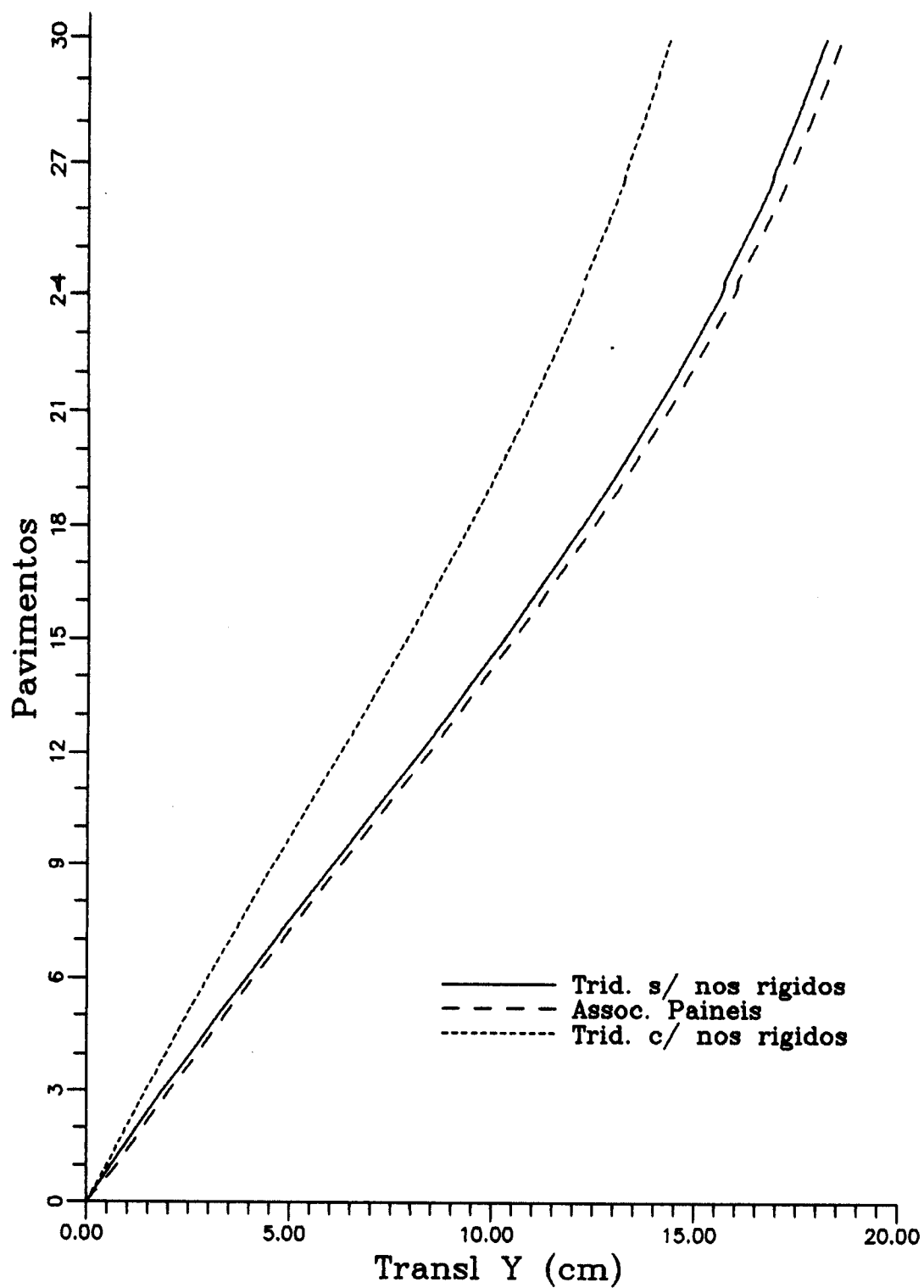


FIGURA 5.2 - Deslocamentos das lajes.

Normal em P1

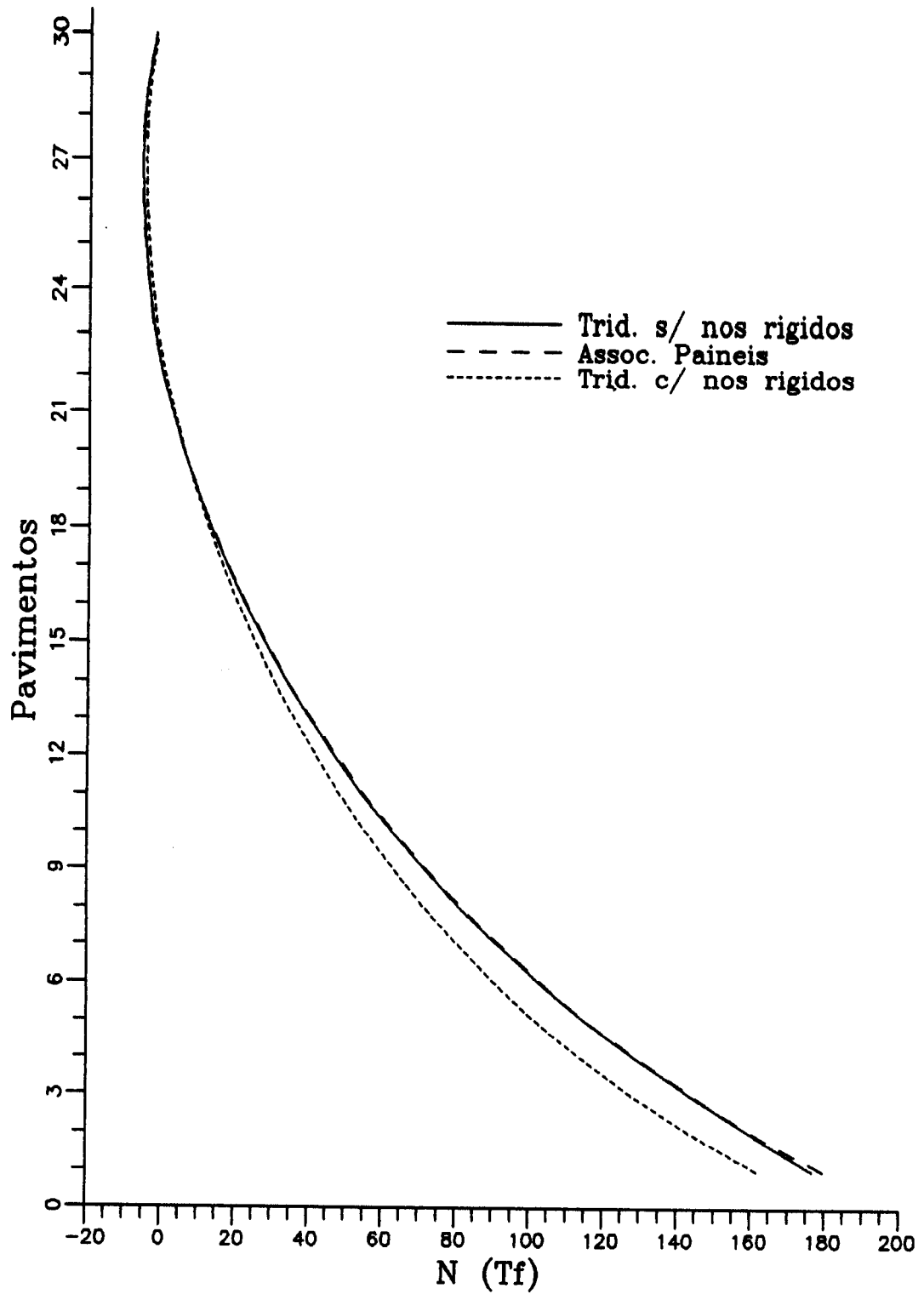


FIGURA 5.3 - Forca normal no pilar P1

Normal em P2

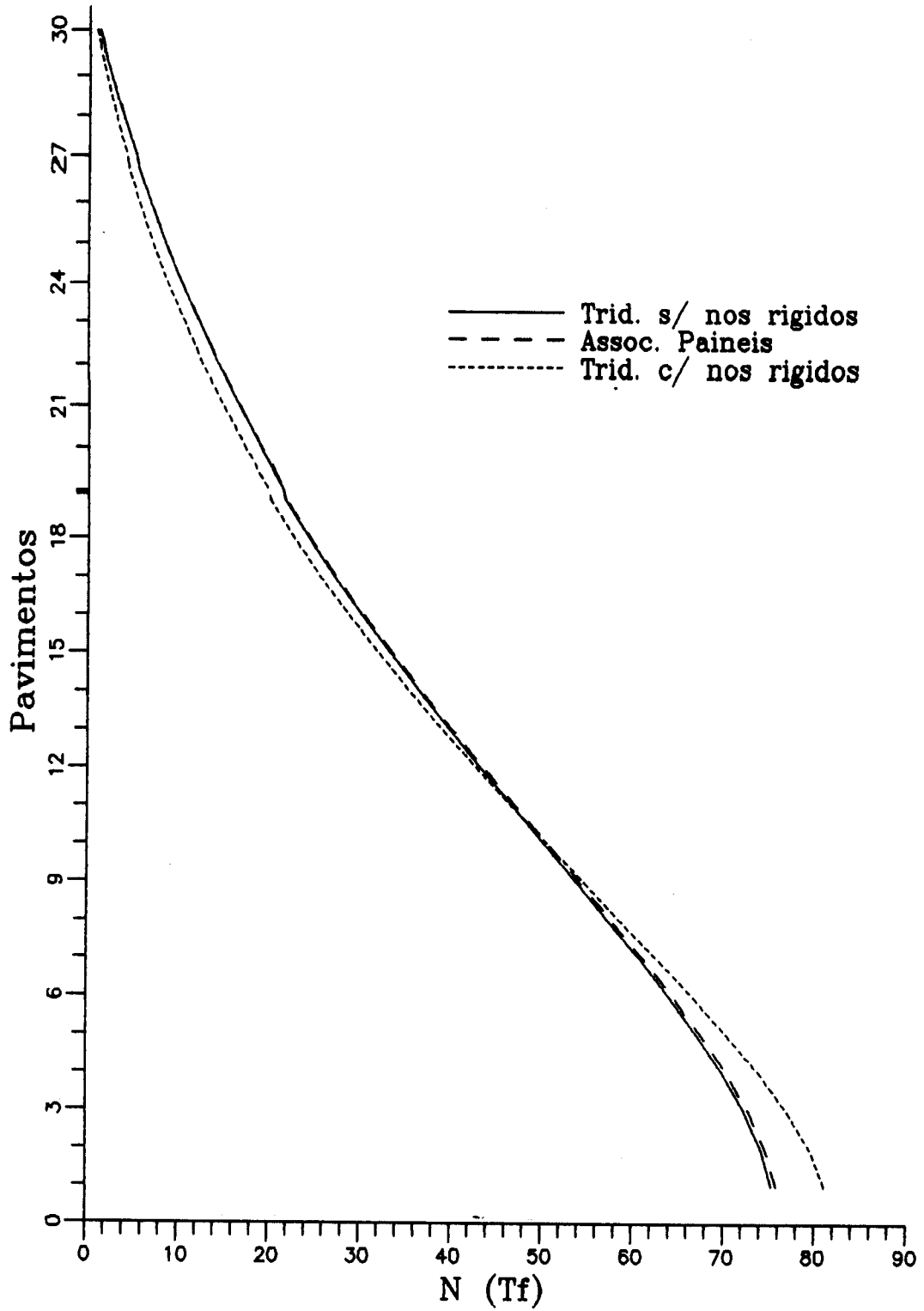


FIGURA 5.4 - Forca Normal no pilar P2

Normal em P8

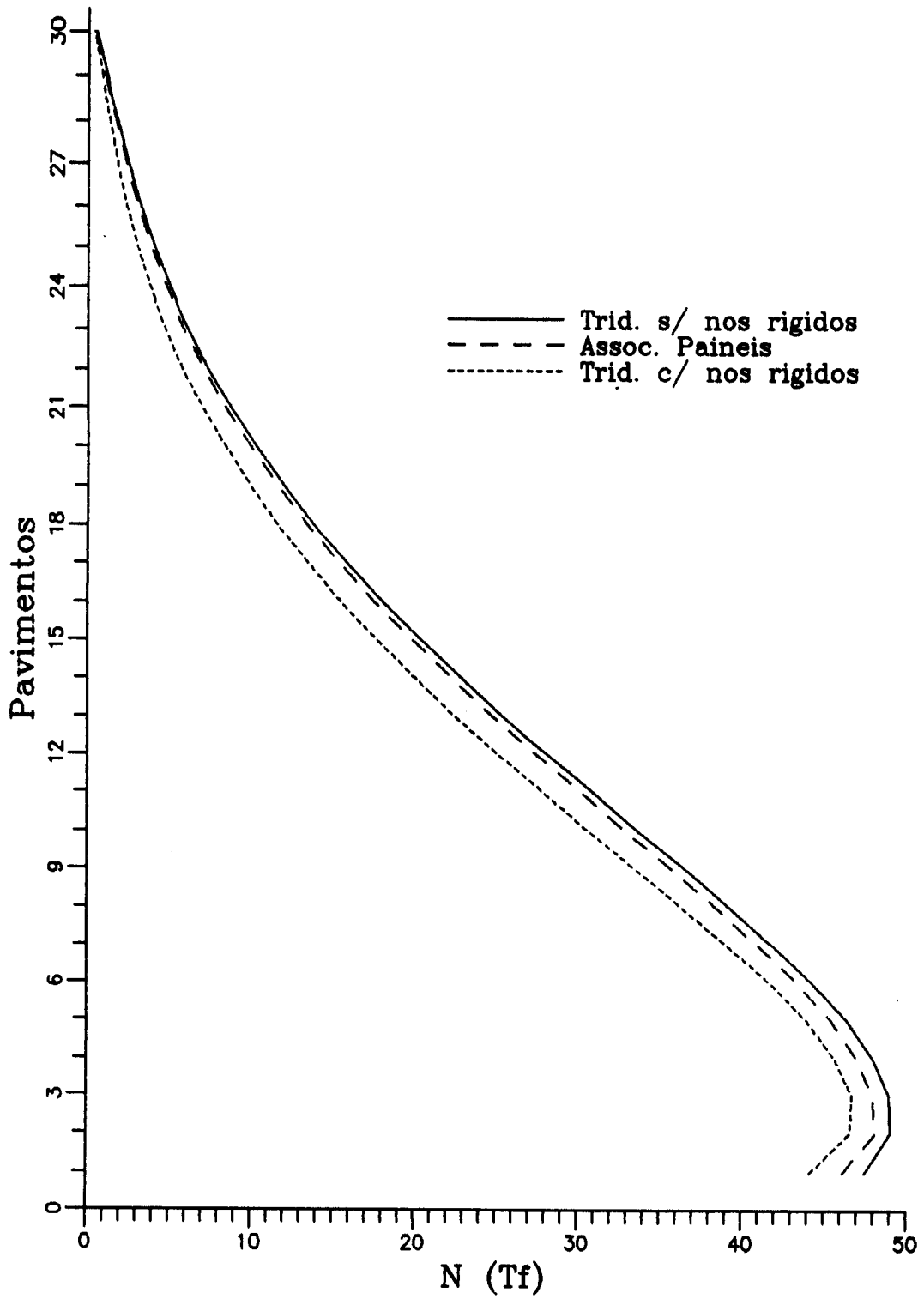


FIGURA 5.5 - Forca normal no pilar P8

Mxi no Pilar P10

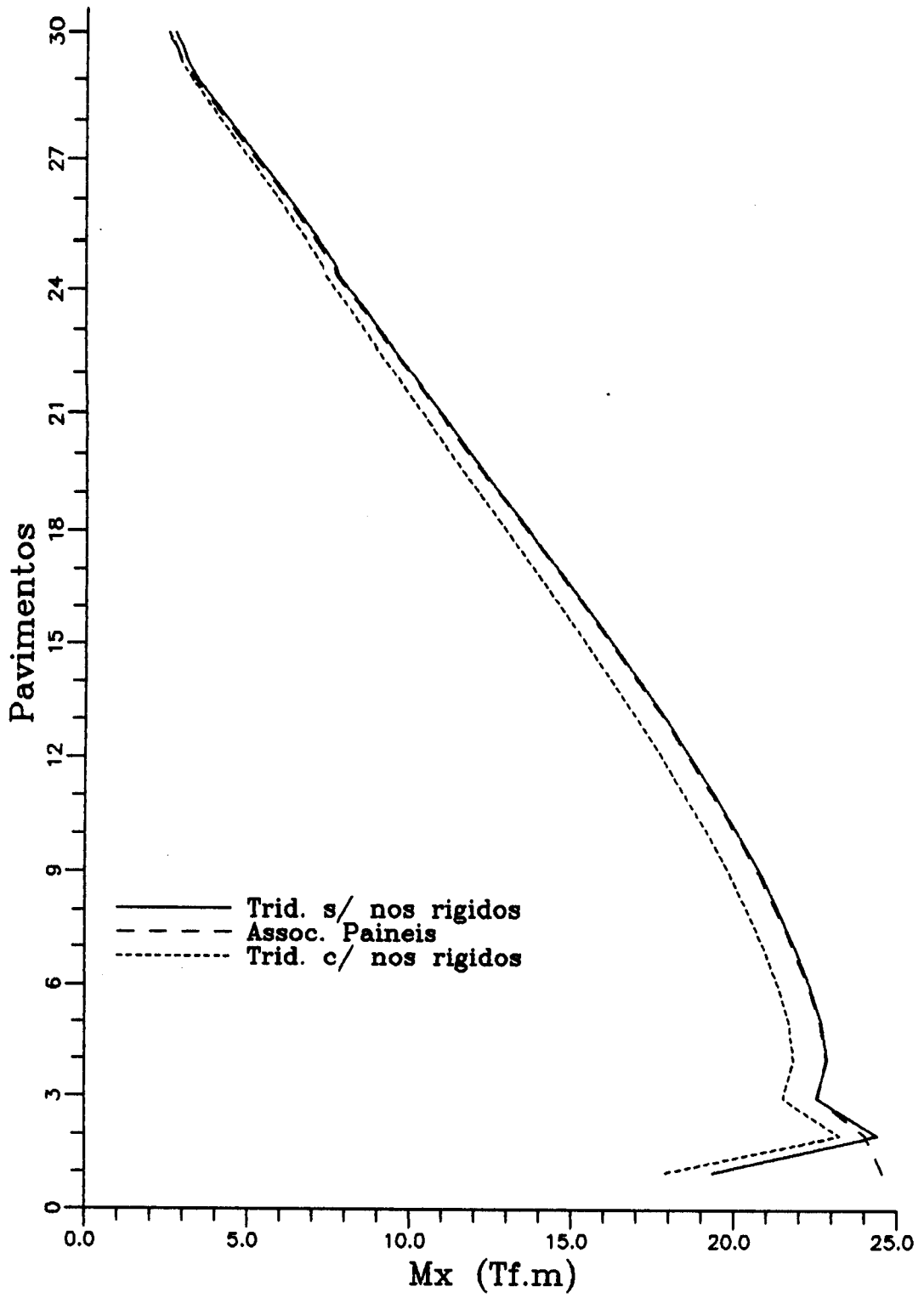


FIGURA 5.6 - M_x na extremidade inferior do P10

Myi no Pilar P2

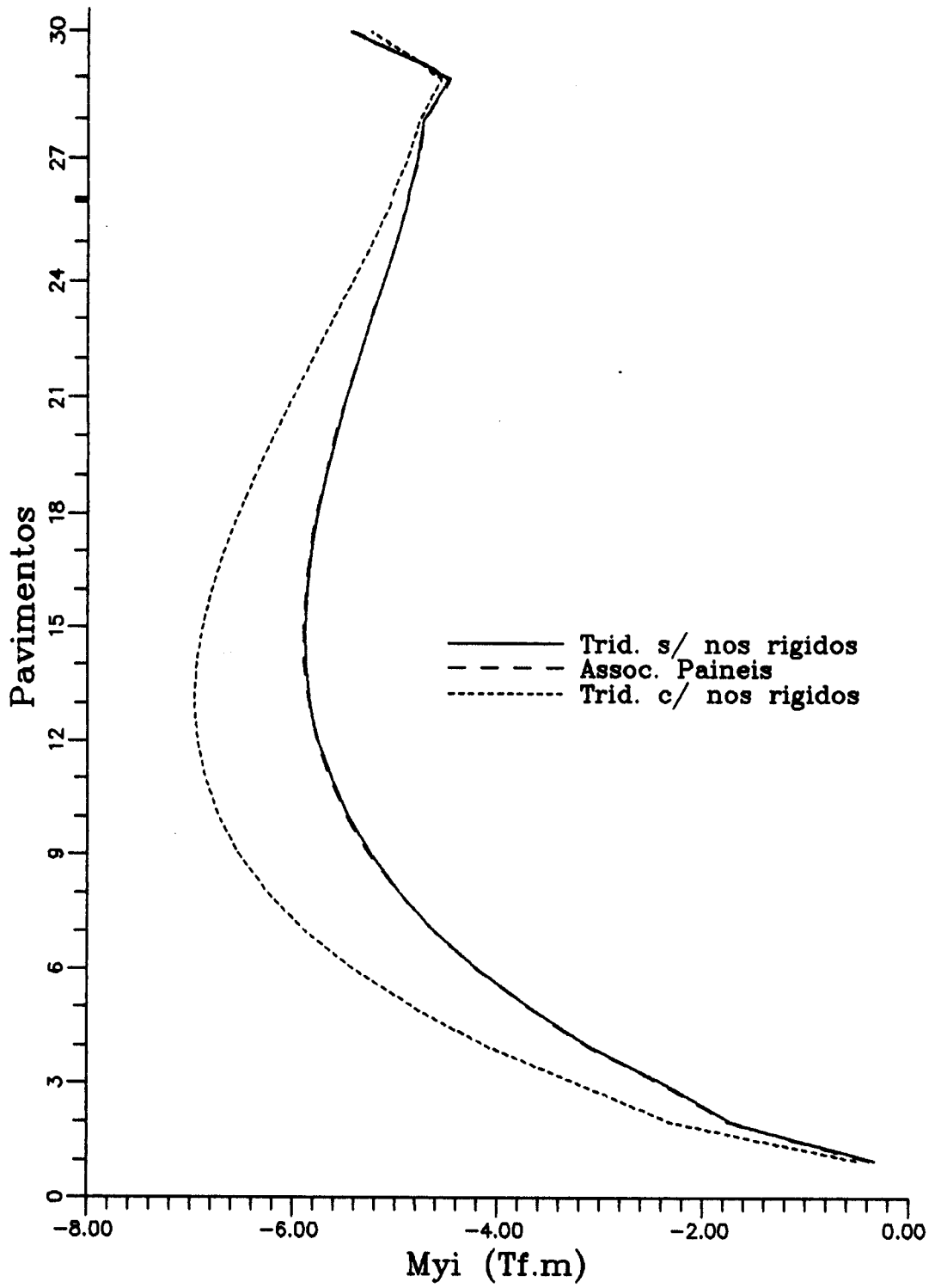


FIGURA 5.7 - My na extremidade inferior do P2

Cortante em P8

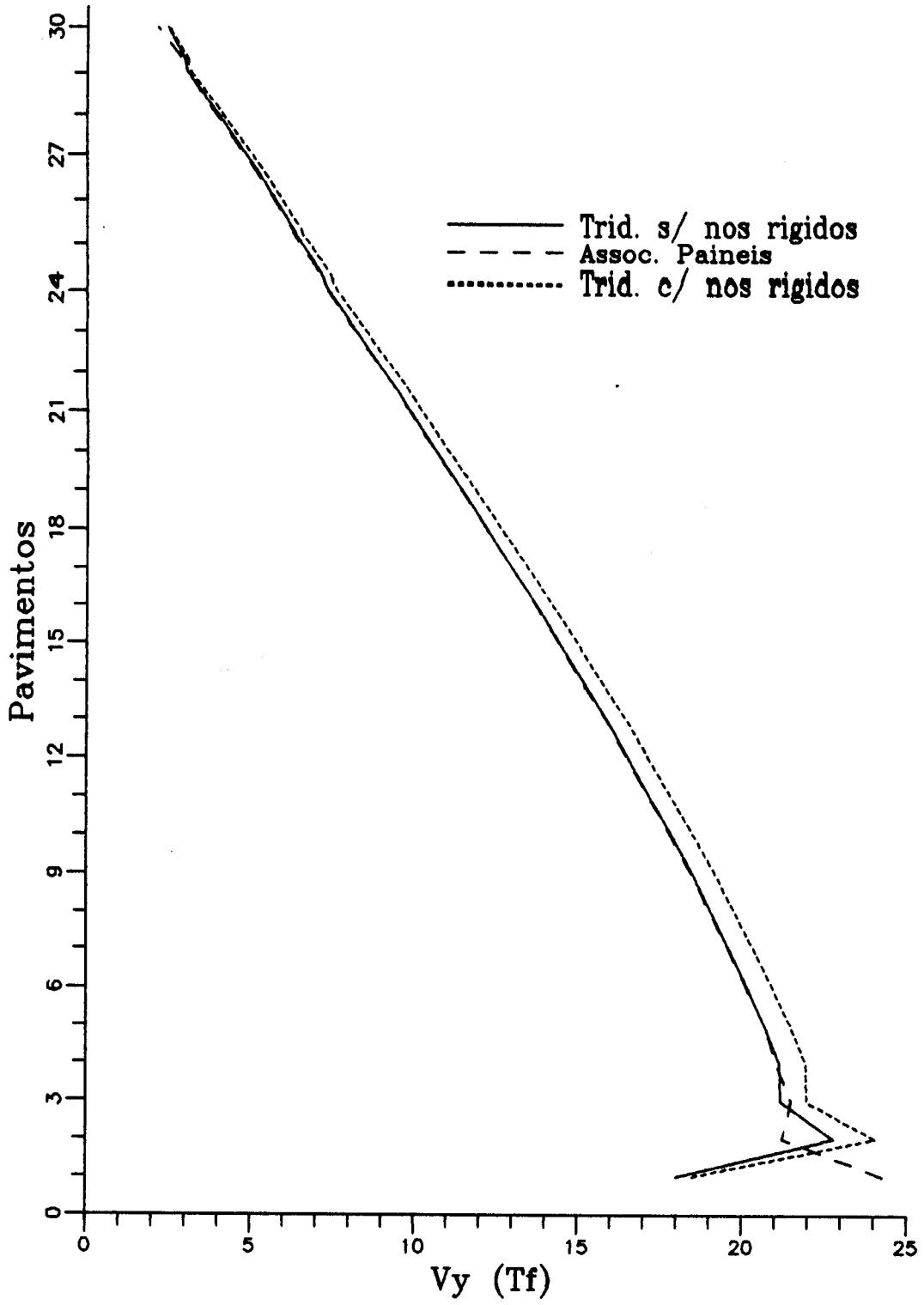


FIGURA 5.8 - Cortante no pilar P8

Cortante na Viga 1 - 1

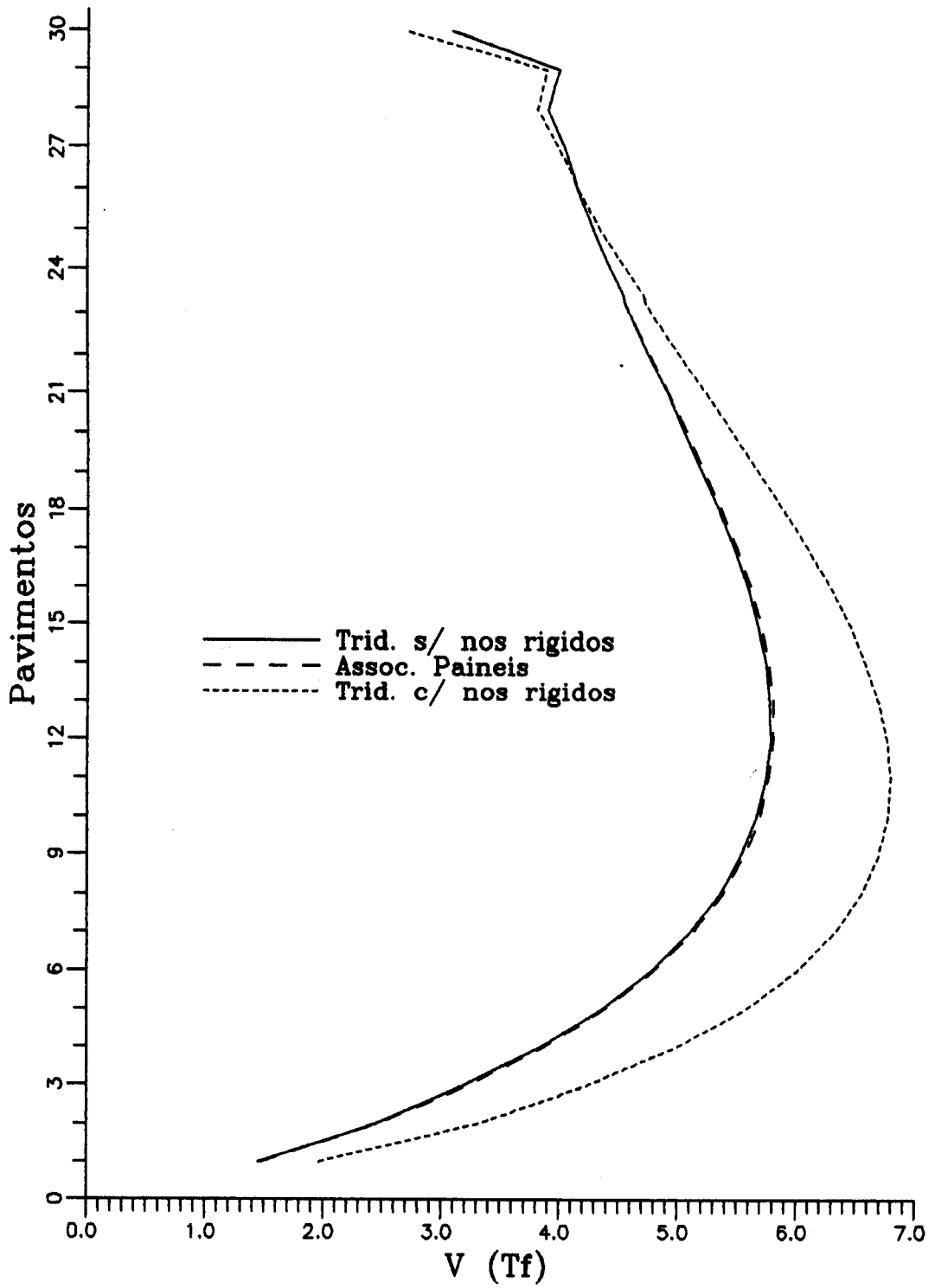


FIGURA 5.9 - Cortante no trecho 1 da viga 1

Md na Viga 3 - 4

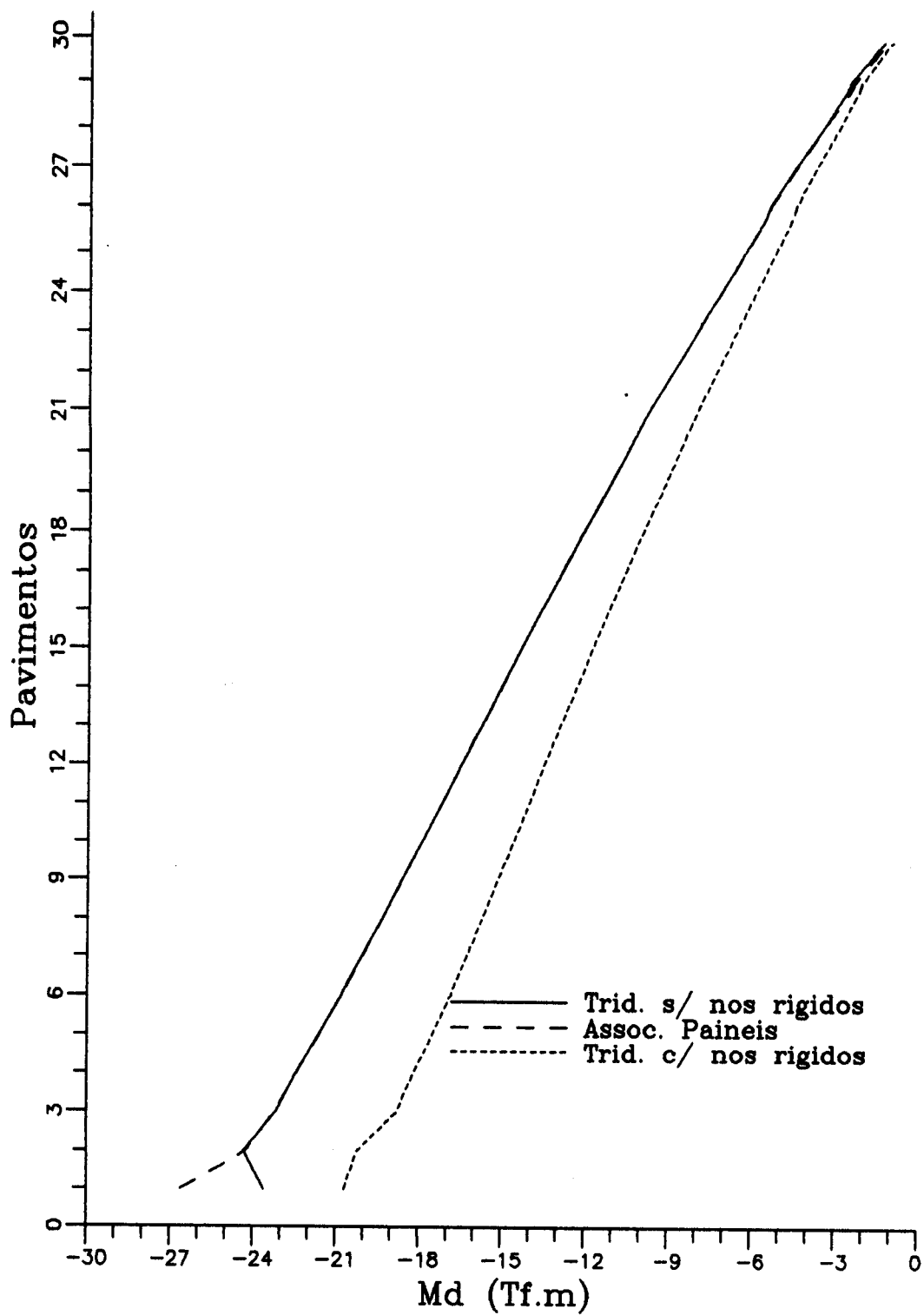


FIGURA 5.10 - Md no trecho 4 da viga 3

Cortante em V 3 - 3

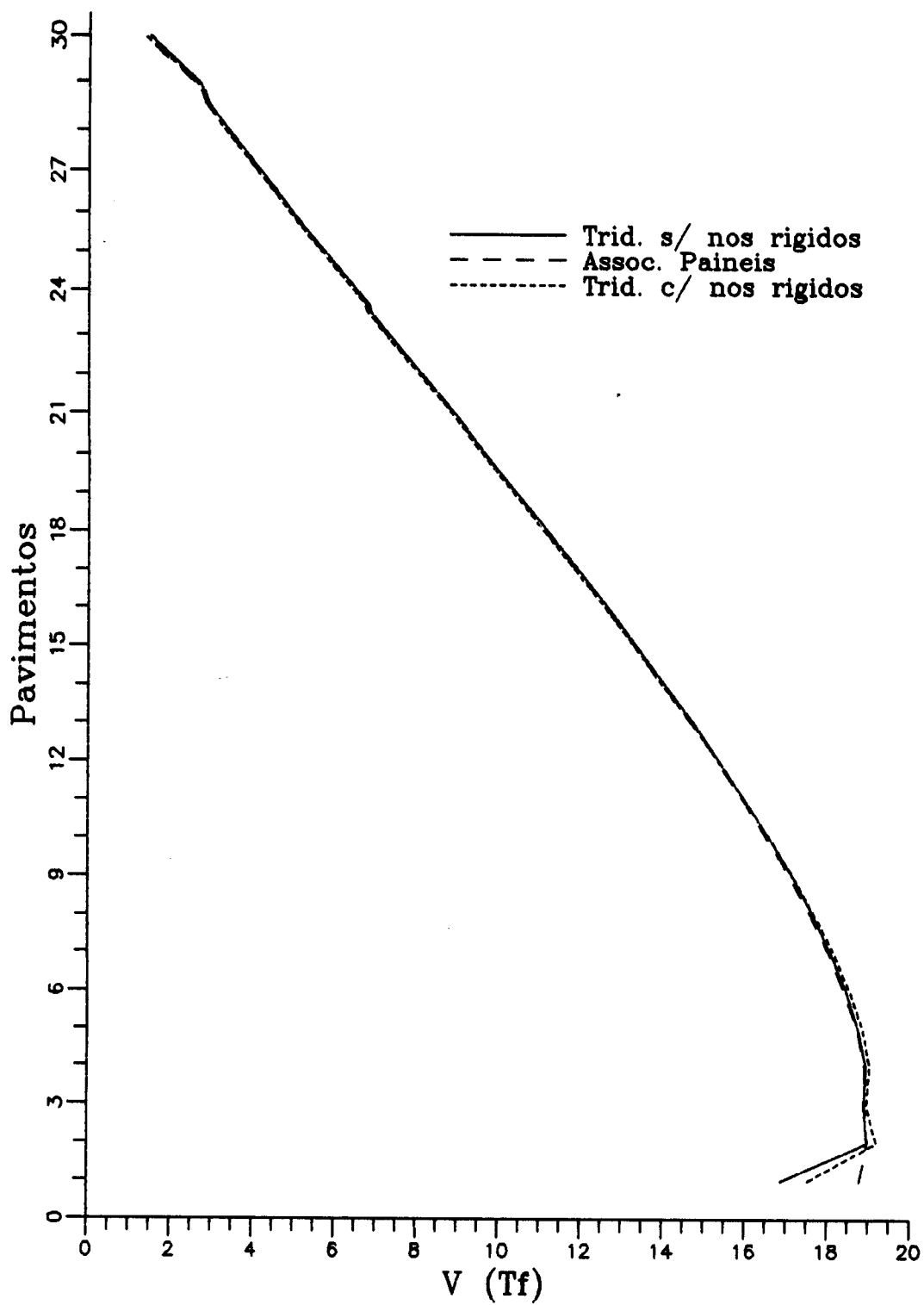


FIGURA 5.11 - Cortante no trecho 3 da viga 3

Mxi no P2

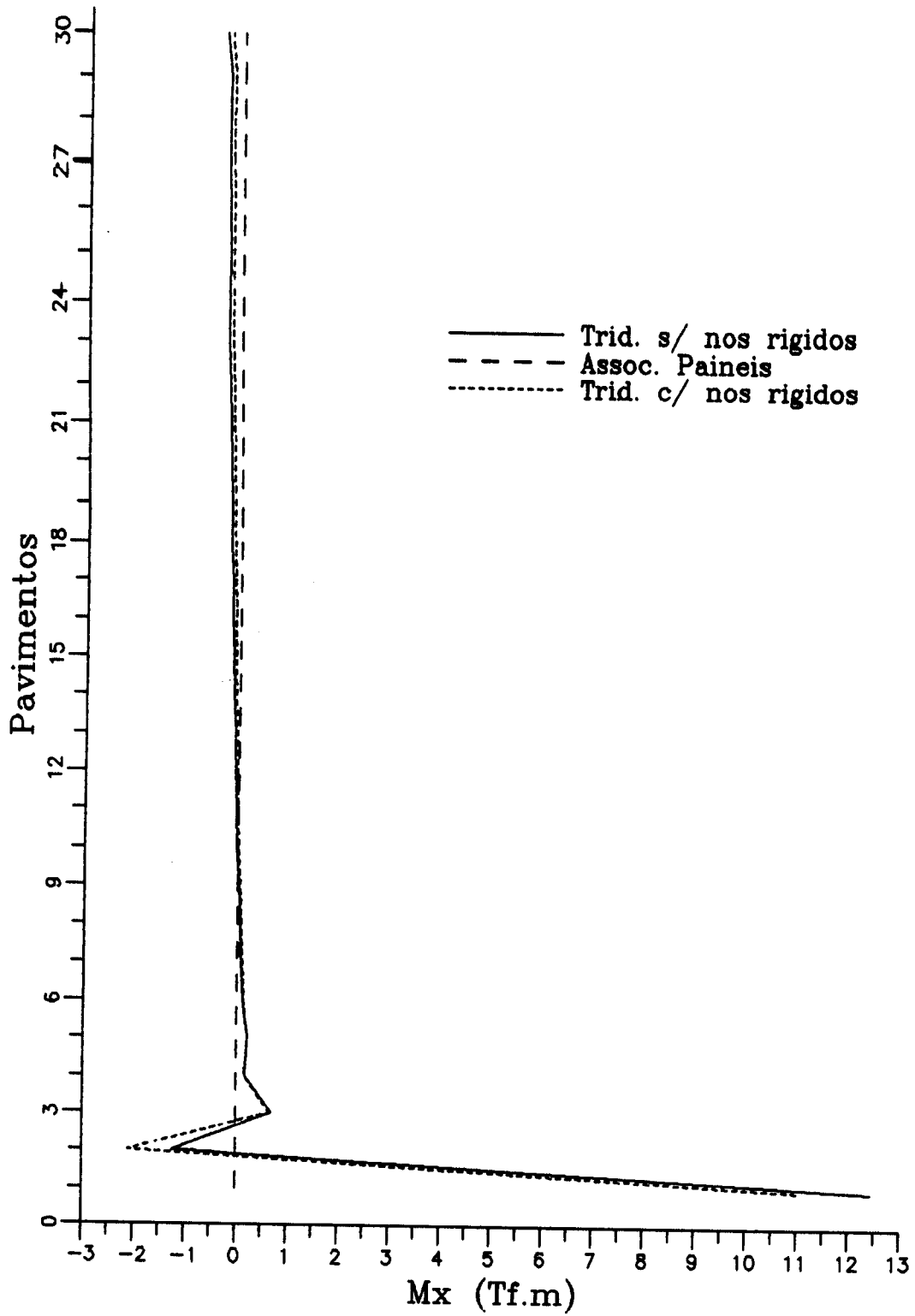


FIGURA 5.12 - M_x na extremidade inferior do P2

As lajes do edifício deslocam-se apenas na direção Y, uma vez que a estrutura é simétrica e as forças do vento agem no eixo Y de simetria. Nota-se que a consideração de trechos rígidos nas vigas diminui consideravelmente esses deslocamentos (Fig. 5.2). O processo de associação de painéis não considera a rigidez do pilar, na direção ortogonal àquela do pórtico a que pertence, por isso, os pilares P2 a P6 e P15 a P19 são responsáveis pela diminuição dos deslocamentos horizontais no caso 1. Nesta situação, pode-se observar que a influência dessa rigidez é predominante na base, como mostra o gráfico do momento M_x no pilar P2, ao longo da altura (Fig. 5.12). Nos pavimentos superiores, os momentos são bem menores, uma vez que a ausência de vigas na direção Y deixam que esses pilares se desloquem quase livremente para acompanhar os movimentos das lajes. Porém, no primeiro pavimento, por existir a imposição de deslocamentos nulos na base, e movimento horizontal na extremidade superior, resulta em esforços significativos. Desse modo, a consideração de rigidez transversal nula, feita na associação de pórticos, é válida apenas para pavimentos superiores.

Essa perturbação na base é notada nos outros esforços na direção Y, por exemplo: M_{xi} no pilar P10 (Fig. 5.6), cortante V_y no pilar P8 (Fig. 5.8), momento M_d no trecho 4 da viga V3 (Fig. 5.10) e o cortante no trecho 3 da viga V3 (Fig. 5.11). A diminuição dos momentos (M_x) e cortantes (V_y) nas bases dos pilares P1, P7 a P14 e P20 no caso 1 é consequência do cálculo das rigidezes dos outros pilares. Os esforços na direção X, M_{yi} no P2 (Fig. 5.7), cortante no trecho 1 da viga V1 (Fig. 5.9), não sofrem grande alteração, assim como as forças normais nos pilares.

No caso 3, onde as vigas são calculadas com trechos rígidos, pode-se observar por exemplo, o aumento no cortante da viga V1-1 devido a esse acréscimo de

rigidez. Em consequência disso, a transmissão de força normal do pilar P1 para P2 aumenta, fazendo com que este primeiro tenha um alívio nos andares inferiores. Os momentos nas vigas V3 e V4 (Fig. 5.10) aumentam em função das suas rigidezes.

Com base nos gráficos apresentados, nota-se que a associação de painéis despreza esforços importantes, como o momento fletor em alguns pilares, justamente na base onde a força normal tem valor elevado. É também evidente que a consideração de trechos rígidos nas vigas alteram significativamente os esforços e deslocamentos na estrutura.

5.2. EXEMPLO 2

Apresenta-se com este exemplo um edifício residencial de 14 pavimentos, sendo o primeiro um play-ground (Fig. 5.13), 12 pavimentos tipos (Fig. 5.14) e a cobertura com planta igual ao tipo, variando apenas o carregamento; todos com pé-direito de 2,85m e dados relacionados a seguir.

O carregamento de vento, C1 (direção Y), é paralelo às vigas V15 a V24, enquanto C2 (direção X) é paralelo às vigas V1 a V8.

Os pilares retangulares (R) têm suas dimensões B_x e B_y paralelas aos eixos X e Y respectivamente, enquanto os pilares de seção transversal poligonal, (P1, P4, P11, P13 e P14) são designados por "seção tipo" (1 a 5 respectivamente). As coordenadas dos vértices dessas seções são referidas a um sistema local, paralelo ao global, com origem nas coordenadas X e Y do pilar.

As lajes são designadas por retangular ou poligonal; são listadas as vigas nas quais elas se apoiam, as vinculações e as combinações em que aparecem carregadas. No exemplo, foi adotada apenas uma combinação de cargas acidentais com todas as lajes carregadas. O cálculo da distribuição dos carregamentos das lajes nas vigas foi feito através das funções aproximadoras apresentadas no apêndice B.

As forças do vento foram calculadas de acordo com o apêndice A, rugosidade classificada na categoria IV, terreno plano e velocidade básica do vento de 40 m/s.

Para este exemplo, foi adotada a seguinte divisão em grupos de pavimentos para a envoltória de esforços:

- 1) 1º pavimento;
- 2) 2º ao 7º pavimento;

- 3) 8º ao 13º pavimento;
- 4) 14º pavimento.

Poderia ter-se adotado, por exemplo, três grupos para o pavimento tipo, 2º ao 5º, 6º ao 9º e 10º ao 13º, totalizando cinco grupos. Essa escolha fica a critério do projetista ou usuário do programa.

Os coeficientes para a envoltória foram adotados conforme a tabela 3.6 do capítulo 3.

Serão apresentados os gráficos de momentos (linha cheia) e cortantes (linha tracejada), máximos e mínimos, das vigas V1, V8, V15 e V24 na cobertura e pavimento tipo e suas correspondentes V1, V7, V13 e V22 no play-ground. Os pavimentos são indicados por FISCH-CB, FISCH-PT e FISCH-PG respectivamente. FISCH-PT no grupo N.2 são as vigas do 2º ao 7º andar e FISCH-PT no grupo N.3 são as vigas do 8º ao 13º.

A escolha da viga e do grupo de andares para traçar o gráfico, também é feita pelo usuário, podendo, desse modo, utilizar a saída numérica para dimensionar aquelas vigas mais simples.

Play Ground

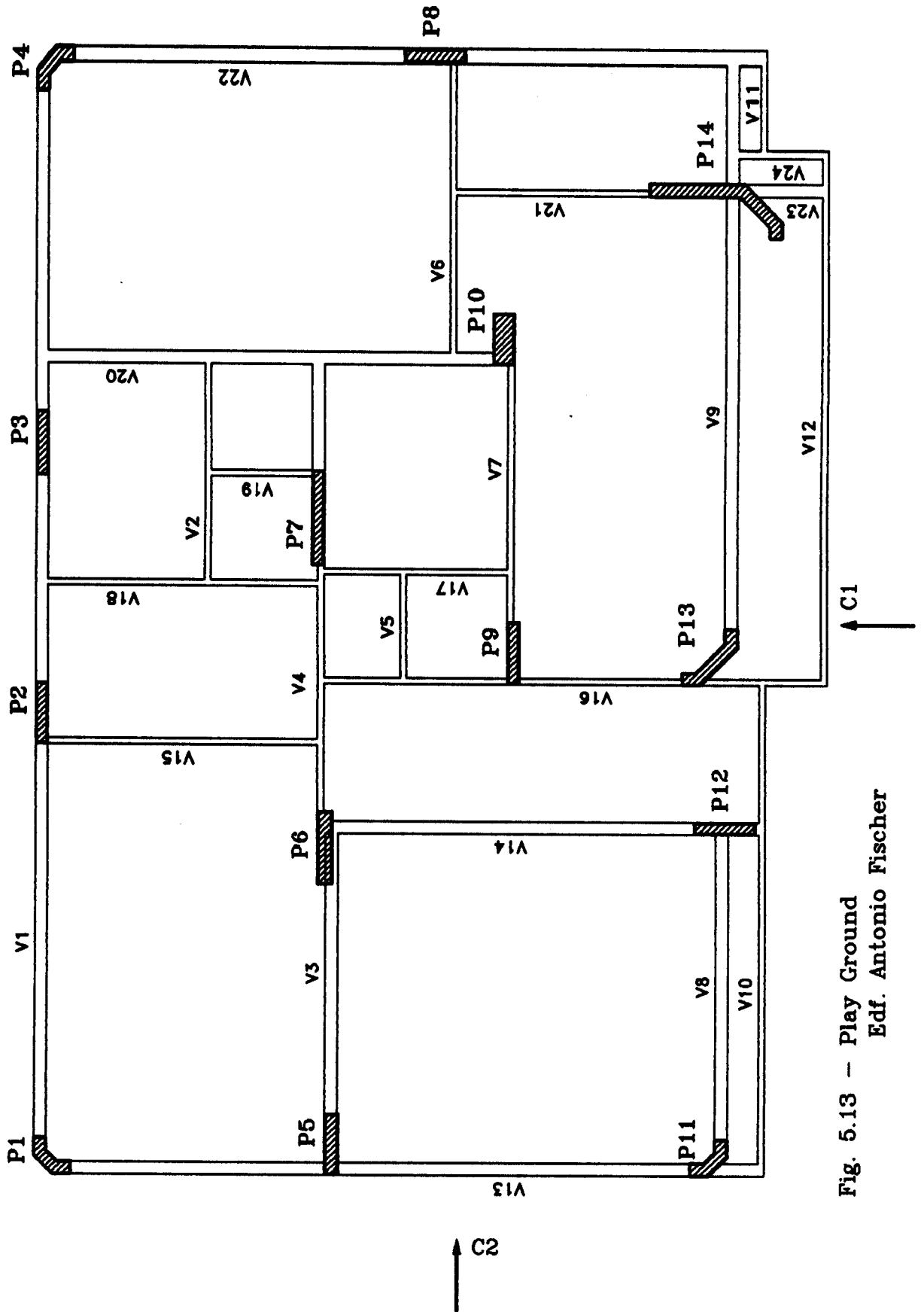


Fig. 5.13 - Play Ground
Edf. Antonio Fischer

Pav. Tipo e Cobertura

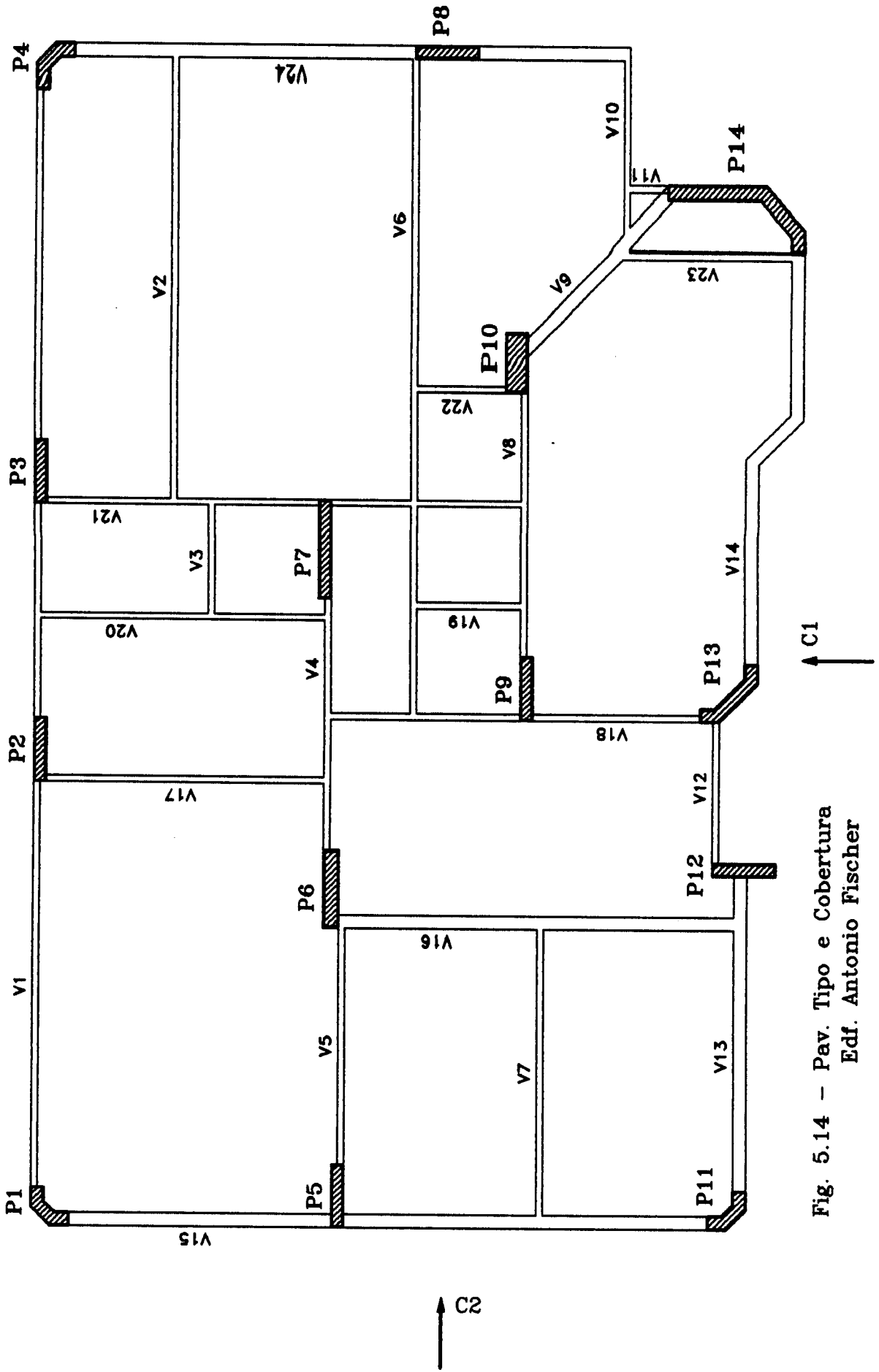


Fig. 5.14 - Pav. Tipo e Cobertura
Edf. Antonio Fischer

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2:35
FISCH Pag. 1

DADOS GERAIS

Mod. Deformacao Longitudinal = 2000.0000.kN/cm²
Numero de Andares = 14
Combinacoes de cargas acidentais = 1
Numero de Acoes do Vento = 2

PAVIMENTOS

Andar	Pe-Direito (m)	Nome
14	2.85	FISCH-CB
13	2.85	FISCH-PT
12	2.85	FISCH-PT
11	2.85	FISCH-PT
10	2.85	FISCH-PT
9	2.85	FISCH-PT
8	2.85	FISCH-PT
7	2.85	FISCH-PT
6	2.85	FISCH-PT
5	2.85	FISCH-PT
4	2.85	FISCH-PT
3	2.85	FISCH-PT
2	2.85	FISCH-PT
1	2.85	FISCH-PG

FORCAS DO VENTO (kN)

Andar	C 1	C 2
14	33.2	17.7
13	65.5	35.0
12	64.2	34.3
11	62.9	33.5
10	61.4	32.8
9	59.8	31.9
8	58.1	31.0
7	56.1	29.9
6	54.0	28.8
5	51.6	27.5
4	48.8	26.0
3	45.4	24.2
2	41.0	21.9
1	34.2	18.3
Seno	1.000	0.000
Coss	0.000	1.000
XC	8.82	0.00
YC	0.00	4.80

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
FISCH

7/12/90 2:35
Pag. 2

PAVIMENTO - FISCH-P6

Numero de Pilares = 14
Numero de Vigas = 24
Secoes Poligonais de Pilares = 5
Secoes Poligonais de Vigas = 0

SECOES POLIGONAIS DE PILARES

Secao 1

X 1 = 30.0	Y 1 = 0.0	X 2 = 60.0	Y 2 = 0.0
X 3 = 60.0	Y 3 = -20.0	X 4 = 38.3	Y 4 = -20.0
X 5 = 20.0	Y 5 = -38.3	X 6 = 20.0	Y 6 = -60.0
X 7 = 0.0	Y 7 = -60.0	X 8 = 0.0	Y 8 = -30.0

Secao 2

X 1 = -60.0	Y 1 = 0.0	X 2 = -30.0	Y 2 = 0.0
X 3 = 0.0	Y 3 = -30.0	X 4 = 0.0	Y 4 = -60.0
X 5 = -20.0	Y 5 = -60.0	X 6 = -20.0	Y 6 = -38.3
X 7 = -38.3	Y 7 = -20.0	X 8 = -60.0	Y 8 = -20.0

Secao 3

X 1 = 0.0	Y 1 = 60.0	X 2 = 20.0	Y 2 = 60.0
X 3 = 20.0	Y 3 = 38.3	X 4 = 38.3	Y 4 = 20.0
X 5 = 60.0	Y 5 = 20.0	X 6 = 60.0	Y 6 = 0.0
X 7 = 30.0	Y 7 = 0.0	X 8 = 0.0	Y 8 = 30.0

Secao 4

X 1 = 0.0	Y 1 = 90.0	X 2 = 20.0	Y 2 = 90.0
X 3 = 20.0	Y 3 = 68.3	X 4 = 68.3	Y 4 = 20.0
X 5 = 90.0	Y 5 = 20.0	X 6 = 90.0	Y 6 = 0.0
X 7 = 60.0	Y 7 = 0.0	X 8 = 0.0	Y 8 = 60.0

Secao 5

X 1 = -85.0	Y 1 = 20.0	X 2 = -68.3	Y 2 = 20.0
X 3 = -20.0	Y 3 = 68.3	X 4 = -20.0	Y 4 = 215.0
X 5 = 0.0	Y 5 = 215.0	X 6 = 0.0	Y 6 = 60.0
X 7 = -60.0	Y 7 = 0.0	X 8 = -85.0	Y 8 = 0.0

CARACTERISTICAS DOS PILARES

Pilar	X (m)	Y (m)	Tip	Dimensoes (cm)
1	0.00	11.30	Q	Secao tipo = 1
2	7.45	11.20	R	Bx =100.0 By = 20.0
3	11.75	11.20	R	Bx =100.0 By = 20.0
4	17.65	11.30	Q	Secao tipo = 2
5	0.50	6.45	R	Bx =100.0 By = 23.0
6	5.30	6.57	R	Bx =120.0 By = 25.0
7	10.60	6.70	R	Bx =150.0 By = 20.0
8	17.55	4.80	R	Bx = 20.0 By =100.0

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
FISCH

7/12/90 2:35
 Pag. 3

9	8.45	3.50	R	Bx =100.0	By = 20.0
10	13.40	3.67	R	Bx = 80.0	By = 35.0
11	0.00	0.00	Q	Secao tipo = 3	
12	5.65	0.05	R	Bx = 20.0	By =100.0
13	7.95	-0.15	Q	Secao tipo = 4	
14	15.80	-0.85	Q	Secao tipo = 5	

COORDENADAS DOS NOS DE VIGAS

X 1 = 9.55	Y 1 = 11.20	X 2 = 13.10	Y 2 = 11.20
X 3 = 9.55	Y 3 = 8.50	X 4 = 11.30	Y 4 = 8.50
X 5 = 13.10	Y 5 = 8.50	X 6 = 5.65	Y 6 = 6.46
X 7 = 7.00	Y 7 = 6.65	X 8 = 8.00	Y 8 = 6.65
X 9 = 9.55	Y 9 = 6.65	X10 = 9.75	Y10 = 6.65
X11 = 13.10	Y11 = 6.70	X12 = 8.00	Y12 = 5.30
X13 = 9.75	Y13 = 5.30	X14 = 13.10	Y14 = 4.50
X15 = 15.65	Y15 = 4.50	X16 = 9.75	Y16 = 3.55
X17 = 16.25	Y17 = -0.05	X18 = 17.55	Y18 = -0.05
X19 = 0.10	Y19 = -0.55	X20 = 5.65	Y20 = -0.55
X21 = 8.00	Y21 = -0.55	X22 = 16.25	Y22 = -0.55
X23 = 17.55	Y23 = -0.55	X24 = 8.00	Y24 = -1.55
X25 = 15.70	Y25 = -1.55	X26 = 16.25	Y26 = -1.55

CARACTERISTICAS DAS VIGAS

V/T	Exc. Iniciais			Exc. Finais			Tp	Dim. (cm)
	No	X	Y	No	X	Y		
1 - 1	P 1	40.0	-10.0	P 2	-30.0	0.0	R	20.0x 75.0
1 - 2	P 2	30.0	0.0	N 1	0.0	0.0	R	20.0x 75.0
1 - 3	N 1	0.0	0.0	P 3	-30.0	0.0	R	20.0x 75.0
1 - 4	P 3	30.0	0.0	N 2	0.0	0.0	R	20.0x 75.0
1 - 5	N 2	0.0	0.0	P 4	-40.0	-10.0	R	20.0x 75.0
2 - 1	N 3	0.0	0.0	N 4	0.0	0.0	R	10.0x 40.0
2 - 2	N 4	0.0	0.0	N 5	0.0	0.0	R	10.0x 40.0
3 - 1	P 5	30.0	1.5	N 6	0.0	0.0	R	20.0x 50.0
4 - 1	P 6	40.0	7.5	N 7	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
4 - 2	N 7	0.0	0.0	N 8	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
4 - 3	N 8	0.0	0.0	N 9	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
4 - 4	N 9	0.0	0.0	N10	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
4 - 5	N10	0.0	0.0	P 7	-55.0	-5.0	R	10.0x 60.0
4 - 6	P 7	55.0	0.0	N11	0.0	0.0	R	20.0x 60.0
5 - 1	N12	0.0	0.0	N13	0.0	0.0	R	10.0x 30.0
6 - 1	N14	0.0	0.0	N15	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
6 - 2	N15	0.0	0.0	P 8	0.0	-30.0	R	10.0x 50.0
7 - 1	P 9	30.0	5.0	N16	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
7 - 2	N16	0.0	0.0	P10	-20.0	-12.5	R	10.0x 60.0
8 - 1	P11	40.0	10.0	P12	0.0	5.0	R	20.0x 60.0
9 - 1	P13	70.0	10.0	P14	-10.0	80.0	R	20.0x 60.0
9 - 2	P14	-10.0	80.0	N17	0.0	0.0	R	20.0x 60.0
9 - 3	N17	0.0	0.0	N18	0.0	0.0	R	20.0x 60.0

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2:35
FISCH Pag. 4

10 - 1	N19	0.0	0.0	N20	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
10 - 2	N20	0.0	0.0	N21	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
11 - 1	N22	0.0	0.0	N23	0.0	0.0	R	10.0x	30.0
12 - 1	N24	0.0	0.0	N25	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
12 - 2	N25	0.0	0.0	N26	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
13 - 1	N19	0.0	0.0	F11	10.0	40.0	R	20.0x	60.0
13 - 2	F11	10.0	40.0	P 5	-40.0	0.0	R	20.0x	60.0
13 - 3	P 5	-40.0	0.0	P 1	10.0	-40.0	R	20.0x	60.0
14 - 1	N20	0.0	0.0	F12	0.0	-30.0	R	20.0x	50.0
14 - 2	F12	0.0	30.0	N 6	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
14 - 3	N 6	0.0	0.0	P 6	35.0	0.0	R	20.0x	50.0
15 - 1	N 7	0.0	0.0	P 2	-45.0	0.0	R	10.0x	50.0
16 - 1	N24	0.0	0.0	N21	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
16 - 2	N21	0.0	0.0	F13	5.0	75.0	R	10.0x	60.0
16 - 3	F13	5.0	75.0	P 9	-45.0	0.0	R	10.0x	60.0
16 - 4	P 9	-45.0	0.0	N12	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
16 - 5	N12	0.0	0.0	N 8	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
17 - 1	N16	0.0	0.0	N13	0.0	0.0	R	10.0x	40.0
17 - 2	N13	0.0	0.0	N10	0.0	0.0	R	10.0x	40.0
18 - 1	N 9	0.0	0.0	N 3	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
18 - 2	N 3	0.0	0.0	N 1	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
19 - 1	F 7	70.0	0.0	N 4	0.0	0.0	R	10.0x	30.0
20 - 1	F10	-30.0	0.0	N14	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
20 - 2	N14	0.0	0.0	N11	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
20 - 3	N11	0.0	0.0	N 5	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
20 - 4	N 5	0.0	0.0	N 2	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
21 - 1	F14	-15.0	195.0	N15	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
22 - 1	N23	0.0	0.0	N18	0.0	0.0	R	20.0x	60.0
22 - 2	N18	0.0	0.0	P 8	0.0	-30.0	R	20.0x	60.0
22 - 3	P 8	0.0	30.0	P 4	-10.0	-40.0	R	20.0x	60.0
23 - 1	N25	0.0	0.0	F14	-10.0	80.0	R	20.0x	30.0
24 - 1	N26	0.0	0.0	N22	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
24 - 2	N22	0.0	0.0	N17	0.0	0.0	R	10.0x	60.0

CARGAS PERMANENTES NAS VIGAS

V/T	q	F1	a1	F2	a2	F3	a3
1 - 1	8.2						
1 - 2	8.2						
1 - 3	8.2						
1 - 4	8.2						
1 - 5	3.8						
2 - 1	1.0						
2 - 2	1.0						
3 - 1	2.5						
4 - 1	1.5						
4 - 2	5.9						
4 - 3	5.9						
4 - 4	5.9						
4 - 5	5.9						

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
FISCH

7/12/90 2:35

Pag. 5

4 - 6	5.9
5 - 1	6.0
6 - 1	5.7
6 - 2	1.3
7 - 1	5.9
7 - 2	3.5
8 - 1	3.0
9 - 1	3.0
9 - 2	3.0
9 - 3	3.0
10 - 1	1.3
10 - 2	1.3
11 - 1	1.0
12 - 1	1.3
12 - 2	1.3
13 - 1	3.0
13 - 2	3.0
13 - 3	7.4
14 - 1	2.5
14 - 2	2.5
14 - 3	2.5
15 - 1	5.1
16 - 1	5.9
16 - 2	5.9
16 - 3	5.9
16 - 4	5.9
16 - 5	1.3
17 - 1	5.9
17 - 2	1.3
18 - 1	2.8
18 - 2	4.0
19 - 1	5.8
20 - 1	2.5
20 - 2	7.1
20 - 3	2.5
20 - 4	2.5
21 - 1	5.9
22 - 1	3.0
22 - 2	3.0
22 - 3	3.0
23 - 1	1.5
24 - 1	1.3
24 - 2	1.3

LAJES RETANGULARES

Laje Reta	1	L1 = 6.80	L2 = 4.70	G = 5.90	Q = 3.00
Combinacoes =	1,				
Lado	Vinculo	Vigas			
1	A	V 1 - 1			

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios
FISCH

7/12/90 2:35

Pag. 6

2 A V15 - 1
 3 E V 4 - 1 V 3 - 1
 4 A V13 - 3

Laje Reta 2 L1 = 3.55 L2 = 2.70 G = 3.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 1 - 3 V 1 - 4
2	E	V20 - 4
3	A	V 2 - 1 V 2 - 2
4	A	V18 - 2

Laje Reta 3 L1 = 1.80 L2 = 1.80 G = 3.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 2 - 2
2	E	V20 - 3
3	E	V 4 - 6
4	A	V19 - 1

Laje Reta 4 L1 = 4.45 L2 = 6.70 G = 4.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 1 - 5
2	A	V22 - 3
3	A	V 6 - 1 V 6 - 2
4	E	V20 - 2 V20 - 3 V20 - 4

Laje Reta 5 L1 = 4.70 L2 = 6.35 G = 4.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 3 - 1
2	E	V14 - 2
3	E	V 8 - 1
4	A	V13 - 2

Laje Reta 6 L1 = 2.35 L2 = 7.20 G = 3.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 4 - 1 V 4 - 2
2	A	V16 - 2 V16 - 3 V16 - 4 V16 - 5
3	A	V10 - 2
4	E	V14 - 1 V14 - 2

Laje Reta 7 L1 = 1.75 L2 = 1.35 G = 3.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 4 - 3 V 4 - 4
2	E	V17 - 2
3	A	V 5 - 1

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
FISCH

7/12/90 2:35

Pag. 7

4 E V16 - 5

Laje Reta 8 L1 = 3.35 L2 = 3.10 G = 3.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado Vinculo Vigas

1	A	V 4 - 5	V 4 - 6
2	E	V20 - 1	V20 - 2
3	A	V 7 - 2	
4	A	V17 - 1	V17 - 2

Laje Reta 9 L1 = 1.90 L2 = 4.55 G = 3.90 Q = 0.00

Combinacoes = 1,

Lado Vinculo Vigas

1	E	V 6 - 2	
2	A	V22 - 2	
3	A	V 9 - 2	V 9 - 3
4	A	V21 - 1	

Laje Reta 10 L1 = 4.70 L2 = 0.65 G = 3.00 Q = 0.00

Combinacoes = 1,

Lado Vinculo Vigas

1	E	V 8 - 1	
2	E	V14 - 1	
3	A	V10 - 1	
4	A	V13 - 1	

Laje Reta 11 L1 = 7.70 L2 = 1.50 G = 4.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado Vinculo Vigas

1	A	V 9 - 1	
2	A	V23 - 1	
3	A	V12 - 1	
4	A	V16 - 1	V16 - 2

Laje Reta 12 L1 = 1.30 L2 = 0.50 G = 4.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado Vinculo Vigas

1	E	V 9 - 3	
2	A	V22 - 1	
3	A	V11 - 1	
4	E	V24 - 2	

Laje Reta 13 L1 = 0.55 L2 = 1.50 G = 4.00 Q = 3.00

Combinacoes = 1,

Lado Vinculo Vigas

1	E	V 9 - 2	
2	A	V24 - 1	V24 - 2
3	A	V12 - 2	
4	E	V23 - 1	

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
FISCH

7/12/90 2:35
Pag. 8

LAJES POLIGONAIS

Laje Poligonal 1
Combinacoes = 1,

Lado	Viga	Permanente	Acidental
1	V 1 - 2	6.90	4.60
2	V 4 - 2	6.90	4.60
3	V 4 - 3	6.90	4.60

PAVIMENTO - FISCH-PT

Numero de Pilares = 14
Numero de Vigas = 24
Secoes Poligonais de Pilares = 5
Secoes Poligonais de Vigas = 0

SECOES POLIGONAIS DE PILARES

Secao 1

X 1 = 30.0	Y 1 = 0.0	X 2 = 60.0	Y 2 = 0.0
X 3 = 60.0	Y 3 = -20.0	X 4 = 38.3	Y 4 = -20.0
X 5 = 20.0	Y 5 = -38.3	X 6 = 20.0	Y 6 = -60.0
X 7 = 0.0	Y 7 = -60.0	X 8 = 0.0	Y 8 = -30.0

Secao 2

X 1 = -60.0	Y 1 = 0.0	X 2 = -30.0	Y 2 = 0.0
X 3 = 0.0	Y 3 = -30.0	X 4 = 0.0	Y 4 = -60.0
X 5 = -20.0	Y 5 = -60.0	X 6 = -20.0	Y 6 = -38.3
X 7 = -38.3	Y 7 = -20.0	X 8 = -60.0	Y 8 = -20.0

Secao 3

X 1 = 0.0	Y 1 = 60.0	X 2 = 20.0	Y 2 = 60.0
X 3 = 20.0	Y 3 = 38.3	X 4 = 38.3	Y 4 = 20.0
X 5 = 60.0	Y 5 = 20.0	X 6 = 60.0	Y 6 = 0.0
X 7 = 30.0	Y 7 = 0.0	X 8 = 0.0	Y 8 = 30.0

Secao 4

X 1 = 0.0	Y 1 = 90.0	X 2 = 20.0	Y 2 = 90.0
X 3 = 20.0	Y 3 = 68.3	X 4 = 68.3	Y 4 = 20.0
X 5 = 90.0	Y 5 = 20.0	X 6 = 90.0	Y 6 = 0.0
X 7 = 60.0	Y 7 = 0.0	X 8 = 0.0	Y 8 = 60.0

Secao 5

X 1 = -85.0	Y 1 = 20.0	X 2 = -68.3	Y 2 = 20.0
X 3 = -20.0	Y 3 = 68.3	X 4 = -20.0	Y 4 = 215.0
X 5 = 0.0	Y 5 = 215.0	X 6 = 0.0	Y 6 = 60.0
X 7 = -60.0	Y 7 = 0.0	X 8 = -85.0	Y 8 = 0.0

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2:35
FISCH Pag. 9

CARACTERISTICAS DOS PILARES

Pilar	X (m)	Y (m)	Tipo	Dimensoes (cm)
1	0.00	11.30	Q	Secao tipo = 1
2	7.45	11.20	R	Bx =100.0 By = 20.0
3	11.75	11.20	R	Bx =100.0 By = 20.0
4	17.65	11.30	Q	Secao tipo = 2
5	0.50	6.45	R	Bx =100.0 By = 20.0
6	5.30	6.57	R	Bx =120.0 By = 25.0
7	10.60	6.70	R	Bx =150.0 By = 20.0
8	17.55	4.80	R	Bx = 20.0 By =100.0
9	8.45	3.50	R	Bx =100.0 By = 20.0
10	13.40	3.67	R	Bx = 80.0 By = 35.0
11	0.00	0.00	Q	Secao tipo = 3
12	5.65	0.05	R	Bx = 20.0 By =100.0
13	7.95	-0.15	Q	Secao tipo = 4
14	15.80	-0.85	Q	Secao tipo = 5

COORDENADAS DOS NOS DE VIGAS

X 1 = 9.55	Y 1 = 11.25	X 2 = 11.30	Y 2 = 9.10
X 3 = 17.55	Y 3 = 9.10	X 4 = 9.55	Y 4 = 8.50
X 5 = 11.30	Y 5 = 8.50	X 6 = 7.00	Y 6 = 6.65
X 7 = 8.00	Y 7 = 6.65	X 8 = 9.55	Y 8 = 6.65
X 9 = 4.80	Y 9 = 6.40	X10 = 8.00	Y10 = 5.30
X11 = 9.75	Y11 = 5.30	X12 = 11.30	Y12 = 5.30
X13 = 13.05	Y13 = 5.30	X14 = 0.10	Y14 = 3.25
X15 = 4.80	Y15 = 3.25	X16 = 9.75	Y16 = 3.55
X17 = 11.30	Y17 = 3.55	X18 = 15.05	Y18 = 1.95
X19 = 15.75	Y19 = 1.95	X20 = 17.55	Y20 = 1.95
X21 = 14.90	Y21 = 2.11	X22 = 4.80	Y22 = 0.10
X23 = 17.55	Y23 = 5.30	X24 = 11.97	Y24 = -0.05
X25 = 12.67	Y25 = -0.75	X26 = 14.90	Y26 = -0.75

CARACTERISTICAS DAS VIGAS

V/T	Exc. Iniciais			Exc. Finais			Tp	Dim. (cm)
	No	X	Y	No	X	Y		
1 - 1	P 1	40.0	-5.0	P 2	-30.0	5.0	R	10.0x 60.0
1 - 2	P 2	30.0	5.0	N 1	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
1 - 3	N 1	0.0	0.0	P 3	-30.0	5.0	R	10.0x 60.0
1 - 4	P 3	30.0	5.0	P 4	-40.0	-5.0	R	10.0x 60.0
2 - 1	N 2	0.0	0.0	N 3	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
3 - 1	N 4	0.0	0.0	N 5	0.0	0.0	R	10.0x 30.0
4 - 1	P 6	40.0	7.5	N 6	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
4 - 2	N 6	0.0	0.0	N 7	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
4 - 3	N 7	0.0	0.0	N 8	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
4 - 4	N 8	0.0	0.0	P 7	-55.0	-5.0	R	10.0x 60.0
5 - 1	P 5	30.0	-5.0	N 9	0.0	0.0	R	10.0x 60.0
6 - 1	N10	0.0	0.0	N11	0.0	0.0	R	10.0x 50.0

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2:35
FISCH Pag. 10

6 - 2	N11	0.0	0.0	N12	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
6 - 3	N12	0.0	0.0	N13	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
6 - 4	N13	0.0	0.0	N23	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
7 - 1	N14	0.0	0.0	N15	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
8 - 1	P 9	30.0	5.0	N16	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
8 - 2	N16	0.0	0.0	N17	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
8 - 3	N17	0.0	0.0	F10	-20.0	-12.5	R	10.0x	60.0
9 - 1	F10	3.5	0.0	N21	0.0	0.0	R	20.0x	40.0
9 - 2	N21	0.0	0.0	N18	0.0	0.0	R	20.0x	40.0
9 - 3	N18	0.0	0.0	F14	-14.0	215.0	R	20.0x	40.0
10 - 1	N18	0.0	0.0	N19	0.0	0.0	R	10.0x	40.0
10 - 2	N19	0.0	0.0	N20	0.0	0.0	R	10.0x	40.0
11 - 1	F14	-5.0	215.0	N19	0.0	0.0	R	10.0x	40.0
12 - 1	F12	0.0	45.0	F13	10.0	65.0	R	10.0x	60.0
13 - 1	F11	40.0	10.0	N22	0.0	0.0	R	20.0x	60.0
13 - 2	N22	0.0	0.0	F12	0.0	5.0	R	20.0x	60.0
14 - 1	F13	70.0	10.0	N24	0.0	0.0	R	20.0x	60.0
14 - 2	N24	0.0	0.0	N25	0.0	0.0	R	20.0x	60.0
14 - 3	N25	0.0	0.0	N26	0.0	0.0	R	20.0x	60.0
14 - 4	N26	0.0	0.0	F14	-65.0	10.0	R	20.0x	60.0
15 - 1	F11	10.0	40.0	N14	0.0	0.0	R	20.0x	60.0
15 - 2	N14	0.0	0.0	P 5	-40.0	0.0	R	20.0x	60.0
15 - 3	P 5	-40.0	0.0	F 1	10.0	-40.0	R	20.0x	60.0
16 - 1	N22	0.0	0.0	N15	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
16 - 2	N15	0.0	0.0	N 9	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
16 - 3	N 9	0.0	0.0	F 6	-50.0	0.0	R	20.0x	50.0
17 - 1	N 6	0.0	0.0	F 2	-45.0	0.0	R	10.0x	50.0
18 - 1	F13	5.0	70.0	F 9	-45.0	0.0	R	10.0x	60.0
18 - 2	F 9	-45.0	0.0	N10	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
18 - 3	N10	0.0	0.0	N 7	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
19 - 1	N16	0.0	0.0	N11	0.0	0.0	R	10.0x	30.0
20 - 1	N 8	0.0	0.0	N 4	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
20 - 2	N 4	0.0	0.0	N 1	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
21 - 1	N17	0.0	0.0	N12	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
21 - 2	N12	0.0	0.0	F 7	70.0	0.0	R	10.0x	60.0
21 - 3	F 7	70.0	0.0	N 5	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
21 - 4	N 5	0.0	0.0	N 2	0.0	0.0	R	10.0x	60.0
21 - 5	N 2	0.0	0.0	P 3	-45.0	0.0	R	10.0x	60.0
22 - 1	F10	-35.0	0.0	N13	0.0	0.0	R	10.0x	30.0
23 - 1	N26	0.0	0.0	N21	0.0	0.0	R	10.0x	40.0
24 - 1	N20	0.0	0.0	F 8	0.0	-30.0	R	20.0x	60.0
24 - 2	F 8	0.0	30.0	N23	0.0	0.0	R	20.0x	60.0
24 - 3	N23	0.0	0.0	N 3	0.0	0.0	R	20.0x	60.0
24 - 4	N 3	0.0	0.0	F 4	-10.0	-40.0	R	20.0x	60.0

CARGAS PERMANENTES NAS VIGAS

V/T	q	P1	a1	P2	a2	P3	a3
1 - 1	6.3						
1 - 2	6.3						

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
FISCH

7/12/90 2:35

Pag. 11

1 - 3	6.3
1 - 4	6.3
2 - 1	6.2
3 - 1	6.2
4 - 1	3.9
4 - 2	3.9
4 - 3	3.9
4 - 4	3.9
5 - 1	6.3
6 - 1	6.3
6 - 2	6.3
6 - 3	6.3
6 - 4	6.3
7 - 1	6.2
8 - 1	6.3
8 - 2	6.3
8 - 3	6.3
9 - 1	3.0
9 - 2	7.8
9 - 3	7.8
10 - 1	6.2
10 - 2	6.2
11 - 1	6.2
12 - 1	3.9
13 - 1	7.8
13 - 2	3.0
14 - 1	5.5
14 - 2	5.5
14 - 3	5.5
14 - 4	5.5
15 - 1	7.8
15 - 2	7.8
15 - 3	7.8
16 - 1	6.3
16 - 2	6.3
16 - 3	6.3
17 - 1	5.1
18 - 1	6.3
18 - 2	6.3
18 - 3	1.5
19 - 1	5.8
20 - 1	3.4
20 - 2	4.0
21 - 1	6.3
21 - 2	1.5
21 - 3	6.3
21 - 4	6.3
21 - 5	6.3
22 - 1	5.8
23 - 1	5.8

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2:35
FISCH Pag. 12

24 - 1 7.8
 24 - 2 7.8
 24 - 3 7.8
 24 - 4 7.8

LAJES RETANGULARES

Laje Reta 1 L1 = 6.90 L2 = 4.60 G = 6.00 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 1 - 1
2	A	V17 - 1
3	E	V 5 - 1 V 4 - 1
4	A	V15 - 3

Laje Reta 2 L1 = 1.55 L2 = 2.75 G = 4.80 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 1 - 3
2	E	V21 - 4 V21 - 5
3	A	V 3 - 1
4	A	V20 - 2

Laje Reta 3 L1 = 6.25 L2 = 2.15 G = 3.90 Q = 2.00

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 1 - 4
2	A	V24 - 3
3	E	V 2 - 1
4	E	V21 - 5

Laje Reta 4 L1 = 6.25 L2 = 3.80 G = 4.50 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 2 - 1
2	A	V24 - 2
3	E	V 6 - 3 V 6 - 4
4	A	V21 - 2 V21 - 3 V21 - 4

Laje Reta 5 L1 = 4.70 L2 = 3.15 G = 3.80 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 5 - 1
2	E	V16 - 2
3	E	V 7 - 1
4	A	V15 - 2

Laje Reta 6 L1 = 3.20 L2 = 6.15 G = 4.10 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
------	---------	-------

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 2:35
FISCH Pag. 13

1	E	V 4 - 1	V 4 - 2	
2	E	V18 - 1	V18 - 2	V18 - 3
3	A	V12 - 1	V13 - 3	
4	E	V16 - 1	V16 - 2	V16 - 3

Laje Reta 7 L1 = 3.30 L2 = 1.35 G = 3.00 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 4 - 3 V 4 - 4
2	E	V21 - 2
3	A	V 6 - 1 V 6 - 2
4	E	V18 - 3

Laje Reta 8 L1 = 1.55 L2 = 1.75 G = 3.00 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 6 - 2
2	E	V21 - 1
3	E	V 8 - 2
4	A	V19 - 1

Laje Reta 9 L1 = 1.75 L2 = 1.75 G = 3.00 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 6 - 3
2	E	V22 - 1
3	E	V 8 - 3
4	E	V21 - 1

Laje Reta 10 L1 = 4.70 L2 = 3.15 G = 3.80 Q = 1.50

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 7 - 1
2	E	V16 - 1
3	A	V13 - 1 V13 - 2
4	A	V15 - 1

LAJES POLIGONAIS

Laje Poligonal 1

Combinacoes = 1,

Lado	Viga	Permanente	Acidental
1	V 6 - 4	4.00	1.54
2	V24 - 1	3.27	1.26
3	V10 - 2	4.00	1.54
4	V10 - 1	4.00	1.54
5	V 9 - 1	4.00	1.54
6	V22 - 1	1.71	0.66

Laje Poligonal 2

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
FISCH

7/12/90 2:35

Pag. 14

Combinacoes = 1,

Lado	Viga	Permanente	Acidental
1	V 8 - 1	5.00	1.90
2	V 8 - 2	5.00	1.90
3	V 8 - 3	5.00	1.90
4	V 9 - 1	5.00	1.90
5	V23 - 1	5.00	1.90
6	V14 - 3	5.00	1.90
7	V14 - 2	5.00	1.90
8	V14 - 1	5.00	1.90
9	V18 - 1	5.00	1.90

Laje Poligonal 3

Combinacoes = 1,

Lado	Viga	Permanente	Acidental
1	V 1 - 2	9.20	4.60
2	V 4 - 2	9.20	4.60
3	V 4 - 3	9.20	4.60

Edificio : FISCH
Grupo N. 1 Pavimento : FISCH-PG
Viga 1 escala = 1/100

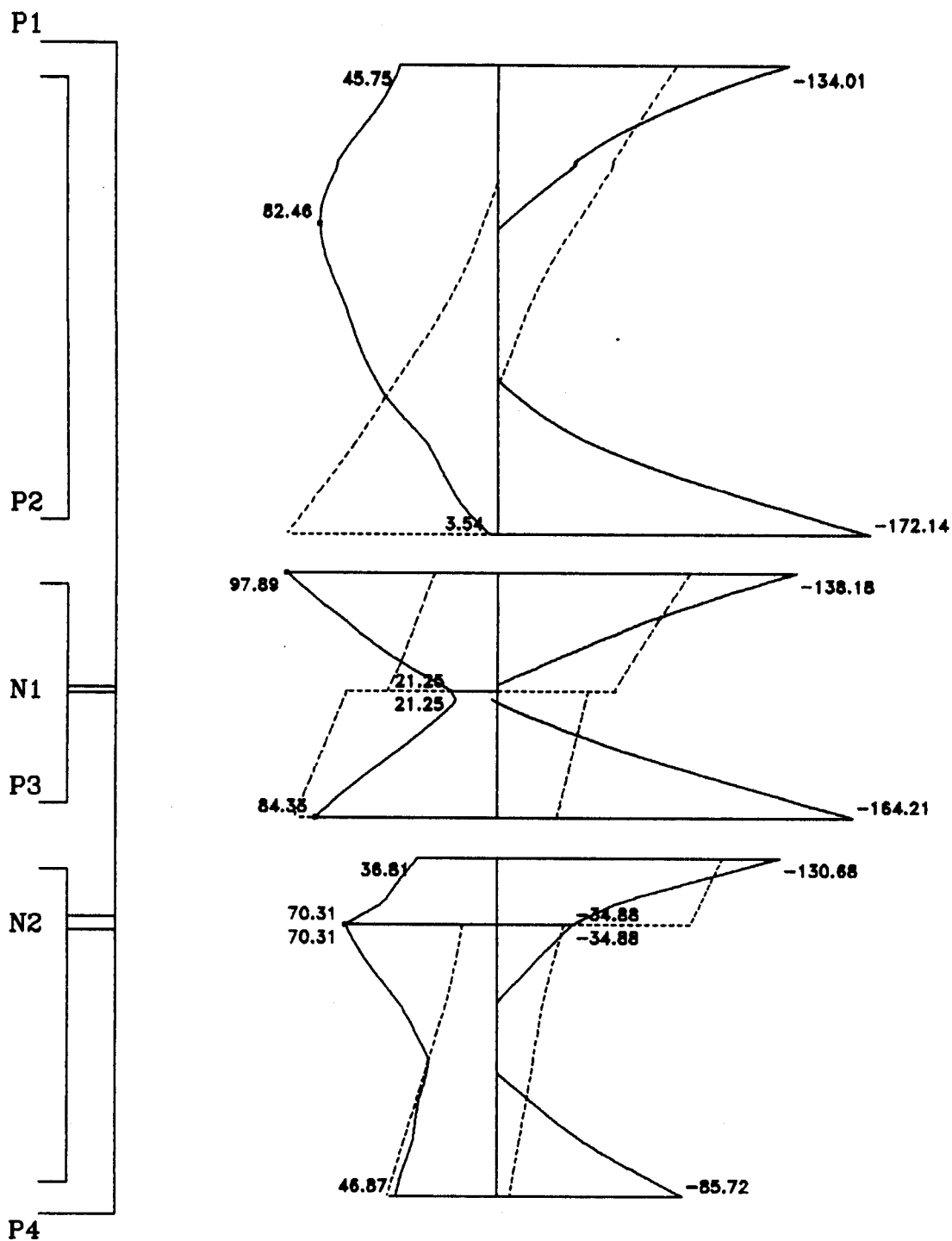


Fig. 5.15 - Viga 1 do pav 1

Edificio : FISCH
Grupo N. 2 Pavimento : FISCH-PT
Viga 1 escala = 1/100

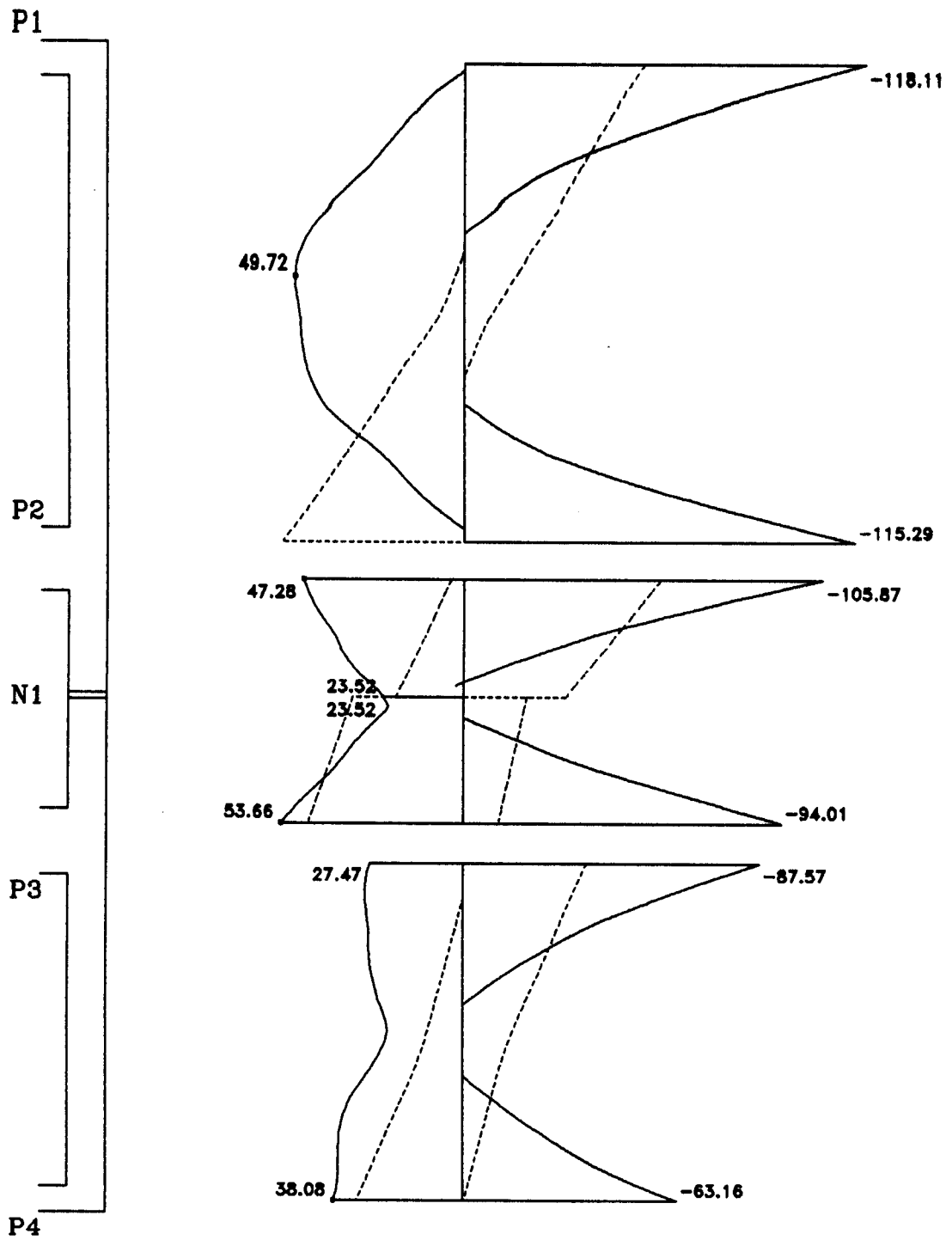


Fig. 5.16 - Viga 1 do pav 2 ao 7

Edifício : FISCH
Grupo N. 3 Pavimento : FISCH-PT
Viga 1 escala = 1/100

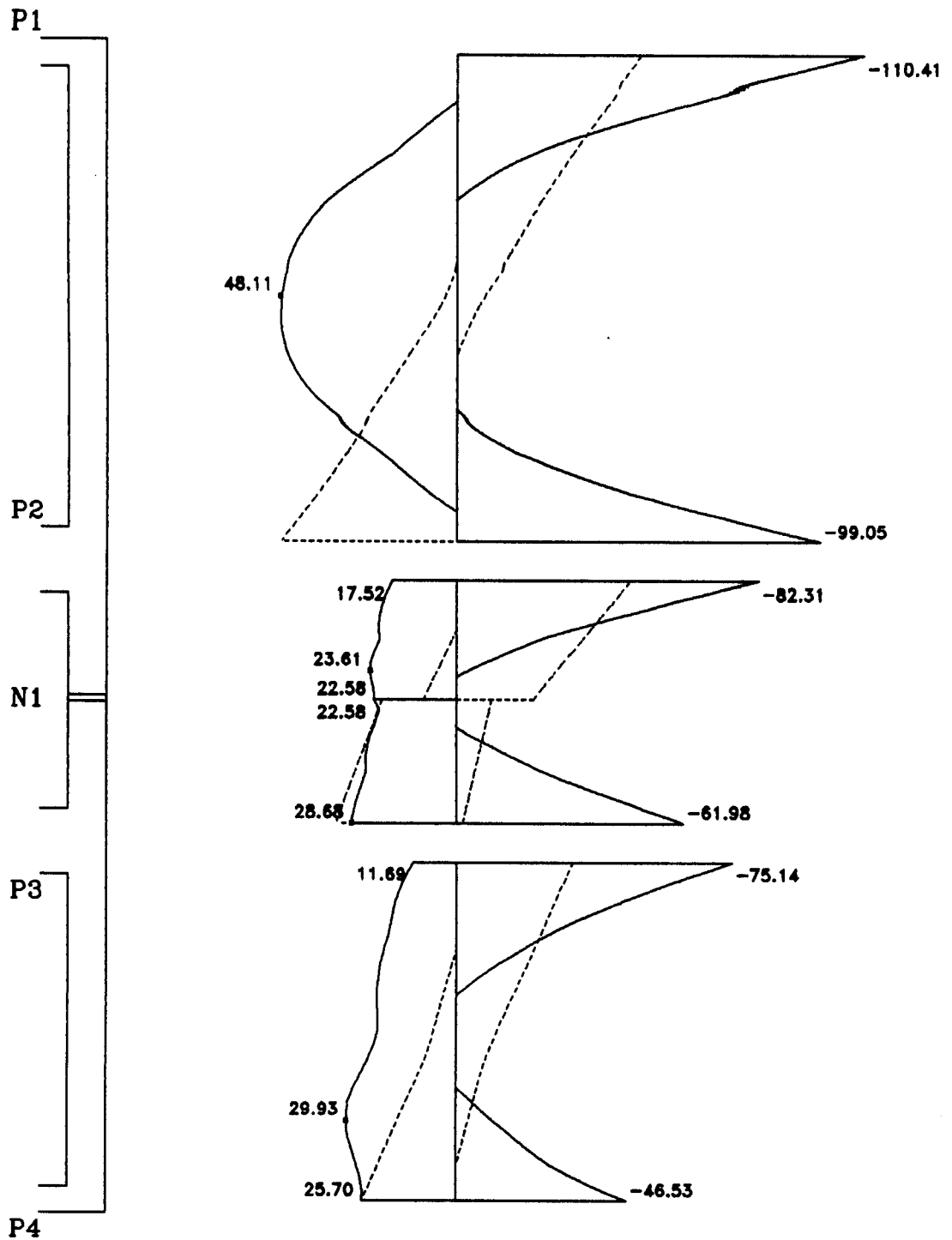


Fig. 5.17 - Viga 1 do pav 8 ao 13

Edifício : FISCH
Grupo N. 4 Pavimento : FISCH-CB
Viga 1 escala = 1/100

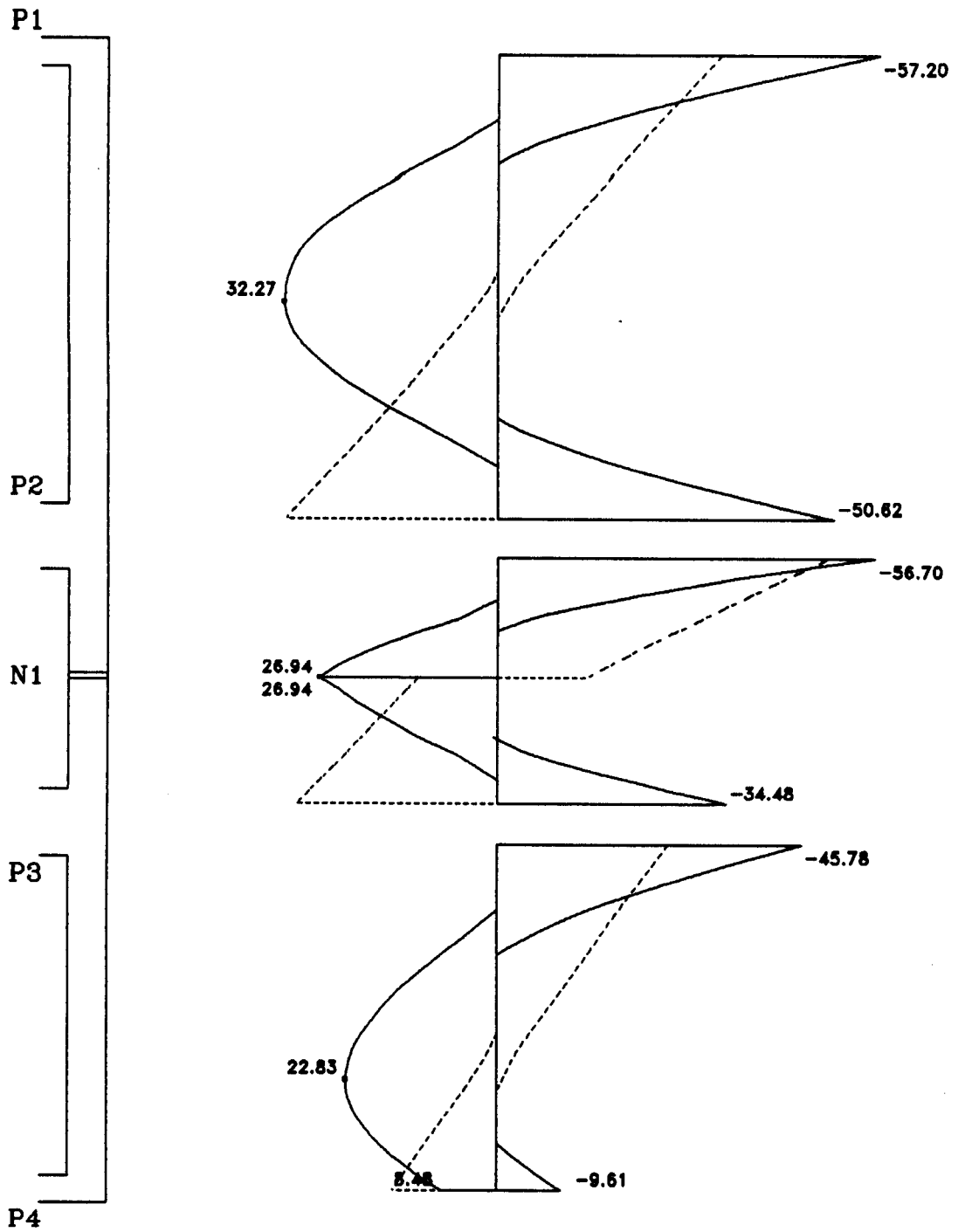


Fig. 5.18 - Viga 1 do pav 14

Edificio : FISCH
Grupo N. 1 Pavimento : FISCH-PG
Viga 7 escala = 1/ 50

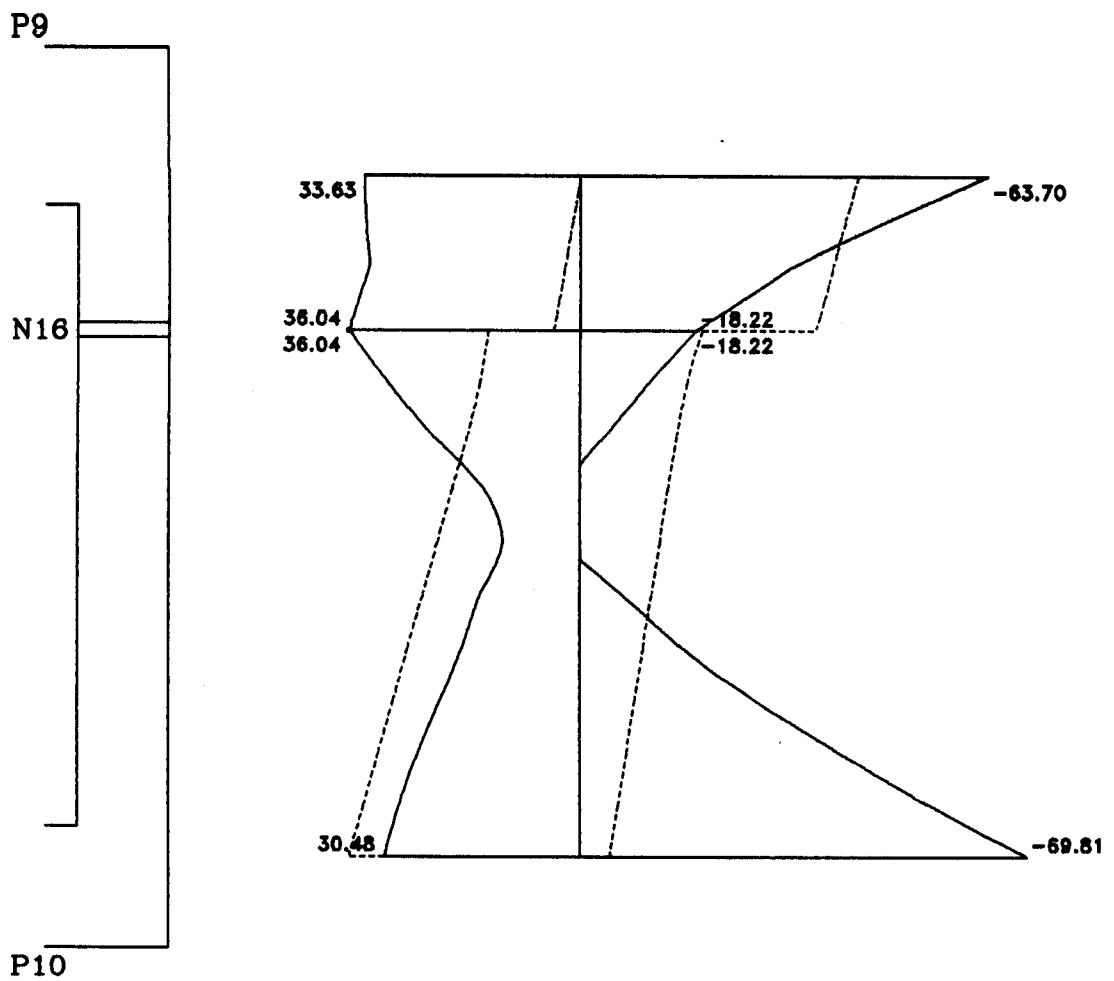


Fig. 5.19 - Viga 7 do pav 1

Edifício : FISCH
Grupo N. 2 Pavimento : FISCH-PT
Viga 8 escala = 1/ 50

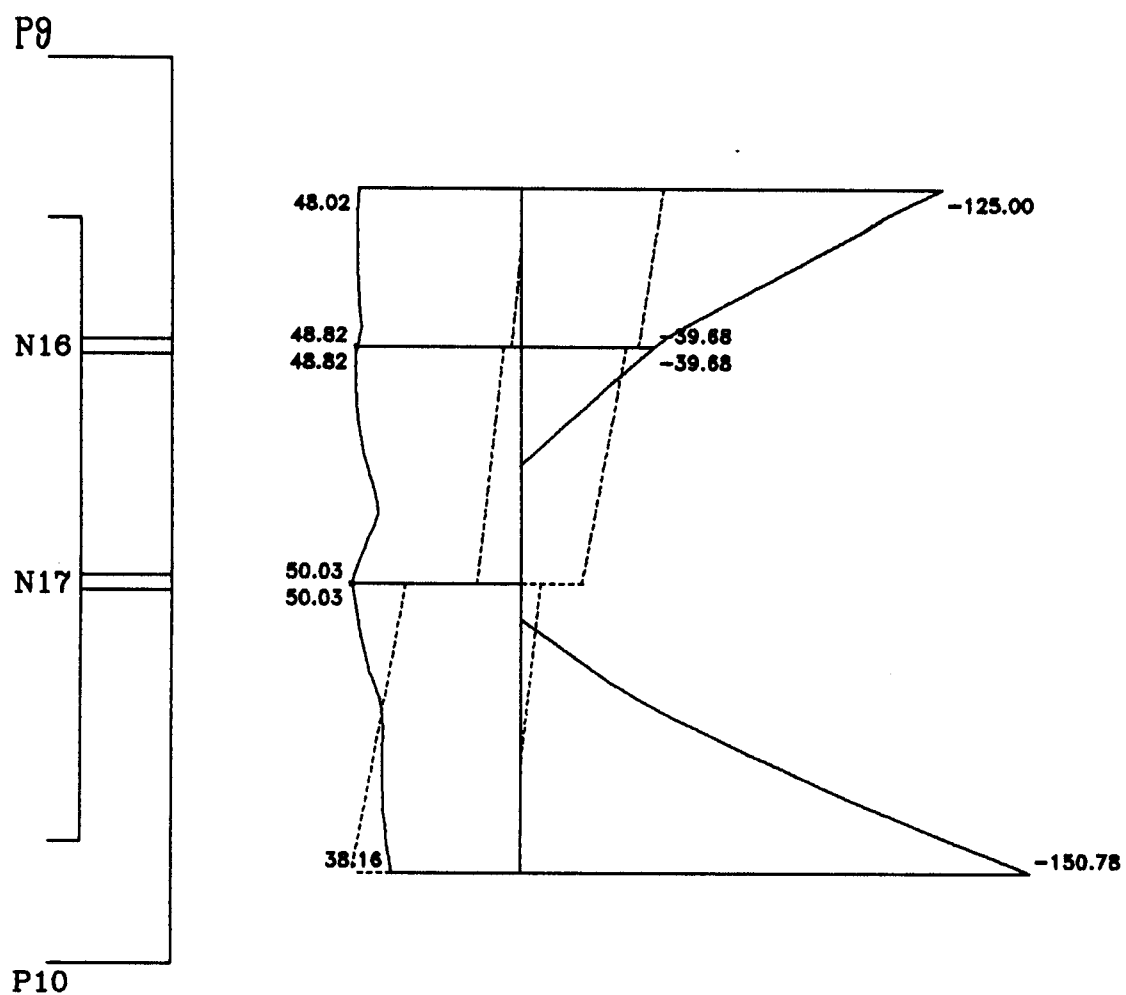


Fig. 5.20 - Viga 8 do pav 2 ao 7

Edifício : FISCH
Grupo N. 3 Pavimento : FISCH-PT
Viga 8 escala = 1/ 50

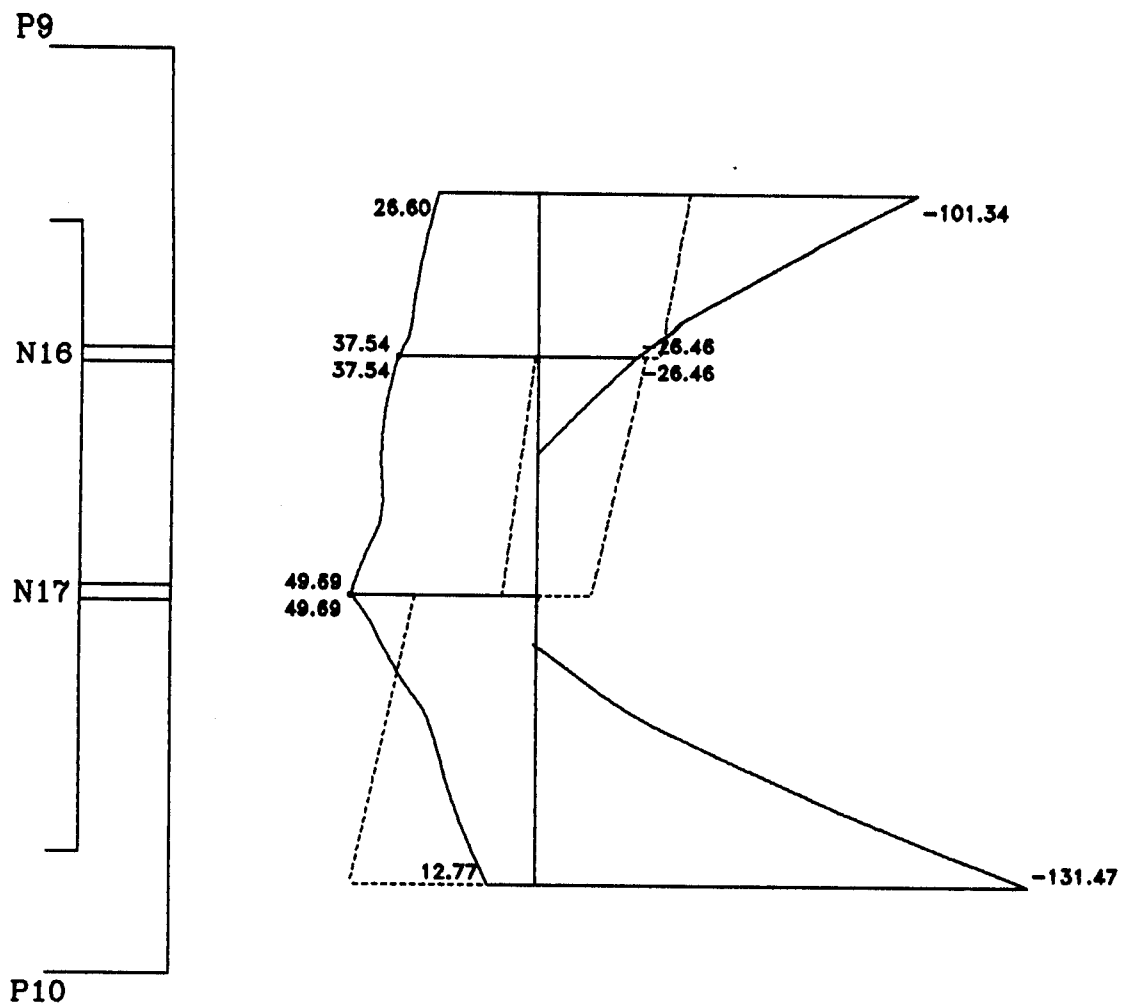


Fig. 5.21 - Viga 8 do pav 8 ao 13

Edifício : FISCH
Grupo N. 4 Pavimento : FISCH-CB
Viga 8 escala = 1/ 50

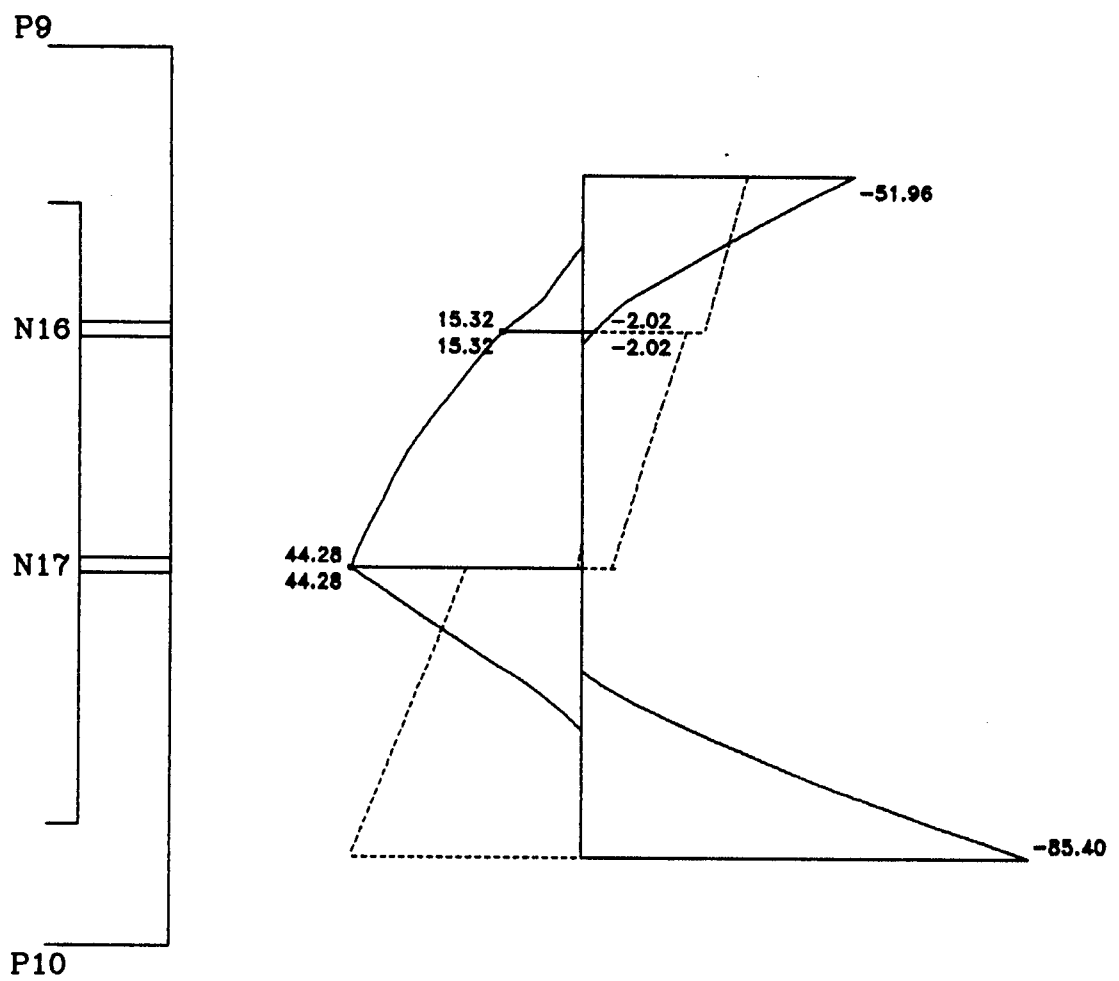


Fig. 5.22 - Viga 8 do pav 14

Edifício : FISCH
Grupo N. 1 Pavimento : FISCH-PG
Viga 13 escala = 1/100

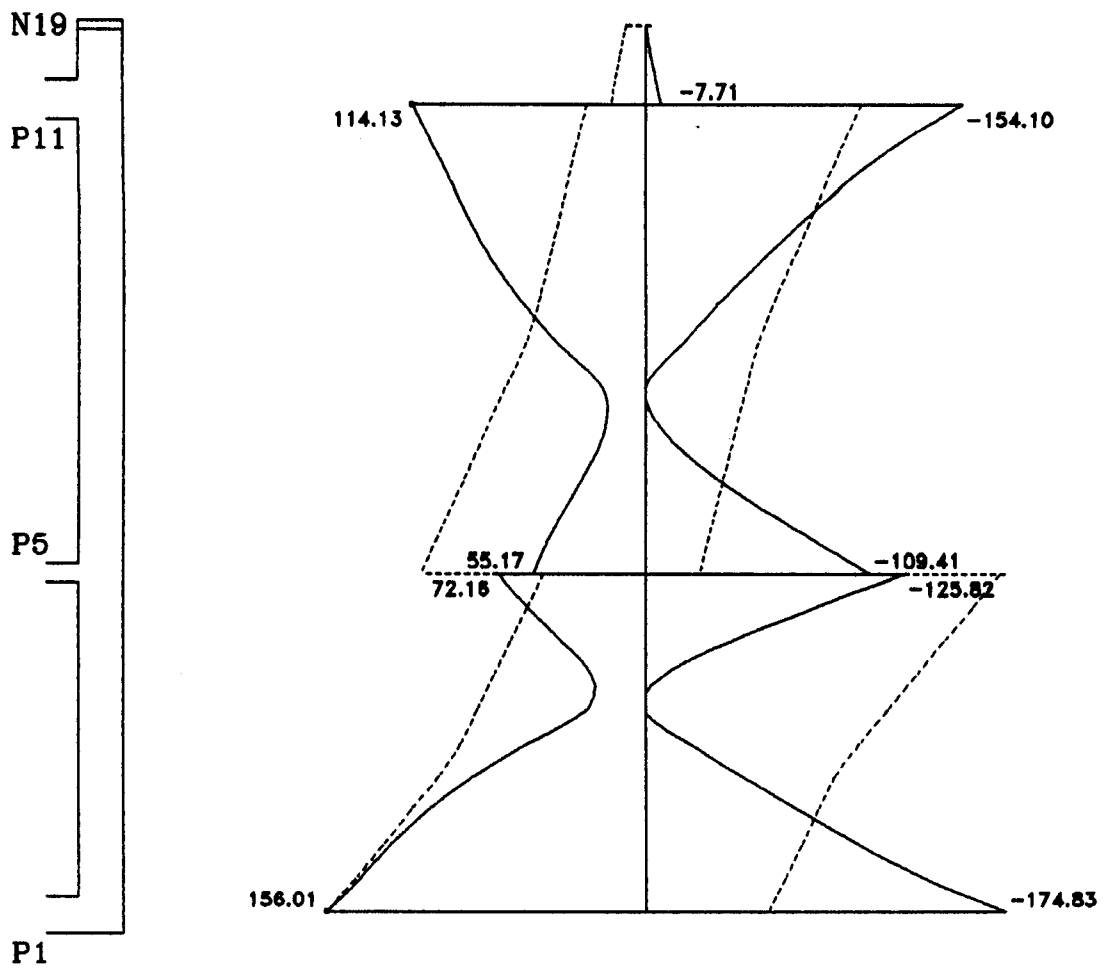


Fig. 5.23 - Viga 13 do pav 1

Edifício : FISCH
Grupo N. 2 Pavimento : FISCH-PT
Viga 15 escala = 1/100

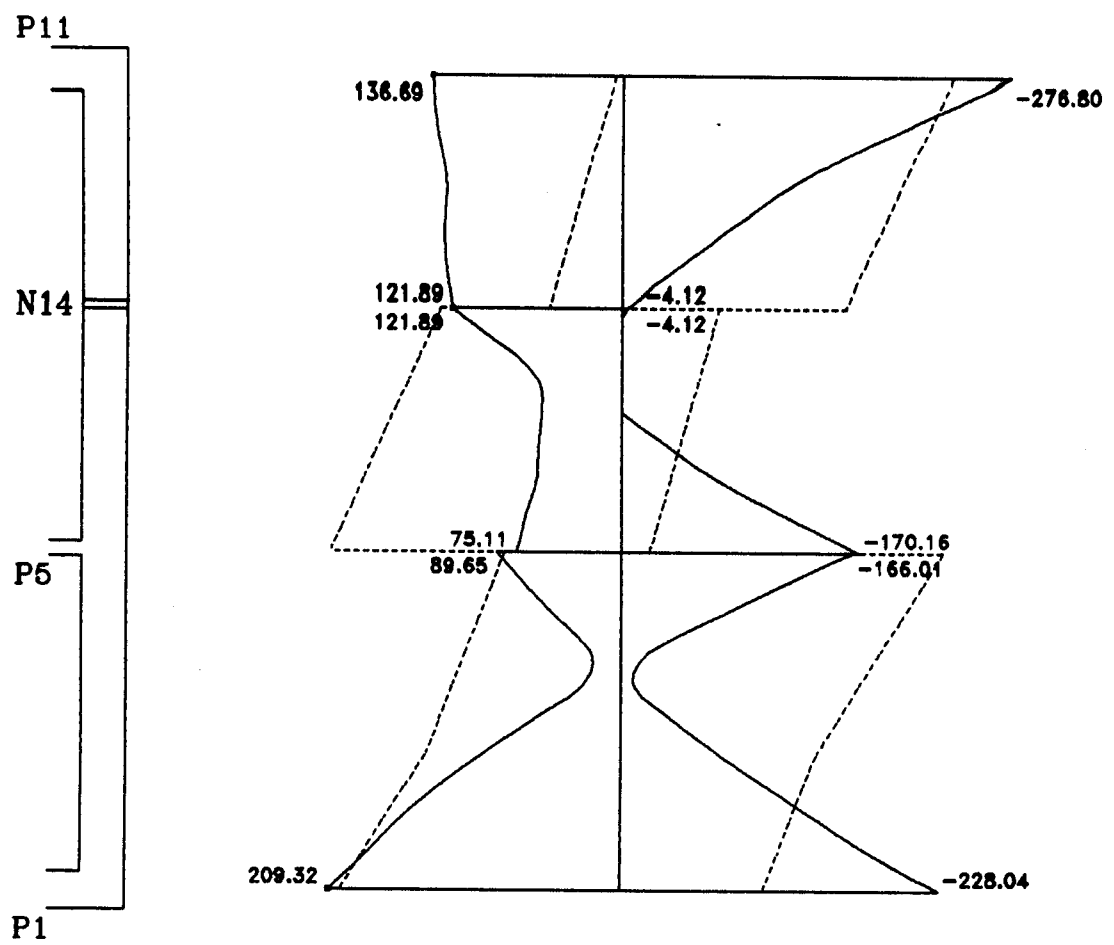


Fig. 5.24 - Viga 15 do pav 2 ao 7

Edifício : FISCH
Grupo N. 3 Pavimento : FISCH-PT
Viga 15 escala = 1/100

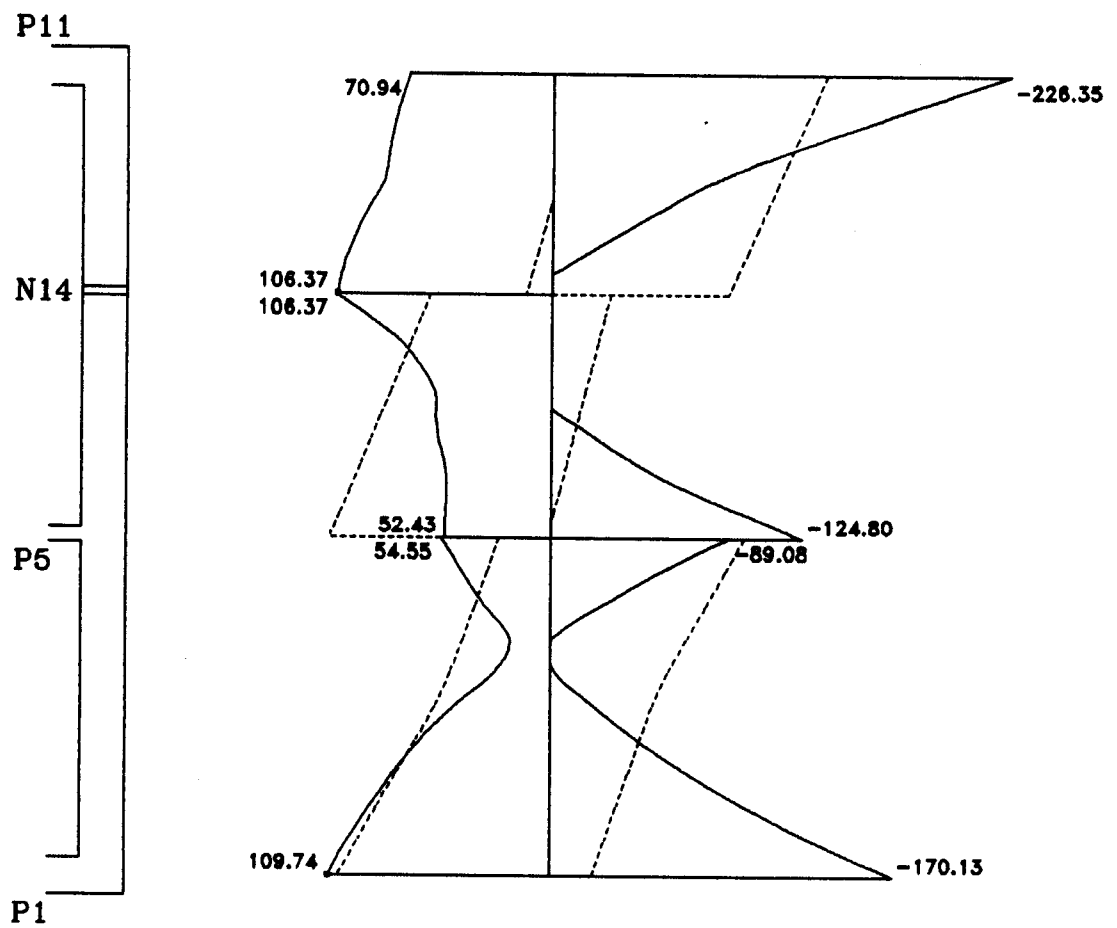


Fig. 5.25 - Viga 15 do pav 8 ao 13

Edifício : FISCH
Grupo N. 4 Pavimento : FISCH-CB
Viga 15 escala = 1/100

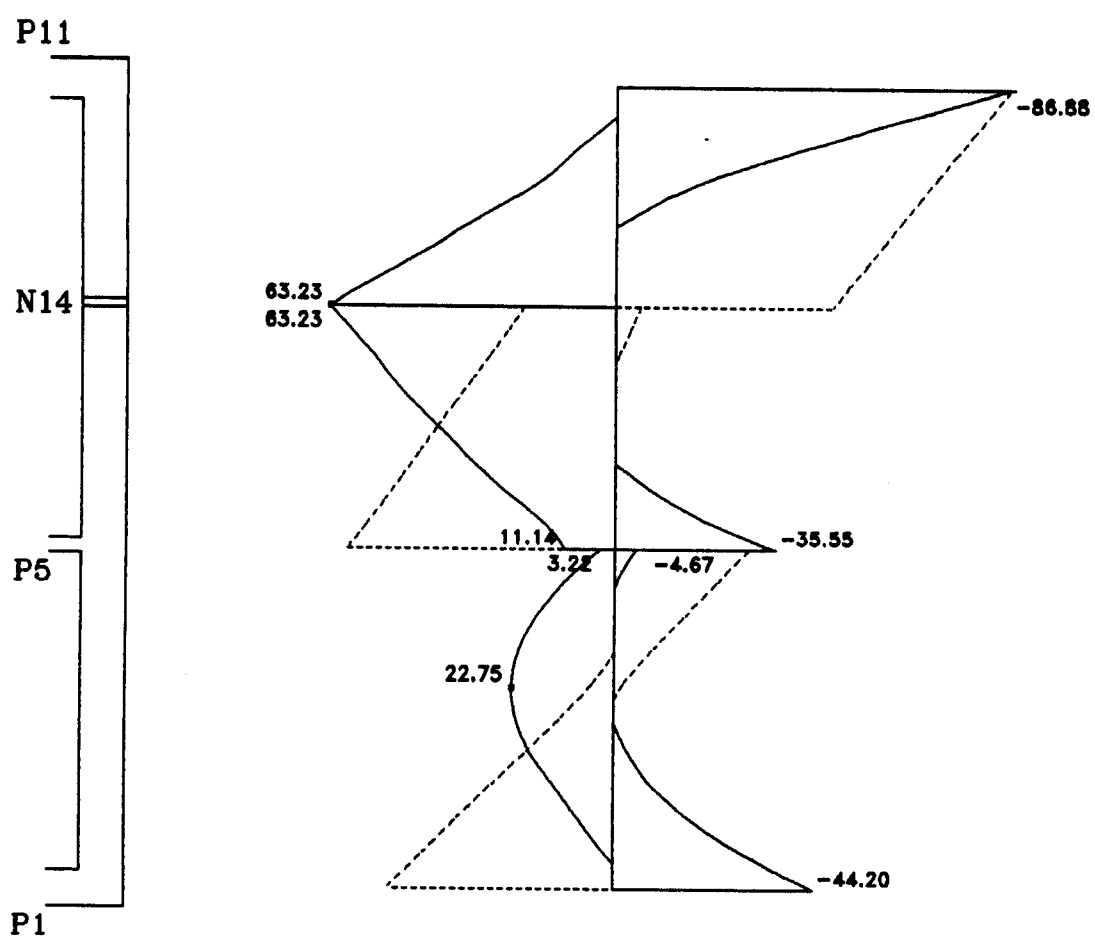


Fig. 5.26 - Viga 15 do pav 14

Edifício : FISCH
Grupo N. 1 Pavimento : FISCH-PG
Viga 22 escala = 1/100

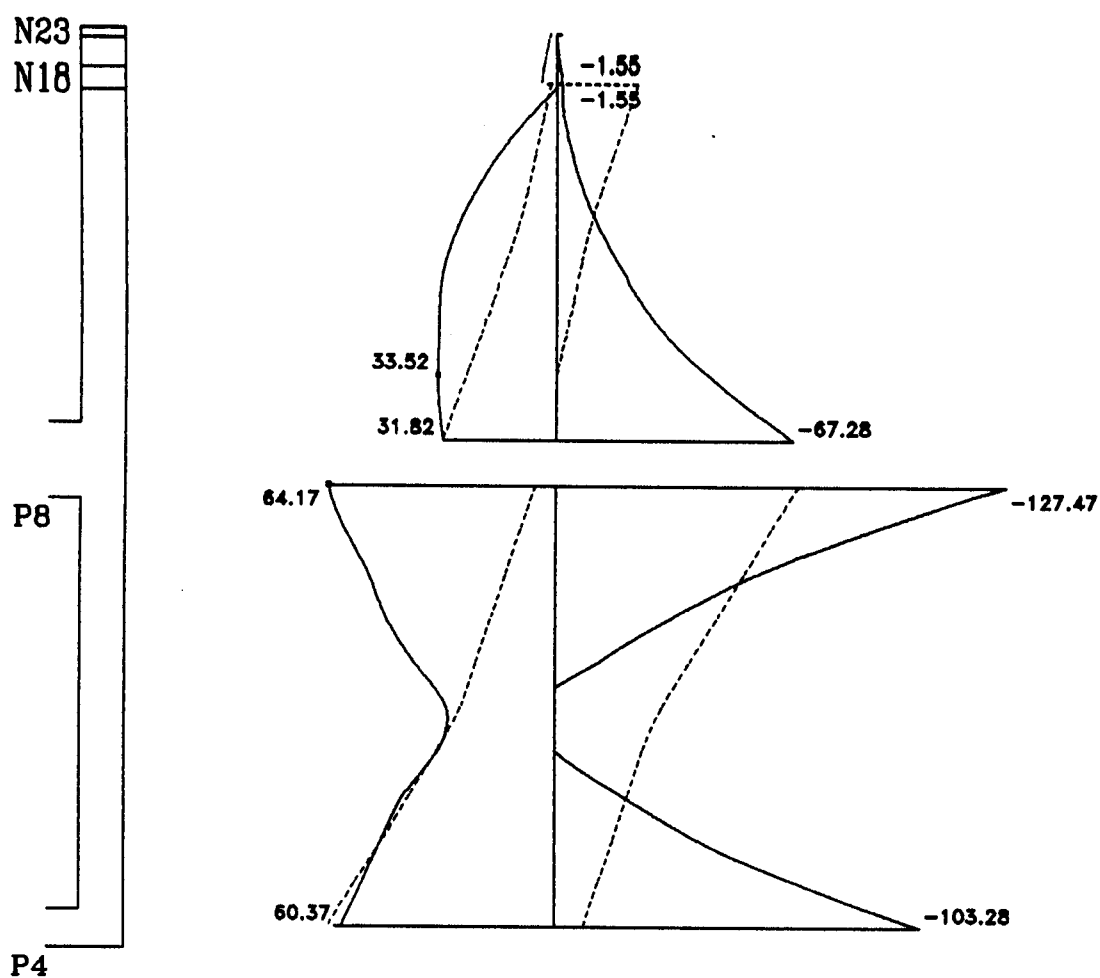


Fig. 5.27 - Viga 22 do pav 1

Edifício : FISCH
Grupo N. 2 Pavimento : FISCH-PT
Viga 24 escala = 1/100

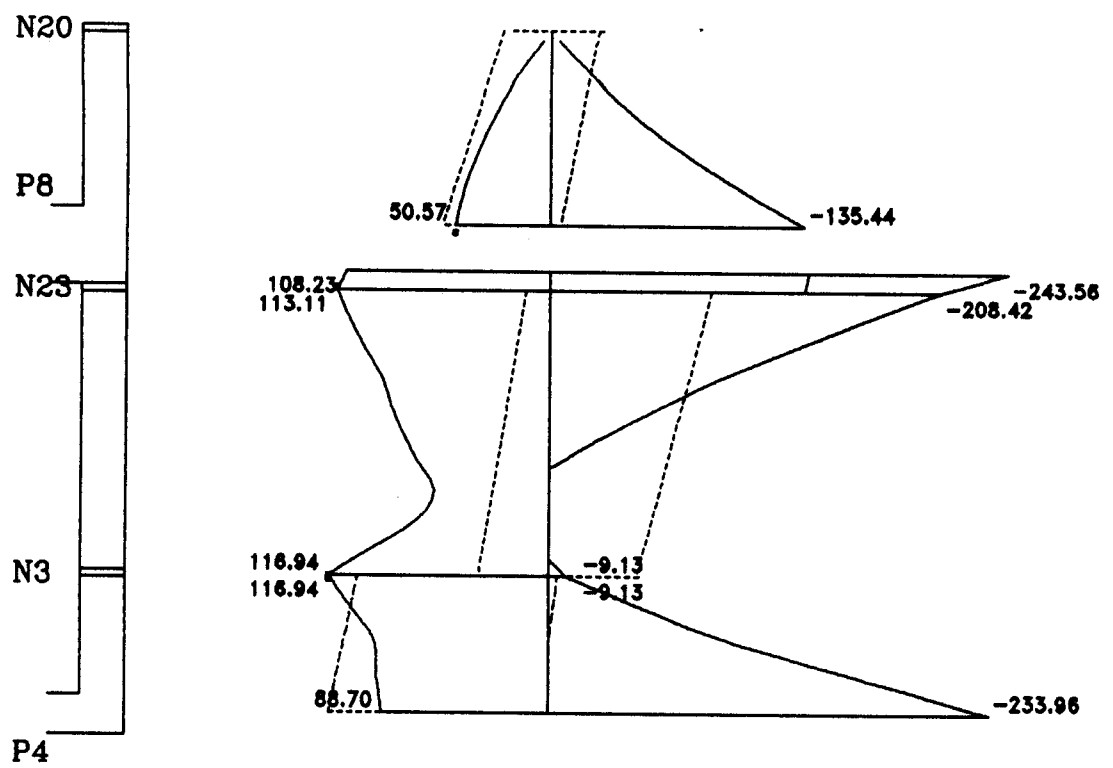


Fig. 5.28 - Viga 24 do pav 2 ao 7

Edifício : FISCH
Grupo N. 3 Pavimento : FISCH-PT
Viga 24 escala = 1/100

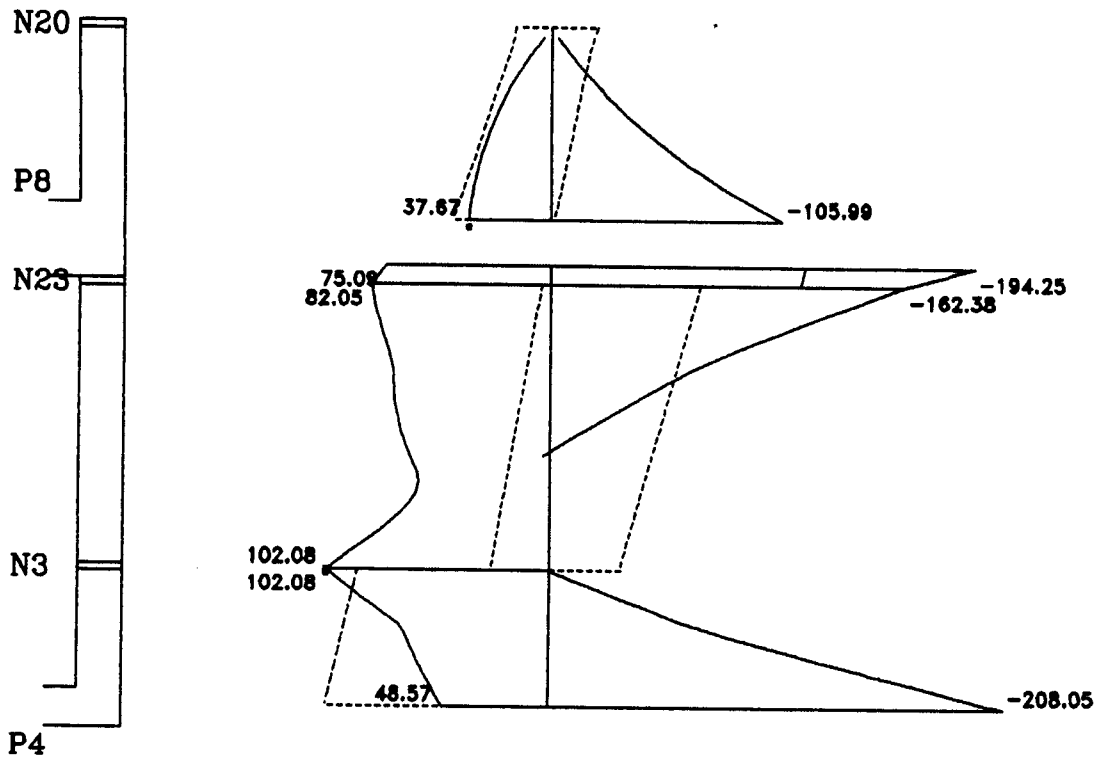


Fig. 5.29 - Viga 24 do pav 8 ao 13

Edifício : FISCH

Grupo N. 4 Pavimento : FISCH-CB

Viga 24 escala = 1/100

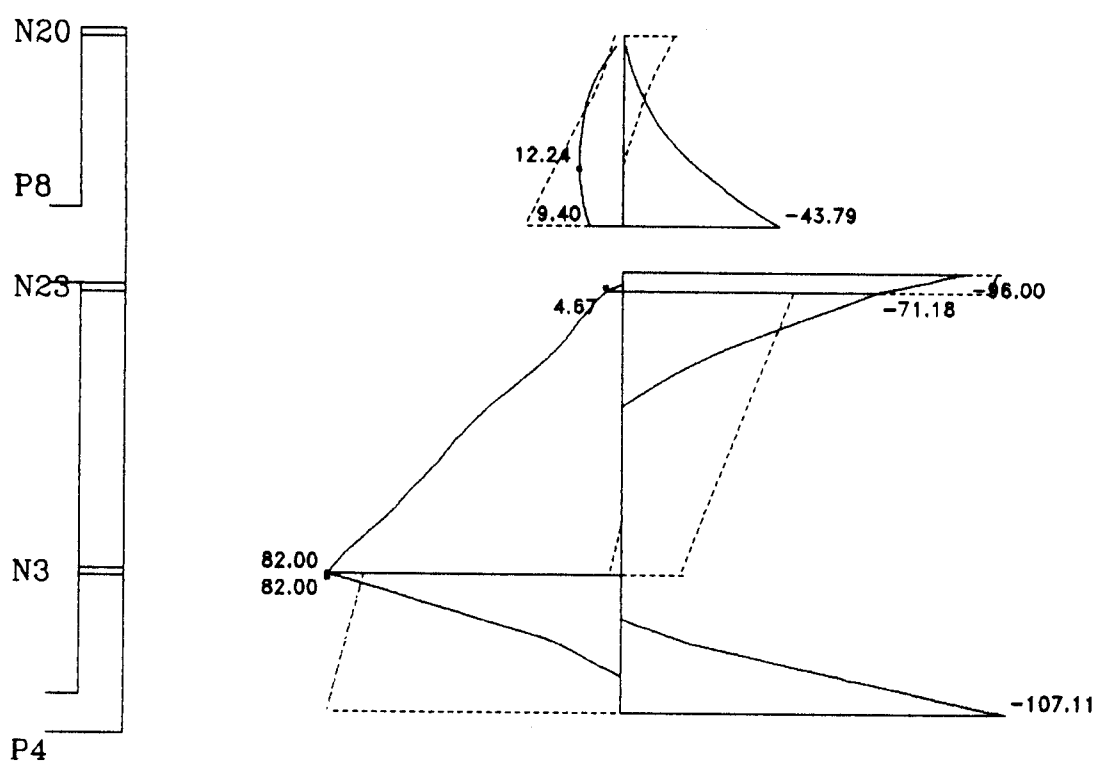


Fig. 5.30 - Viga 24 do pav 14

Analisando os gráficos da viga V1, observa-se que no grupo 1 (play-ground - Fig.5.15), a influência da ação do vento é maior que nos andares superiores. Nota-se inclusive que o momento M_e no primeiro trecho (V1-1) varia de 45,75 kN.m a -134,01 kN.m, lembrando que momento negativo no gráfico é aquele que traciona as fibras superiores da viga. Na cobertura o valor mínimo é de -57,20 kN.m, sendo que nos três grupos superiores (Fig. 5.16, 5.17 e 5.18) este esforço é sempre negativo. Na cobertura, o gráfico de momento tem praticamente a forma parabólica comum, ou seja, a influência dos esforços devido à ação do vento é bem pequena.

Essa mesma tendência é notada nas outras vigas do pavimento tipo e cobertura, visto que o play ground tem forma diferente desses dois primeiros.

O cálculo dos esforços máximos e mínimos foi feito para cada décimo de trecho de viga; o traçado porém, em cada intervalo, foi feito por interpolação cúbica conforme descrito no capítulo 4. Desse modo, pode-se observar em algumas vigas, V22 no grupo 1 (FISCH-PG) por exemplo, entre os pilares P8 e P4, que a curva de momentos máximos (positivos) deveria formar um ângulo no meio do trecho. Devido à interpolação adotada, aparece uma pequena imperfeição (trecho curvo), sem contudo prejudicar o resultado, uma vez que está a favor da segurança. Essa imperfeição seria maior se os pontos fossem simplesmente ligados com retas.

Os momentos positivos máximos em cada trecho é marcado por um pequeno quadrado, juntamente com seu valor. Nenhum valor de cortante é apresentado no gráfico; para dimensioná-lo, pode ser utilizada também a saída numérica.

Também é importante ressaltar que as duas curvas (máximo e mínimo) do mesmo esforço não são traçadas nos intervalos em que têm o mesmo sinal, uma vez que interessa apenas a de maior módulo, quando isso ocorre.

As interrupções nos gráficos, da viga V1 por exemplo, nos pilares P2 e P3, deve-se ao fato de que foi considerado um trecho rígido na direção da viga, onde a diferença de momento é absorvida pelo pilar.

Nos "nós de vigas" existe a continuidade do momento, ou seja, o momento à direita é igual ao da esquerda do nó, concordando com a hipótese de rigidez nula à torção na outra viga concorrente deste nó.

A Fig. 5.31 mostra um modelo simplificado do pavimento tipo resolvido com associação tridimensional de painéis planos. Nessa resolução são consideradas as interações de translação vertical e rotações dos pilares pertencentes a dois painéis que se interceptam, porém, não é considerada as rigidezes transversais nos pórticos. Esse modelo foi utilizado para resistir ao carregamento lateral (C1) com a mesma planta nos 14 pavimentos. Para efeito de comparação, a estrutura foi novamente resolvida também com todos os pavimentos iguais e representados pela Fig. 5.14.

Os gráficos com os valores dos esforços ao longo dos andares estão representados nas Figs. 5.32 a 5.39 onde se convencionou:

1) linha cheia para a análise tridimensional aqui desenvolvida;

2) linha tracejada para a associação tridimensional de painéis planos com o modelo simplificado (Fig. 5.31).

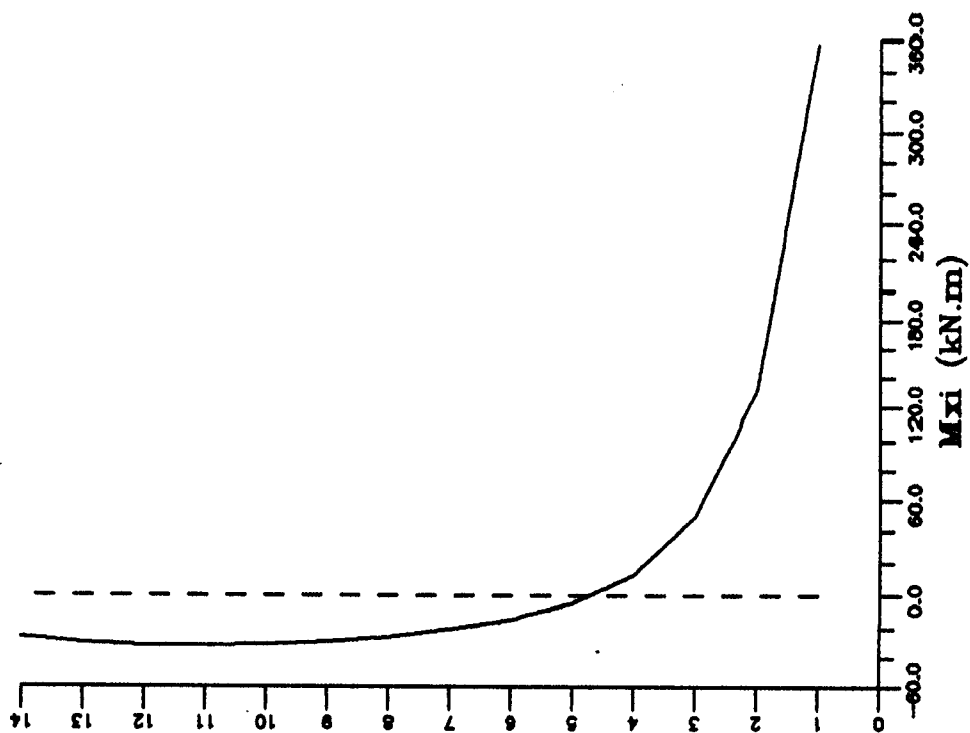


FIGURA 5.32 - M_x na extremidade inferior do P12

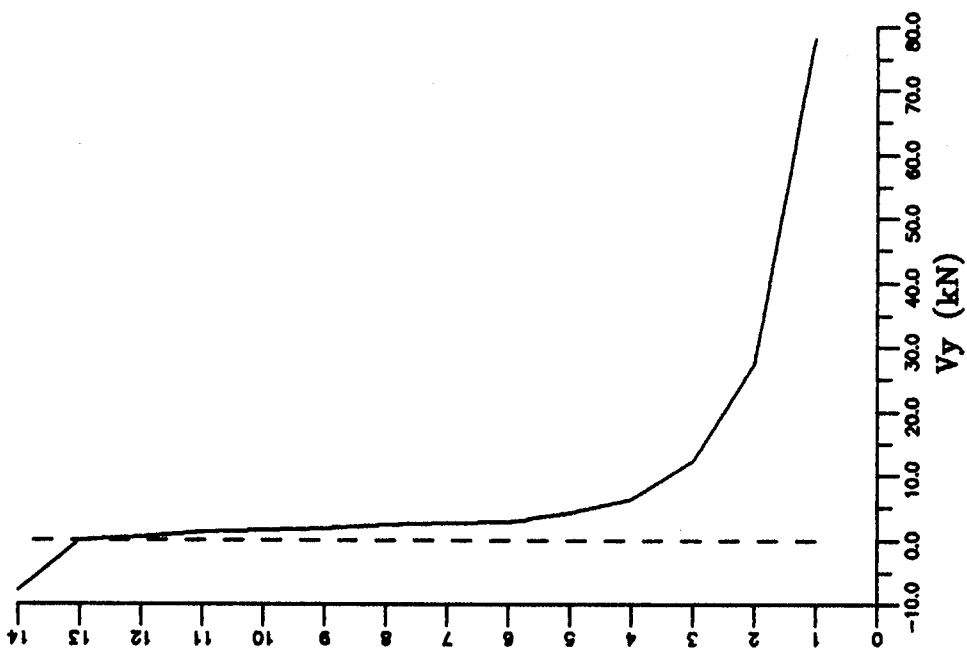


FIGURA 5.33 - Cortante no P12

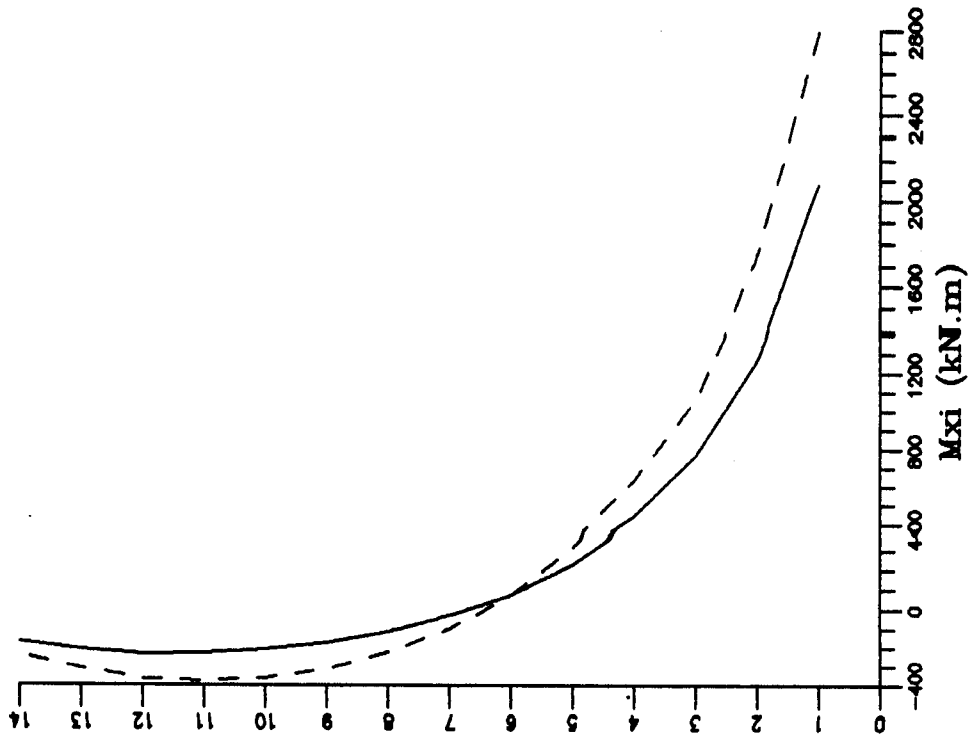


Fig. 5.34 - M_x na extremidade inferior do P14

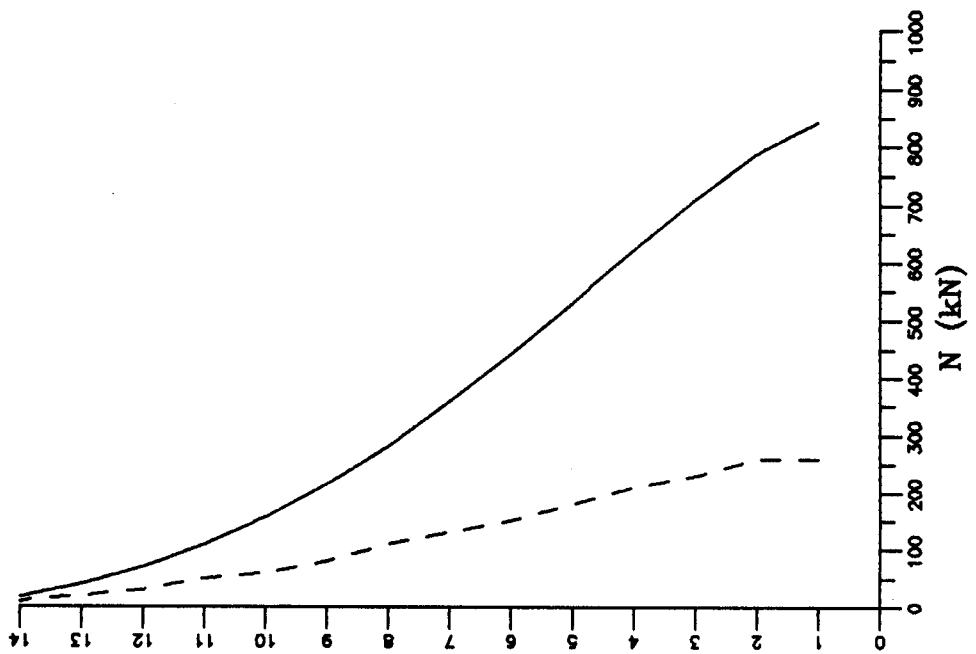


Fig. 5.35 - Força normal no P14

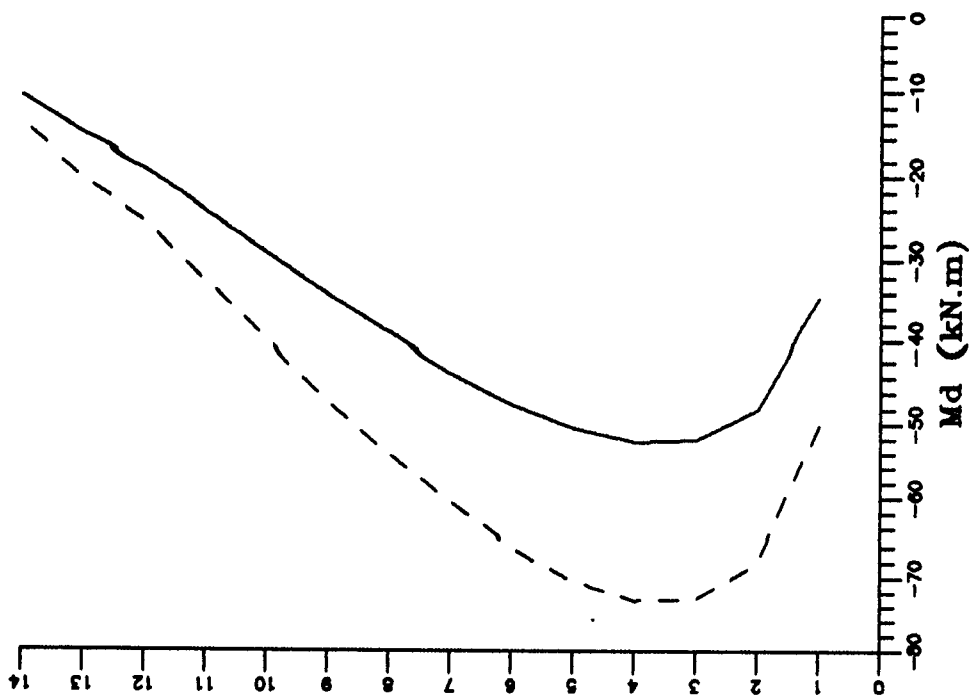


FIGURA 5.36 - M_d no trecho 3 da viga V16

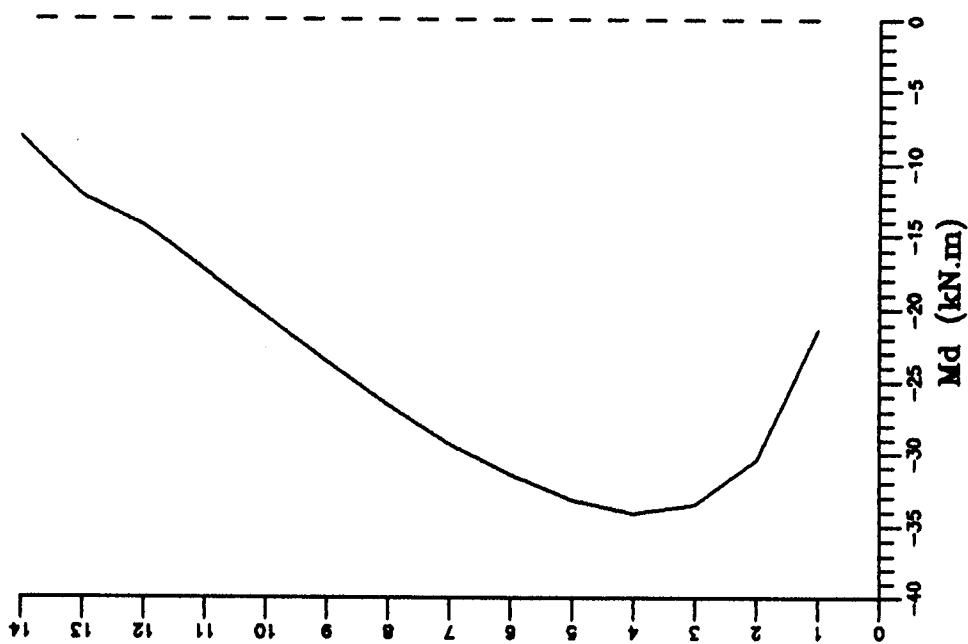


FIGURA 5.37 - M_d na viga V17

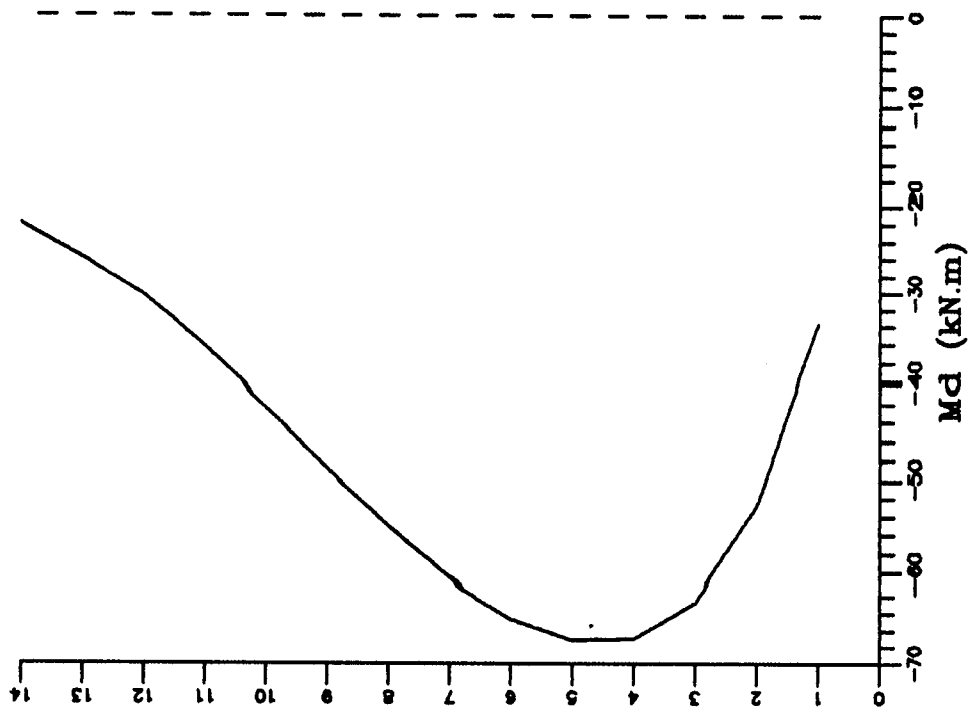


FIGURA 5.38 - M_d no trecho 1 da viga V24

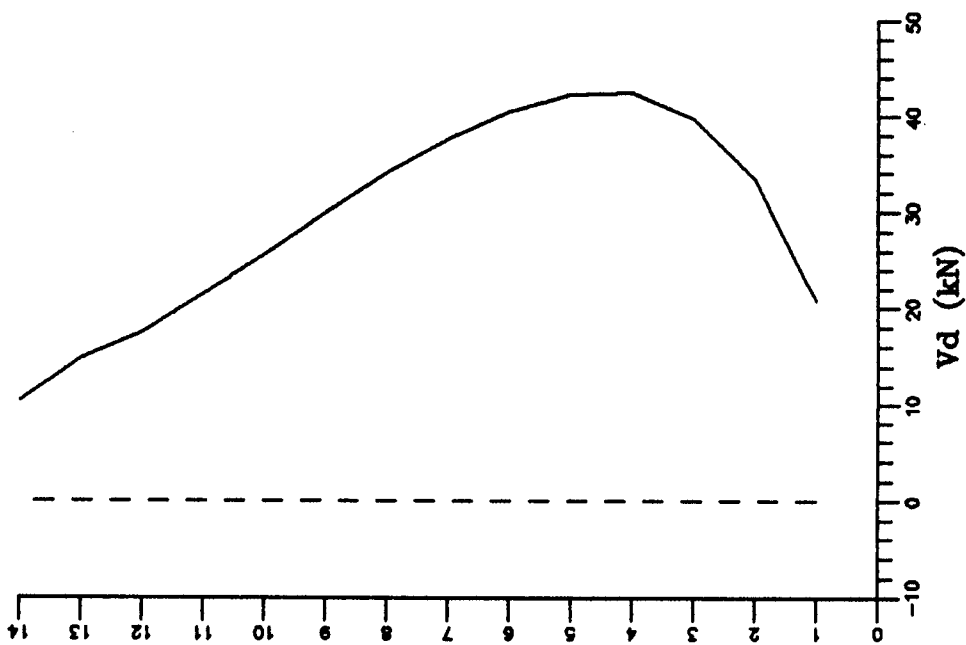


FIGURA 5.39 - Cortante no trecho 1 da viga V24

Com base nos gráficos apresentados, observa-se que alguns esforços significativos são desprezados no modelo simplificado. O pilar P12 tem a sua maior dimensão ($B_y = 100$ cm) na direção das forças do vento (direção Y), porém, como não existe pórtico algum passando pelo P12 nessa direção, sua rigidez à flexão em torno do eixo x foi desprezada, uma vez que a rigidez transversal dos pórticos planos é considerada nula como hipótese na associação de painéis. Na análise tridimensional proposta neste trabalho, essas rigidezes são computadas. Do mesmo modo, o cortante V_y nesse pilar assume o valor de 78.1 kN na base diminuindo com a altura, fato esse constatado no exemplo anterior.

Com relação ao pilar P14, os momentos não sofreram grande alteração. A força normal, por sua vez, é bastante afetada no modelo simplificado pela omissão de várias vigas como: V10, V11, V14 e V23. Apenas o cortante da V9 totaliza a contribuição vertical desse pilar.

As Figs. 5.37, 5.38 e 5.39 mostram solicitações em trechos de vigas que não aparecem no modelo simplificado, mas que assumem valores razoáveis no modelo completo. Como exemplo, o momento M_d no trecho 1 da viga V24 igual a 67,1 kN.m. Por outro lado, as vigas consideradas em ambos os modelos têm geralmente esforços menores (em módulo) no modelo completo, como é o caso do trecho 3 da viga V16 (Fig. 5.36). O que faz concluir que, ao se retirar alguns elementos no modelo estrutural, os esforços aumentam na maioria dos elementos restantes.

5.3. EXEMPLO 3

Apresenta-se um edifício residencial de 14 pavimentos iguais mostrados em planta na Fig. 5.40.

Os dados são listados a seguir. Os carregamentos de vento C1 e C2 são paralelos às vigas V17 e V1 respectivamente. Apenas uma combinação de cargas acidentais foi admitida, na qual todas as lajes estão carregadas.

A única laje com formato poligonal adotada, refere-se à escada, apoiada apenas nas vigas V21-1 e V25-1. Caso se considerasse retangular, distribuiria sua carga também para V16-2 e V13, o que não estaria correto.

A envoltória de esforços das vigas será calculada apenas em dois grupos de andares, o primeiro do 1º ao 7º pavimento e o segundo grupo do 8º ao 14º. Os coeficientes utilizados são os mesmos da tabela 3.6 do capítulo 3.

A listagem de resultados contendo os esforços constará apenas do 1º pavimento no sentido apenas de ilustração. Uma outra listagem contendo a envoltória dos esforços em 10 pontos de cada trecho de viga também será apresentada.

Serão apresentados gráficos contendo resultados para as vigas V1, V10, V16, V17, V19 e V21 dos dois grupos.

Pavimento Tipo

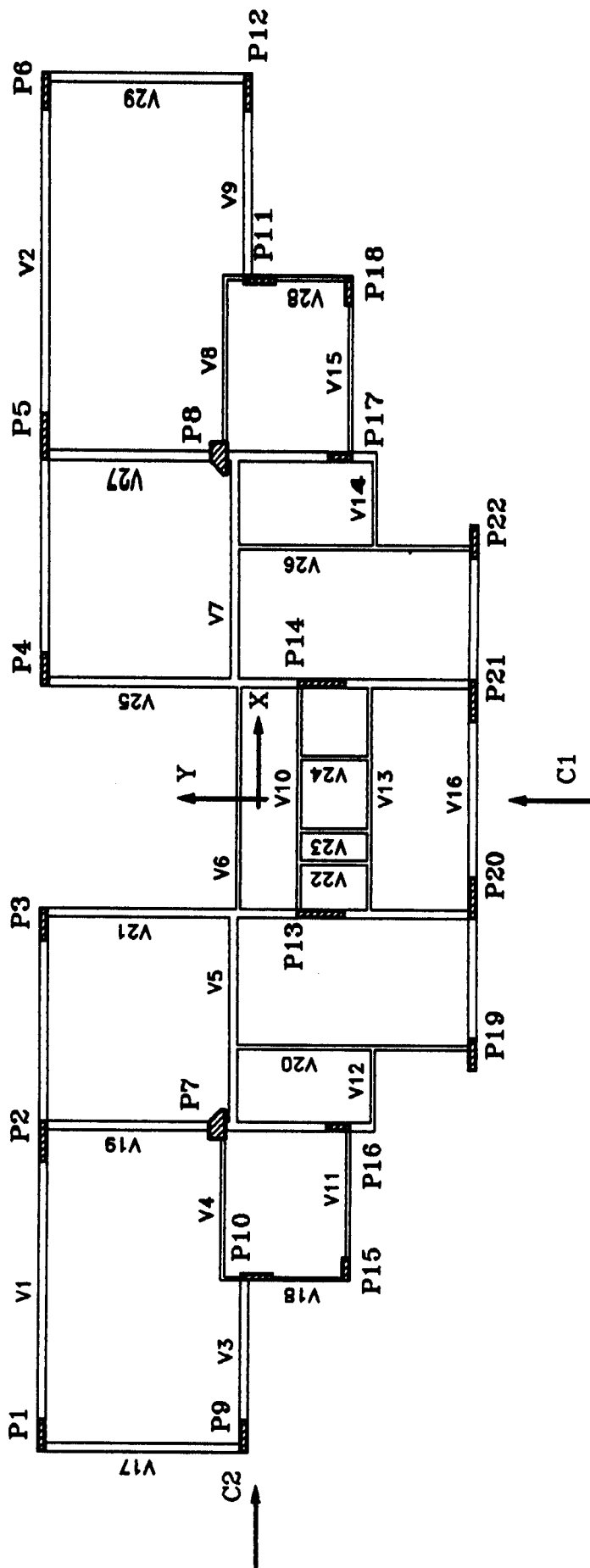


Fig. 5.40 - Edf. Conrado - Pav. Tipo

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios 7/12/90 3:25
CONRADO Pag. 1

DADOS GERAIS

Mod. Deformacao Longitudinal = 210.00000 Tf/cm²
Numero de Andares = 14
Combinacoes de cargas acidentais = 1
Numero de Acoes do Vento = 2

PAVIMENTOS

Andar	Pe-Direito (m)	Nome
14	2.80	CONRADO
13	2.80	CONRADO
12	2.80	CONRADO
11	2.80	CONRADO
10	2.80	CONRADO
9	2.80	CONRADO
8	2.80	CONRADO
7	2.80	CONRADO
6	2.80	CONRADO
5	2.80	CONRADO
4	2.80	CONRADO
3	2.80	CONRADO
2	2.80	CONRADO
1	2.80	CONRADO

FORCAS DO VENTO (Tf)

Andar	C 1	C 2
14	6.11	1.60
13	12.23	3.17
12	12.23	3.17
11	12.23	3.17
10	12.23	3.17
9	12.23	3.17
8	8.74	2.27
7	8.74	2.27
6	8.74	2.27
5	8.74	2.27
4	5.82	1.51
3	5.82	1.51
2	5.82	1.51
1	0.00	0.00
Seno	1.000	0.000
Coss	0.000	1.000
XC	0.00	0.00
YC	0.00	0.00

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
CONRADO

7/12/90 3:25
Pag. 2

PAVIMENTO - CONRADO

Numero de Pilares = 22
Numero de Vigas = 29
Secoes Poligonais de Pilares = 2
Secoes Poligonais de Vigas = 0

SECOES POLIGONAIS DE PILARES

Secao 1

X 1 = 0.0 Y 1 = 40.0 X 2 = 0.0 Y 2 = 0.0
X 3 = 70.0 Y 3 = 0.0 X 4 = 70.0 Y 4 = 10.0
X 5 = 40.0 Y 5 = 40.0

Secao 2

X 1 = 0.0 Y 1 = 40.0 X 2 = 0.0 Y 2 = 0.0
X 3 = -70.0 Y 3 = 0.0 X 4 = -70.0 Y 4 = 10.0
X 5 = -40.0 Y 5 = 40.0

CARACTERISTICAS DOS PILARES

Pilar	X (m)	Y (m)	Tipo	Dimensoes (cm)	
1	-15.60	5.30	R	Bx = 80.0	By = 20.0
2	-8.40	5.30	R	Bx = 100.0	By = 20.0
3	-3.10	5.30	R	Bx = 80.0	By = 20.0
4	3.10	5.30	R	Bx = 80.0	By = 20.0
5	8.40	5.30	R	Bx = 100.0	By = 20.0
6	15.60	5.30	R	Bx = 80.0	By = 20.0
7	-8.30	0.80	Q	Secao tipo = 1	
8	8.30	0.80	Q	Secao tipo = 2	
9	-15.60	0.30	R	Bx = 80.0	By = 20.0
10	-11.70	0.00	R	Bx = 20.0	By = 80.0
11	11.70	0.00	R	Bx = 20.0	By = 80.0
12	15.60	0.30	R	Bx = 80.0	By = 20.0
13	-2.80	-1.55	R	Bx = 20.0	By = 120.0
14	2.80	-1.55	R	Bx = 20.0	By = 120.0
15	-11.50	-2.20	R	Bx = 60.0	By = 20.0
16	-8.00	-2.00	R	Bx = 20.0	By = 60.0
17	8.00	-2.00	R	Bx = 20.0	By = 60.0
18	11.50	-2.20	R	Bx = 60.0	By = 20.0
19	-6.20	-5.30	R	Bx = 80.0	By = 20.0
20	-2.40	-5.30	R	Bx = 100.0	By = 20.0
21	2.40	-5.30	R	Bx = 100.0	By = 20.0
22	6.20	-5.30	R	Bx = 80.0	By = 20.0

COORDENADAS DOS NOS DE VIGAS

X 1 = -11.75 Y 1 = 0.85 X 2 = -8.00 Y 2 = 0.60
X 3 = -6.05 Y 3 = 0.60 X 4 = -2.80 Y 4 = 0.60
X 5 = -2.80 Y 5 = 0.50 X 6 = 2.80 Y 6 = 0.50

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios
CONRADO

7/12/90 3:25
 Pag. 3

X 7 = 2.80	Y 7 = 0.60	X 8 = 6.05	Y 8 = 0.60
X 9 = 8.00	Y 9 = 0.60	X10 = 11.75	Y10 = 0.85
X11 = -1.55	Y11 = -1.00	X12 = -0.75	Y12 = -1.00
X13 = 1.00	Y13 = -1.00	X14 = -8.00	Y14 = -2.85
X15 = -6.05	Y15 = -2.85	X16 = 6.05	Y16 = -2.85
X17 = 8.00	Y17 = -2.85	X18 = -2.80	Y18 = -2.75
X19 = -1.55	Y19 = -2.75	X20 = -0.75	Y20 = -2.75
X21 = 1.00	Y21 = -2.75	X22 = 2.80	Y22 = -2.75

CARACTERISTICAS DAS VIGAS

V/T	Exc. Iniciais			Exc. Finais			Tp	Dim. (cm)
	Nº	X	Y	Nº	X	Y		
1 - 1	P 1	20.0	0.0	P 2	-30.0	0.0	R	20.0x 50.0
1 - 2	P 2	30.0	0.0	P 3	-20.0	0.0	R	20.0x 50.0
2 - 1	P 4	20.0	0.0	P 5	-30.0	0.0	R	20.0x 50.0
2 - 2	P 5	30.0	0.0	P 6	-20.0	0.0	R	20.0x 50.0
3 - 1	P 9	20.0	0.0	P10	0.0	30.0	R	20.0x 50.0
4 - 1	N 1	0.0	0.0	P 7	20.0	5.0	R	10.0x 50.0
5 - 1	N 2	0.0	0.0	N 3	0.0	0.0	R	20.0x 50.0
5 - 2	N 3	0.0	0.0	N 4	0.0	0.0	R	20.0x 50.0
6 - 1	N 5	0.0	0.0	N 6	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
7 - 1	N 7	0.0	0.0	N 8	0.0	0.0	R	20.0x 50.0
7 - 2	N 8	0.0	0.0	N 9	0.0	0.0	R	20.0x 50.0
8 - 1	P 8	-20.0	5.0	N10	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
9 - 1	P11	0.0	30.0	P12	-20.0	0.0	R	20.0x 50.0
10 - 1	P13	0.0	55.0	N11	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
10 - 2	N11	0.0	0.0	N12	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
10 - 3	N12	0.0	0.0	N13	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
10 - 4	N13	0.0	0.0	P14	0.0	55.0	R	10.0x 50.0
11 - 1	P15	10.0	-5.0	P16	0.0	-25.0	R	10.0x 50.0
12 - 1	N14	0.0	0.0	N15	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
13 - 1	N18	0.0	0.0	N19	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
13 - 2	N19	0.0	0.0	N20	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
13 - 3	N20	0.0	0.0	N21	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
13 - 4	N21	0.0	0.0	N22	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
14 - 1	N16	0.0	0.0	N17	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
15 - 1	P17	0.0	-25.0	P18	-10.0	-5.0	R	10.0x 50.0
16 - 1	P19	20.0	0.0	P20	-30.0	0.0	R	20.0x 50.0
16 - 2	P20	30.0	0.0	P21	-30.0	0.0	R	20.0x 50.0
16 - 3	P21	30.0	0.0	P22	-20.0	0.0	R	20.0x 50.0
17 - 1	P 9	-30.0	0.0	P 1	-30.0	0.0	R	20.0x 50.0
18 - 1	P15	-25.0	0.0	P10	-5.0	-20.0	R	10.0x 50.0
18 - 2	P10	-5.0	20.0	N 1	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
19 - 1	N14	0.0	0.0	P16	0.0	-10.0	R	20.0x 50.0
19 - 2	P16	0.0	10.0	N 2	0.0	0.0	R	20.0x 50.0
19 - 3	N 2	0.0	0.0	P 7	30.0	20.0	R	20.0x 50.0
19 - 4	P 7	30.0	20.0	P 2	40.0	0.0	R	20.0x 50.0
20 - 1	P19	15.0	0.0	N15	0.0	0.0	R	10.0x 50.0
20 - 2	N15	0.0	0.0	N 3	0.0	0.0	R	10.0x 50.0

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios
CONRADO

7/12/90 3:25
 Pag. 4

21 - 1	F20	-40.0	0.0	N18	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
21 - 2	N18	0.0	0.0	F13	0.0	-40.0	R	20.0x	50.0
21 - 3	F13	0.0	40.0	N 5	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
21 - 4	N 5	0.0	0.0	N 4	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
21 - 5	N 4	0.0	0.0	F 3	30.0	0.0	R	20.0x	50.0
22 - 1	N19	0.0	0.0	N11	0.0	0.0	R	10.0x	30.0
23 - 1	N20	0.0	0.0	N12	0.0	0.0	R	10.0x	30.0
24 - 1	N21	0.0	0.0	N13	0.0	0.0	R	10.0x	30.0
25 - 1	F21	40.0	0.0	N22	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
25 - 2	N22	0.0	0.0	F14	0.0	-40.0	R	20.0x	50.0
25 - 3	F14	0.0	40.0	N 6	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
25 - 4	N 6	0.0	0.0	N 7	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
25 - 5	N 7	0.0	0.0	F 4	-30.0	0.0	R	20.0x	50.0
26 - 1	F22	-15.0	0.0	N16	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
26 - 2	N16	0.0	0.0	N 8	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
27 - 1	N17	0.0	0.0	F17	0.0	-10.0	R	20.0x	50.0
27 - 2	F17	0.0	10.0	N 9	0.0	0.0	R	20.0x	50.0
27 - 3	N 9	0.0	0.0	F 8	-30.0	20.0	R	20.0x	50.0
27 - 4	F 8	-30.0	20.0	F 5	-40.0	0.0	R	20.0x	50.0
28 - 1	F18	25.0	0.0	F11	5.0	-20.0	R	10.0x	50.0
28 - 2	F11	5.0	20.0	N10	0.0	0.0	R	10.0x	50.0
29 - 1	F12	30.0	0.0	F 6	30.0	0.0	R	20.0x	50.0

CARGAS PERMANENTES NAS VIGAS

V/T	q	F1	a1	F2	a2	F3	a3
1 - 1	0.71						
1 - 2	0.71						
2 - 1	0.71						
2 - 2	0.71						
3 - 1	0.71						
4 - 1	0.59						
5 - 1	0.71						
5 - 2	0.71						
6 - 1	0.59						
7 - 1	0.71						
7 - 2	0.71						
8 - 1	0.59						
9 - 1	0.71						
10 - 1	0.59						
10 - 2	0.59						
10 - 3	0.59						
10 - 4	0.59						
11 - 1	0.59						
12 - 1	0.59						
13 - 1	0.59						
13 - 2	0.59						
13 - 3	0.59						
13 - 4	0.59						
14 - 1	0.59						

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
CONRADO

7/12/90 3:25

Pag. 5

15 - 1	0.59
16 - 1	0.71
16 - 2	0.71
16 - 3	0.71
17 - 1	0.71
18 - 1	0.59
18 - 2	0.59
19 - 1	0.71
19 - 2	0.71
19 - 3	0.71
19 - 4	0.71
20 - 1	0.59
20 - 2	0.59
21 - 1	0.71
21 - 2	0.71
21 - 3	0.71
21 - 4	0.71
21 - 5	0.71
22 - 1	0.58
23 - 1	0.58
24 - 1	0.58
25 - 1	0.71
25 - 2	0.71
25 - 3	0.71
25 - 4	0.71
25 - 5	0.71
26 - 1	0.59
26 - 2	0.59
27 - 1	0.71
27 - 2	0.71
27 - 3	0.71
27 - 4	0.71
28 - 1	0.59
28 - 2	0.59
29 - 1	0.71

LAJES RETANGULARES

Laje Reta 1 L1 = 7.90 L2 = 5.00 G = 0.460 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 1 - 1
2	E	V19 - 4 V18 - 2
3	A	V 3 - 1 V 4 - 1
4	A	V17 - 1

Laje Reta 2 L1 = 5.20 L2 = 4.70 G = 0.620 Q = 0.200

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 1 - 2

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
 Benigno Marcelo Cardoso Rios
CONRADO

7/12/90 3:25
 Pag. 6

2 A V21 - 5
 3 E V 5 - 1 V 5 - 2
 4 E V19 - 3 V19 - 4

Laje Reta 3 L1 = 5.20 L2 = 4.70 G = 0.620 Q = 0.200

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 2 - 1
2	E	V27 - 3 V27 - 4
3	E	V 7 - 1 V 7 - 2
4	A	V25 - 5

Laje Reta 4 L1 = 7.90 L2 = 5.00 G = 0.460 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 2 - 2
2	A	V29 - 1
3	A	V 9 - 1 V 8 - 1
4	E	V27 - 4 V28 - 2

Laje Reta 5 L1 = 3.75 L2 = 3.10 G = 0.300 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 4 - 1
2	E	V19 - 2 V19 - 3
3	A	V11 - 1
4	A	V18 - 1 V18 - 2

Laje Reta 6 L1 = 1.95 L2 = 3.45 G = 0.450 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 5 - 1
2	E	V20 - 2
3	A	V12 - 1
4	E	V19 - 1 V19 - 2

Laje Reta 7 L1 = 3.25 L2 = 5.90 G = 0.300 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 5 - 2
2	E	V21 - 1 V21 - 2 V21 - 3 V21 - 4
3	A	V16 - 1
4	A	V20 - 1 V20 - 2

Laje Reta 8 L1 = 5.60 L2 = 1.50 G = 0.300 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	A	V 6 - 1
2	E	V25 - 3
3	A	V10 - 1 V10 - 2 V10 - 3 V10 - 4

ANALISE DE EDIFICIOS ALTOS
Benigno Marcelo Cardoso Rios
CONRADO

7/12/90 3:25
Pag. 7

4 E V21 - 3

Laje Reta 9 L1 = 3.25 L2 = 5.90 G = 0.300 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 7 - 1
2	A	V26 - 1 V26 - 2
3	A	V16 - 3
4	A	V25 - 1 V25 - 2 V25 - 3 V25 - 4

Laje Reta 10 L1 = 1.95 L2 = 3.45 G = 0.450 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 7 - 2
2	E	V27 - 1 V27 - 2
3	A	V14 - 1
4	E	V26 - 2

Laje Reta 11 L1 = 3.75 L2 = 3.10 G = 0.300 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V 8 - 1
2	A	V28 - 1 V28 - 2
3	A	V15 - 1
4	E	V27 - 2 V27 - 3

Laje Reta 12 L1 = 1.25 L2 = 1.75 G = 0.300 Q = 0.150

Combinacoes = 1,

Lado	Vinculo	Vigas
1	E	V10 - 1
2	A	V22 - 1
3	E	V13 - 1
4	E	V21 - 2

LAJES POLIGONAIS

Laje Poligonal 1

Combinacoes = 1,

Lado	Viga	Permanente	Acidental
1	V21 - 1	1.400	0.560
2	V25 - 1	1.400	0.560

ANALISE TRIDIMENSIONAL DE EDIFICIOS ALTOS
ESFORÇOS NAS BARRAS
BENIGNO MARCELO CARDOSO RIOS
Arquivo: CONRADO

Em: 18/ 7/99

ANDAR 1

PILARES

Pilar	Carga	N	Vx	Vy	Mxs	Mxi	Mys	Myi
1	0	-119.38	-1.06	0.57	0.91	0.67	1.98	0.99
1	1	-19.02	-0.16	0.09	0.15	0.12	0.30	0.15
1	2	-30.87	0.13	1.54	1.70	2.61	-0.24	-0.12
1	3	7.03	1.42	0.01	0.01	0.03	0.82	-4.80
2	0	-194.72	0.15	0.76	1.25	0.89	-0.27	-0.13
2	1	-36.64	-0.02	0.18	0.30	0.21	0.02	0.02
2	2	-49.59	-0.27	1.99	2.25	3.32	0.51	0.26
2	3	4.14	2.98	-0.01	-0.03	0.00	1.23	-9.57
3	0	-132.40	0.36	1.16	2.02	1.23	-0.67	-0.33
3	1	-21.79	0.05	0.20	0.35	0.22	-0.10	-0.05
3	2	-34.32	-0.12	1.71	2.02	2.76	0.22	0.11
3	3	-11.47	1.57	-0.02	-0.03	-0.01	0.54	-4.94
4	0	-132.40	-0.36	1.17	2.04	1.23	0.66	0.33
4	1	-21.93	-0.05	0.21	0.35	0.22	0.10	0.05
4	2	-34.32	0.12	1.71	2.02	2.76	-0.22	-0.11
4	3	11.47	1.57	0.02	0.03	0.01	0.54	-4.94
5	0	-194.94	-0.15	0.77	1.25	0.90	0.27	0.14
5	1	-36.78	0.01	0.18	0.30	0.21	-0.03	-0.01
5	2	-49.59	0.27	1.99	2.25	3.32	-0.51	-0.26
5	3	-4.14	2.98	0.01	0.03	-0.00	1.23	-9.57
6	0	-119.48	1.06	0.57	0.92	0.68	-1.98	-0.99
6	1	-19.07	0.16	0.09	0.15	0.12	-0.30	-0.15
6	2	-30.87	-0.13	1.54	1.70	2.61	0.24	0.12
6	3	-7.03	1.42	-0.01	-0.01	-0.03	0.82	-4.80
7	0	-233.60	0.55	0.29	-0.16	0.97	-1.52	-0.01
7	1	-49.94	0.14	0.03	-0.08	0.17	-0.37	-0.03
7	2	-32.85	-2.23	6.14	5.75	11.45	0.04	6.21
7	3	-5.26	1.14	0.12	-0.05	0.40	1.02	-4.21
8	0	-235.34	-0.54	0.30	-0.14	0.99	1.52	-0.01
8	1	-50.82	-0.14	0.04	-0.07	0.18	0.36	0.03
8	2	-32.85	2.23	6.14	5.75	11.45	-0.04	-6.21
8	3	5.26	1.14	-0.12	0.05	-0.40	1.02	-4.21
9	0	-81.98	-0.39	-0.27	-0.65	-0.11	0.74	0.36
9	1	-12.74	-0.07	-0.03	-0.09	-0.00	0.13	0.06
9	2	13.35	-0.47	1.54	1.70	2.61	0.87	0.43
9	3	11.71	1.53	0.01	0.01	0.03	0.55	-4.83
10	0	-91.69	0.15	-0.07	-2.41	2.23	-0.28	-0.14
10	1	-16.76	0.02	-0.04	-0.53	0.43	-0.04	-0.02
10	2	-36.43	-0.15	8.84	-2.20	26.96	0.29	0.14
10	3	-3.77	0.36	-0.12	-0.39	0.07	-0.45	-0.54

11	0	-91.83	-0.15	-0.06	-2.42	2.26	0.27	0.14
11	1	-16.85	-0.02	-0.04	-0.54	0.44	0.04	0.02
11	2	-36.43	0.15	8.84	-2.20	26.96	-0.29	-0.14
11	3	3.77	0.36	0.12	0.39	-0.07	-0.45	-0.54
12	0	-82.03	0.40	-0.27	-0.65	-0.11	-0.74	-0.38
12	1	-12.75	0.07	-0.03	-0.09	0.00	-0.13	-0.06
12	2	13.35	0.47	1.54	1.70	2.61	-0.87	-0.43
12	3	-11.71	1.53	-0.01	-0.01	-0.03	0.55	-4.83
13	0	-273.78	-0.60	-1.44	-10.43	6.41	1.12	0.56
13	1	-48.92	-0.05	-0.19	-1.93	1.40	0.10	0.05
13	2	-49.06	-0.00	27.12	-12.51	88.46	0.00	0.00
13	3	3.53	0.25	-0.07	-0.28	0.07	-0.16	-0.55
14	0	-262.02	0.56	-1.56	-10.68	6.31	-1.04	-0.52
14	1	-45.58	0.05	-0.25	-2.05	1.35	-0.09	-0.04
14	2	-49.06	-0.00	27.12	-12.51	88.46	0.00	0.00
14	3	-3.53	0.25	0.07	0.28	-0.07	-0.16	-0.55
15	0	-32.88	-0.26	0.10	0.07	0.20	0.50	0.24
15	1	-4.75	-0.04	0.02	0.02	0.04	0.07	0.04
15	2	62.91	-0.27	1.50	1.93	2.28	0.51	0.26
15	3	3.32	0.71	-0.03	-0.07	-0.02	0.09	-2.08
16	0	-64.81	0.06	0.29	-0.43	1.24	-0.11	-0.06
16	1	-11.63	0.00	0.02	-0.16	0.21	-0.01	-0.00
16	2	72.12	0.08	5.78	2.90	13.29	-0.15	-0.07
16	3	-4.51	0.23	0.05	0.04	0.10	-0.28	-0.37
17	0	-65.19	-0.06	0.29	-0.44	1.24	0.11	0.06
17	1	-11.79	-0.00	0.02	-0.16	0.22	0.01	0.00
17	2	72.12	-0.08	5.78	2.90	13.29	0.15	0.07
17	3	4.51	0.23	-0.05	-0.04	-0.10	-0.28	-0.37
18	0	-32.89	0.27	0.10	0.07	0.20	-0.50	-0.25
18	1	-4.73	0.04	0.02	0.02	0.04	-0.07	-0.04
18	2	62.91	0.27	1.50	1.93	2.28	-0.51	-0.26
18	3	-3.32	0.71	0.03	0.07	0.02	0.09	-2.08
19	0	-79.20	-0.36	-1.08	-2.16	-0.86	0.67	0.32
19	1	-12.28	-0.05	-0.19	-0.38	-0.15	0.09	0.04
19	2	20.12	0.14	0.81	0.34	1.92	-0.27	-0.13
19	3	18.80	1.81	-0.00	-0.01	0.00	-0.05	-5.00
20	0	-101.20	0.27	-0.14	-0.44	0.05	-0.48	-0.27
20	1	-17.15	0.11	-0.04	-0.12	-0.00	-0.20	-0.11
20	2	64.62	-0.44	2.51	3.22	3.81	0.81	0.41
20	3	-1.39	3.53	-0.03	-0.05	-0.02	-0.11	-9.77
21	0	-99.40	-0.26	-0.10	-0.37	0.08	0.50	0.22
21	1	-16.66	-0.11	-0.03	-0.09	0.01	0.22	0.10
21	2	64.62	0.44	2.51	3.22	3.81	-0.81	-0.41
21	3	1.39	3.53	0.03	0.05	0.02	-0.11	-9.77
22	0	-80.89	0.38	-1.11	-2.21	-0.89	-0.70	-0.36
22	1	-13.28	0.06	-0.20	-0.41	-0.16	-0.11	-0.06
22	2	20.12	-0.14	0.81	0.34	1.92	0.27	0.13
22	3	-18.80	1.81	0.00	0.01	-0.00	-0.05	-5.00

VIGAS

Viga	Trecho	Carga	Me	Md	Ve	Vd
1	1	0	4.90	-4.84	4.42	4.40

1	1	1	0.76	-0.71	0.67	0.66
1	1	2	0.05	0.03	0.01	-0.01
1	1	3	-1.82	-1.81	-0.54	0.54
1	2	0	2.29	-2.54	2.99	3.09
1	2	1	0.28	-0.40	0.41	0.46
1	2	2	-0.11	-0.11	-0.04	0.04
1	2	3	-2.46	-2.45	-1.02	1.02
2	1	0	2.54	-2.28	3.09	2.99
2	1	1	0.40	-0.28	0.46	0.40
2	1	2	0.11	0.11	0.04	-0.04
2	1	3	-2.45	-2.46	-1.02	1.02
2	2	0	4.84	-4.90	4.40	4.42
2	2	1	0.71	-0.76	0.66	0.67
2	2	2	-0.03	-0.05	-0.01	0.01
2	2	3	-1.81	-1.82	-0.54	0.54
3	1	0	2.12	-0.41	2.90	1.97
3	1	1	0.36	-0.03	0.46	0.28
3	1	2	1.51	1.16	0.72	-0.72
3	1	3	-2.15	-1.43	-0.97	0.97
4	1	0	0.00	-2.42	2.16	3.48
4	1	1	-0.00	-0.58	0.52	0.84
4	1	2	0.00	-0.80	-0.22	0.22
4	1	3	0.00	-0.83	-0.23	0.23
5	1	0	0.00	9.80	6.93	-3.12
5	1	1	0.00	2.10	1.47	-0.68
5	1	2	-0.00	0.40	0.21	-0.21
5	1	3	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
5	2	0	-9.80	0.00	0.34	6.37
5	2	1	-2.10	0.00	0.16	1.45
5	2	2	-0.40	-0.00	-0.12	0.12
5	2	3	0.00	0.00	0.00	-0.00
6	1	0	-0.00	0.00	2.11	2.11
6	1	1	-0.00	0.00	0.23	0.23
6	1	2	0.00	-0.00	-0.00	0.00
6	1	3	0.00	0.00	0.00	-0.00
7	1	0	0.00	10.18	6.73	0.46
7	1	1	0.00	2.29	1.63	0.22
7	1	2	0.00	0.40	0.12	-0.12
7	1	3	0.00	0.00	0.00	-0.00
7	2	0	-10.18	-0.00	-3.31	7.12
7	2	1	-2.29	-0.00	-0.78	1.57
7	2	2	-0.40	0.00	-0.21	0.21
7	2	3	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
8	1	0	2.42	0.00	3.48	2.16
8	1	1	0.57	0.00	0.84	0.52
8	1	2	0.80	0.00	0.22	-0.22
8	1	3	-0.83	0.00	-0.23	0.23
9	1	0	0.40	-2.13	1.97	2.90
9	1	1	0.03	-0.36	0.28	0.46
9	1	2	-1.16	-1.51	-0.72	0.72
9	1	3	-1.43	-2.15	-0.97	0.97
10	1	0	2.67	0.66	3.21	-2.11
10	1	1	0.23	0.06	0.33	-0.15
10	1	2	0.00	-0.00	0.00	-0.00

10	1	3	-0.76	0.42	-0.27	0.27
10	2	0	-0.66	1.65	1.54	-0.94
10	2	1	-0.06	0.13	0.12	-0.05
10	2	2	0.00	-0.00	0.00	-0.00
10	2	3	-0.42	0.20	-0.27	0.27
10	3	0	-1.65	1.25	0.43	0.89
10	3	1	-0.13	0.09	0.05	0.09
10	3	2	0.00	0.00	0.00	-0.00
10	3	3	-0.20	-0.27	-0.27	0.27
10	4	0	-1.25	-2.48	-1.40	2.75
10	4	1	-0.09	-0.21	-0.09	0.24
10	4	2	-0.00	0.00	0.00	-0.00
10	4	3	0.27	-0.76	-0.27	0.27
11	1	0	1.08	-0.25	1.57	1.08
11	1	1	0.15	-0.01	0.20	0.12
11	1	2	-0.60	-0.38	-0.29	0.29
11	1	3	-1.19	-0.89	-0.61	0.61
12	1	0	0.00	-0.00	0.68	0.68
12	1	1	0.00	-0.00	0.03	0.03
12	1	2	0.00	0.00	0.00	-0.00
12	1	3	0.00	-0.00	-0.00	0.00
13	1	0	-0.00	2.84	2.72	-1.82
13	1	1	-0.00	0.07	0.09	-0.01
13	1	2	-0.00	0.00	0.00	-0.00
13	1	3	0.00	-0.00	0.00	0.00
13	2	0	-2.84	3.65	1.26	-0.78
13	2	1	-0.07	0.05	-0.02	0.02
13	2	2	0.00	0.00	0.00	-0.00
13	2	3	0.00	-0.00	0.00	0.00
13	3	0	-3.65	3.23	0.28	0.76
13	3	1	-0.05	0.03	-0.02	0.02
13	3	2	-0.00	0.00	-0.00	0.00
13	3	3	0.00	0.00	0.00	-0.00
13	4	0	-3.23	-0.00	-1.26	2.33
13	4	1	-0.03	-0.00	-0.02	0.02
13	4	2	-0.00	0.00	0.00	-0.00
13	4	3	-0.00	0.00	-0.00	0.00
14	1	0	0.00	-0.00	0.68	0.68
14	1	1	0.00	-0.00	0.03	0.03
14	1	2	0.00	0.00	-0.00	0.00
14	1	3	0.00	-0.00	-0.00	0.00
15	1	0	0.24	-1.08	1.08	1.58
15	1	1	0.01	-0.15	0.12	0.20
15	1	2	0.38	0.60	0.29	-0.29
15	1	3	-0.89	-1.19	-0.61	0.61
16	1	0	0.70	-0.80	1.42	1.48
16	1	1	0.09	-0.04	0.16	0.12
16	1	2	-0.63	-0.70	-0.40	0.40
16	1	3	-3.14	-3.14	-1.90	1.90
16	2	0	1.04	-1.09	1.48	1.50
16	2	1	0.00	-0.02	-0.00	0.00
16	2	2	-0.03	0.03	0.00	-0.00
16	2	3	-2.79	-2.79	-1.33	1.33
16	3	0	0.92	-0.74	1.66	1.55

16	3	1	0.10	-0.11	0.21	0.22
16	3	2	0.70	0.63	0.40	-0.40
16	3	3	-3.14	-3.14	-1.90	1.90
17	1	0	1.23	-2.54	3.03	3.55
17	1	1	0.15	-0.42	0.44	0.55
17	1	2	-5.52	-5.52	-2.21	2.21
17	1	3	-0.09	-0.09	-0.03	0.03
18	1	0	-0.32	-1.16	0.02	1.49
18	1	1	-0.07	-0.20	-0.06	0.22
18	1	2	-5.73	-9.44	-7.59	7.59
18	1	3	0.11	0.19	0.15	-0.15
18	2	0	1.79	-0.00	3.36	-2.16
18	2	1	0.43	-0.00	0.81	-0.52
18	2	2	-0.14	-0.00	-0.22	0.22
18	2	3	-0.15	-0.00	-0.23	0.23
19	1	0	-0.00	-0.81	-0.68	1.47
19	1	1	0.00	-0.06	-0.03	0.12
19	1	2	-0.00	0.00	0.00	-0.00
19	1	3	0.00	-0.00	-0.00	0.00
19	2	0	0.33	-0.38	1.69	1.73
19	2	1	0.10	-0.04	0.36	0.31
19	2	2	-13.54	-8.69	-8.89	8.89
19	2	3	-0.16	-0.12	-0.11	0.11
19	3	0	0.38	-4.00	-8.66	9.45
19	3	1	0.04	-0.79	-1.79	1.97
19	3	2	8.69	-12.33	-9.10	9.10
19	3	3	0.12	-0.16	-0.11	0.11
19	4	0	3.73	-3.50	6.03	5.93
19	4	1	0.90	-0.84	1.46	1.43
19	4	2	-8.10	-7.22	-3.56	3.56
19	4	3	0.06	0.02	0.02	-0.02
20	1	0	4.91	2.52	4.07	-2.00
20	1	1	0.85	0.37	0.65	-0.34
20	1	2	-1.95	1.14	-0.33	0.33
20	1	3	0.00	-0.00	0.00	-0.00
20	2	0	-2.52	-0.00	1.32	2.78
20	2	1	-0.37	-0.00	0.31	0.52
20	2	2	-1.14	0.00	-0.33	0.33
20	2	3	0.00	0.00	0.00	-0.00
21	1	0	0.76	-0.09	3.52	3.00
21	1	1	0.22	-0.13	1.03	0.96
21	1	2	-9.66	-8.54	-7.14	7.14
21	1	3	0.11	0.10	0.08	-0.08
21	2	0	0.09	-5.07	-5.71	6.74
21	2	1	0.13	-1.07	-1.06	1.29
21	2	2	8.54	-14.25	-7.14	7.14
21	2	3	-0.10	0.17	0.08	-0.08
21	3	0	12.15	4.84	11.44	-9.15
21	3	1	2.23	0.97	2.21	-1.66
21	3	2	-8.07	4.54	-2.14	2.14
21	3	3	0.10	-0.05	0.03	-0.03
21	4	0	-4.84	5.53	7.04	-6.93
21	4	1	-0.97	1.11	1.43	-1.41
21	4	2	-4.54	4.32	-2.14	2.14

21	4	3	0.05	-0.05	0.03	-0.03
21	5	0	-5.53	-5.32	0.56	5.17
21	5	1	-1.11	-0.92	-0.05	0.82
21	5	2	-4.32	-6.32	-2.26	2.26
21	5	3	0.05	0.07	0.03	-0.03
22	1	0	0.00	-0.00	0.57	0.57
22	1	1	-0.00	-0.00	0.03	0.03
22	1	2	0.00	-0.00	-0.00	0.00
22	1	3	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
23	1	0	0.00	-0.00	0.51	0.51
23	1	1	-0.00	0.00	-0.00	0.00
23	1	2	0.00	0.00	0.00	-0.00
23	1	3	0.00	0.00	0.00	0.00
24	1	0	0.00	-0.00	0.51	0.51
24	1	1	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
24	1	2	-0.00	-0.00	0.00	0.00
24	1	3	0.00	0.00	0.00	-0.00
25	1	0	0.58	-0.25	3.18	2.92
25	1	1	0.15	-0.18	0.89	0.90
25	1	2	-9.66	-8.54	-7.14	7.14
25	1	3	-0.11	-0.10	-0.08	0.08
25	2	0	0.25	-4.77	-5.25	6.04
25	2	1	0.18	-0.96	-0.92	1.03
25	2	2	8.54	-14.25	-7.14	7.14
25	2	3	0.10	-0.17	-0.08	0.08
25	3	0	12.35	4.92	11.48	-9.46
25	3	1	2.32	1.01	2.23	-1.81
25	3	2	-8.07	4.54	-2.14	2.14
25	3	3	-0.10	0.05	-0.03	0.03
25	4	0	-4.92	5.65	7.35	-7.25
25	4	1	-1.01	1.17	1.58	-1.57
25	4	2	-4.54	4.32	-2.14	2.14
25	4	3	-0.05	0.05	-0.03	0.03
25	5	0	-5.65	-5.35	0.53	5.20
25	5	1	-1.17	-0.94	-0.06	0.83
25	5	2	-4.32	-6.32	-2.26	2.26
25	5	3	-0.05	-0.07	-0.03	0.03
26	1	0	5.04	2.57	4.18	-2.04
26	1	1	0.92	0.39	0.71	-0.36
26	1	2	-1.95	1.14	-0.33	0.33
26	1	3	-0.00	0.00	-0.00	0.00
26	2	0	-2.57	-0.00	1.36	2.85
26	2	1	-0.39	-0.00	0.33	0.56
26	2	2	-1.14	0.00	-0.33	0.33
26	2	3	-0.00	0.00	-0.00	0.00
27	1	0	-0.00	-0.81	-0.68	1.47
27	1	1	0.00	-0.06	-0.03	0.12
27	1	2	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
27	1	3	0.00	-0.00	0.00	0.00
27	2	0	0.34	-0.35	1.70	1.71
27	2	1	0.11	-0.03	0.37	0.31
27	2	2	-13.54	-8.69	-8.89	8.89
27	2	3	0.16	0.12	0.11	-0.11
27	3	0	0.35	-4.05	-8.84	9.63

27	3	1	0.03	-0.82	-1.87	2.06
27	3	2	8.69	-12.33	-9.10	9.10
27	3	3	-0.12	0.16	0.11	-0.11
27	4	0	3.72	-3.52	6.03	5.93
27	4	1	0.89	-0.84	1.46	1.43
27	4	2	-8.10	-7.22	-3.56	3.56
27	4	3	-0.06	-0.02	-0.02	0.02
28	1	0	-0.33	-1.17	0.01	1.50
28	1	1	-0.08	-0.21	-0.06	0.22
28	1	2	-5.73	-9.44	-7.59	7.59
28	1	3	-0.11	-0.19	-0.15	0.15
28	2	0	1.79	-0.00	3.37	-2.16
28	2	1	0.43	-0.00	0.81	-0.52
28	2	2	-0.14	-0.00	-0.22	0.22
28	2	3	0.15	-0.00	0.23	-0.23
29	1	0	1.22	-2.55	3.03	3.56
29	1	1	0.14	-0.43	0.44	0.55
29	1	2	-5.52	-5.52	-2.21	2.21
29	1	3	0.09	0.09	0.03	-0.03

ANALISE TRIDIMENSIONAL DE EDIFICIOS ALTOS
 ENVOLTORIA DE ESFORÇOS
 BENIGNO MARCELO CARDOSO RIOS
 Arquivo: conrado

Em: 18/ 7/90

 **
 ** GRUPO 1 **
 ** Andar 1 ao 7 **
 **

Viga 1 - 1 Mm = 4.28 X = 3.82											
M1	-11.78	-6.92	-2.95	-0.47	1.16	2.23	1.32	-0.15	-2.16	-5.80	-10.37
M2	-1.01	0.71	1.90	3.23	3.92	4.06	4.23	3.77	2.48	1.31	-0.26
V1	8.10	6.68	5.28	3.97	2.66	1.35	0.44	-0.35	-1.15	-1.94	-2.73
V2	2.96	2.17	1.37	0.58	-0.21	-1.01	-2.25	-3.55	-4.86	-6.18	-7.60
Viga 1 - 2 Mm = 3.40 X = 1.11											
M1	-7.61	-4.86	-2.70	-1.17	0.10	1.10	-0.08	-1.54	-3.59	-6.26	-9.37
M2	3.18	3.31	3.38	3.30	2.78	1.99	2.41	2.57	2.55	2.50	2.20
V1	6.18	5.28	4.38	3.48	2.58	1.82	1.27	0.73	0.18	-0.37	-0.91
V2	0.51	-0.04	-0.58	-1.13	-1.68	-2.42	-3.32	-4.22	-5.12	-6.02	-6.92
Viga 2 - 1 Mm = 3.40 X = 3.69											
M1	-9.38	-6.27	-3.60	-1.55	-0.08	1.10	0.10	-1.17	-2.70	-4.86	-7.60
M2	2.19	2.50	2.55	2.57	2.41	1.99	2.78	3.30	3.38	3.31	3.18
V1	6.92	6.02	5.12	4.22	3.32	2.42	1.69	1.13	0.59	0.04	-0.51
V2	0.92	0.37	-0.18	-0.73	-1.27	-1.82	-2.58	-3.48	-4.38	-5.28	-6.17
Viga 2 - 2 Mm = 4.28 X = 2.88											
M1	-10.37	-5.79	-2.16	-0.15	1.32	2.23	1.16	-0.47	-2.95	-6.93	-11.78
M2	-0.26	1.31	2.49	3.78	4.24	4.06	3.92	3.23	1.90	0.71	-1.01
V1	7.60	6.18	4.86	3.55	2.24	1.01	0.21	-0.58	-1.37	-2.17	-2.96
V2	2.73	1.94	1.15	0.35	-0.44	-1.35	-2.66	-3.97	-5.28	-6.69	-8.11
Viga 3 - 1 Mm = 3.25 X = 3.48											
M1	-8.62	-6.23	-4.11	-2.26	-0.93	0.16	0.74	-0.01	-0.95	-2.05	-3.37
M2	2.01	2.21	2.24	2.23	2.24	1.99	1.81	2.48	2.99	3.23	3.22
V1	6.81	6.09	5.37	4.64	3.92	3.20	2.47	1.86	1.40	0.96	0.52
V2	0.75	0.32	-0.12	-0.56	-1.00	-1.44	-1.88	-2.48	-3.20	-3.93	-4.65
Viga 4 - 1 Mm = 3.67 X = 1.65											
M1	-0.00	0.47	0.75	0.85	0.77	0.49	0.04	-0.61	-1.52	-3.13	-5.06
M2	0.00	1.44	2.52	3.25	3.62	3.63	3.37	2.83	1.97	1.09	0.29
V1	4.44	3.46	2.48	1.54	0.67	0.08	-0.43	-0.94	-1.44	-1.95	-2.46
V2	1.54	1.03	0.52	0.02	-0.52	-1.39	-2.32	-3.30	-4.28	-5.26	-6.24
Viga 5 - 1 Mm = 17.08 X = 1.95											
M1	-0.00	1.10	2.14	3.11	4.01	4.85	5.62	6.32	6.96	7.53	8.03
M2	0.00	2.27	4.42	6.44	8.34	10.11	11.76	13.28	14.67	15.94	17.08
V1	11.98	11.33	10.69	10.05	9.40	8.76	8.12	7.47	6.83	6.19	5.54

V2 5.83 5.49 5.15 4.80 4.46 4.12 3.77 3.43 3.09 2.75 2.40

Viga 5 - 2 Mm = 17.13 X = 0.16

M1 8.03 8.11 7.99 7.68 7.17 6.47 5.57 4.47 3.18 1.69 -0.00
M2 17.08 17.08 16.70 15.93 14.79 13.27 11.38 9.10 6.45 3.41 0.00
V1 0.85 -0.05 -0.66 -1.26 -1.87 -2.47 -3.07 -3.68 -4.28 -4.89 -5.49
V2 0.08 -0.69 -1.76 -2.93 -4.09 -5.26 -6.42 -7.59 -8.75 -9.92 -11.08

Viga 6 - 1 Mm = 4.59 X = 2.80

M1 -0.00 0.96 1.70 2.24 2.55 2.66 2.55 2.24 1.70 0.96 0.00
M2 0.00 1.65 2.94 3.86 4.41 4.59 4.41 3.86 2.94 1.65 0.00
V1 3.28 2.62 1.97 1.31 0.66 0.00 -0.38 -0.76 -1.14 -1.52 -1.90
V2 1.90 1.52 1.14 0.76 0.38 0.00 -0.66 -1.31 -1.97 -2.62 -3.28

Viga 7 - 1 Mm = 17.96 X = 3.04

M1 -0.00 1.78 3.36 4.72 5.87 6.81 7.54 8.06 8.37 8.48 8.37
M2 0.00 3.64 6.87 9.68 12.08 14.08 15.66 16.83 17.59 17.93 17.87
V1 11.83 10.56 9.30 8.03 6.76 5.50 4.23 2.97 1.70 0.58 -0.19
V2 5.81 5.16 4.52 3.87 3.22 2.57 1.93 1.28 0.63 -0.04 -1.12

Viga 7 - 2 Mm = 17.87 X = 0.00

M1 8.37 7.83 7.23 6.56 5.82 5.02 4.15 3.21 2.21 1.14 -0.00
M2 17.87 16.65 15.30 13.83 12.23 10.50 8.65 6.68 4.58 2.35 0.00
V1 -2.58 -2.92 -3.26 -3.60 -3.95 -4.29 -4.63 -4.98 -5.32 -5.66 -6.00
V2 -5.95 -6.59 -7.23 -7.88 -8.52 -9.16 -9.81 -10.45 -11.09 -11.74 -12.38

Viga 8 - 1 Mm = 3.69 X = 1.99

M1 -5.05 -3.12 -1.51 -0.60 0.04 0.50 0.77 0.86 0.76 0.47 -0.00
M2 0.31 1.11 2.00 2.85 3.39 3.65 3.64 3.26 2.53 1.45 0.00
V1 6.23 5.25 4.27 3.30 2.32 1.38 0.52 -0.02 -0.53 -1.03 -1.54
V2 2.45 1.94 1.44 0.93 0.42 -0.09 -0.68 -1.55 -2.49 -3.47 -4.45

Viga 9 - 1 Mm = 3.28 X = 0.21

M1 -3.35 -2.04 -0.94 -0.01 0.74 0.15 -0.93 -2.28 -4.13 -6.26 -8.65
M2 3.24 3.25 3.00 2.48 1.81 1.99 2.23 2.22 2.23 2.19 1.99
V1 4.64 3.92 3.19 2.47 1.87 1.43 0.99 0.55 0.11 -0.32 -0.76
V2 -0.53 -0.97 -1.41 -1.87 -2.49 -3.21 -3.94 -4.66 -5.38 -6.11 -6.83

Viga 10 - 1 Mm = 1.75 X = 1.25

M1 -5.45 -4.81 -4.19 -3.59 -3.01 -2.45 -1.91 -1.39 -0.94 -0.62 -0.30
M2 -0.89 -0.60 -0.33 -0.07 0.18 0.41 0.64 0.85 1.09 1.43 1.75
V1 5.26 5.08 4.90 4.72 4.55 4.39 4.22 4.06 3.90 3.73 3.57
V2 2.33 2.23 2.13 2.03 1.93 1.83 1.73 1.63 1.53 1.44 1.34

Viga 10 - 2 Mm = 2.72 X = 0.80

M1 -0.30 -0.15 -0.00 0.14 0.28 0.41 0.54 0.67 0.79 0.91 1.02
M2 1.75 1.88 2.00 2.11 2.22 2.32 2.41 2.50 2.58 2.65 2.72
V1 2.76 2.67 2.58 2.49 2.41 2.32 2.23 2.14 2.05 1.97 1.88
V2 0.83 0.77 0.72 0.66 0.61 0.55 0.50 0.45 0.39 0.34 0.28

Viga 10 - 3 Mm = 2.75 X = 0.38

M1 1.02 1.17 1.30 1.41 1.49 1.43 1.29 1.12 0.94 0.73 0.50
M2 2.72 2.72 2.75 2.73 2.69 2.66 2.62 2.55 2.44 2.36 2.25
V1 1.17 0.97 0.78 0.59 0.45 0.34 0.22 0.10 -0.02 -0.14 -0.26

V2 -0.17 -0.29 -0.41 -0.53 -0.71 -0.90 -1.10 -1.29 -1.48 -1.68 -1.87

Viga 10 - 4 Mm = 2.25 X = 0.00

M1 0.50 0.17 -0.20 -0.58 -1.01 -1.63 -2.30 -2.99 -3.72 -4.49 -5.29
M2 2.25 1.96 1.64 1.29 0.92 0.69 0.44 0.17 -0.12 -0.44 -0.78
V1 -0.71 -0.84 -0.96 -1.08 -1.20 -1.33 -1.45 -1.57 -1.69 -1.81 -1.94
V2 -2.58 -2.78 -2.98 -3.17 -3.37 -3.57 -3.77 -3.97 -4.17 -4.36 -4.56

Viga 11 - 1 Mm = 2.33 X = 3.40

M1 -5.15 -3.81 -2.60 -1.52 -0.57 0.07 0.32 -0.09 -0.58 -1.15 -1.85
M2 1.05 1.13 1.13 1.05 1.02 0.90 0.95 1.48 1.90 2.18 2.33
V1 4.15 3.76 3.37 2.98 2.59 2.20 1.81 1.42 1.03 0.77 0.53
V2 0.36 0.12 -0.12 -0.36 -0.60 -0.84 -1.07 -1.40 -1.79 -2.18 -2.57

Viga 12 - 1 Mm = 0.49 X = 0.98

M1 -0.00 0.11 0.19 0.25 0.29 0.30 0.29 0.25 0.19 0.11 -0.00
M2 0.00 0.18 0.31 0.41 0.47 0.49 0.47 0.41 0.31 0.18 0.00
V1 1.00 0.80 0.60 0.40 0.20 0.00 -0.12 -0.24 -0.37 -0.49 -0.61
V2 0.61 0.49 0.37 0.24 0.12 -0.00 -0.20 -0.40 -0.60 -0.80 -1.00

Viga 13 - 1 Mm = 4.06 X = 1.25

M1 0.00 0.30 0.59 0.87 1.14 1.40 1.65 1.89 2.12 2.34 2.55
M2 0.00 0.48 0.95 1.40 1.83 2.24 2.64 3.02 3.39 3.73 4.06
V1 3.93 3.80 3.66 3.52 3.39 3.25 3.12 2.98 2.84 2.71 2.57
V2 2.44 2.36 2.28 2.20 2.12 2.04 1.96 1.88 1.80 1.72 1.64

Viga 13 - 2 Mm = 5.19 X = 0.80

M1 2.55 2.64 2.73 2.81 2.89 2.96 3.03 3.10 3.17 3.23 3.29
M2 4.06 4.20 4.33 4.46 4.58 4.69 4.80 4.91 5.01 5.10 5.19
V1 1.76 1.69 1.63 1.56 1.49 1.43 1.36 1.30 1.23 1.16 1.10
V2 1.11 1.07 1.02 0.98 0.94 0.90 0.85 0.81 0.77 0.73 0.68

Viga 13 - 3 Mm = 5.27 X = 0.44

M1 3.29 3.32 3.34 3.34 3.33 3.30 3.25 3.19 3.11 3.02 2.91
M2 5.19 5.24 5.27 5.27 5.24 5.19 5.12 5.02 4.89 4.74 4.56
V1 0.39 0.24 0.10 -0.03 -0.12 -0.22 -0.31 -0.40 -0.50 -0.59 -0.68
V2 0.23 0.13 0.04 -0.07 -0.21 -0.36 -0.50 -0.65 -0.79 -0.94 -1.08

Viga 13 - 4 Mm = 4.56 X = 0.00

M1 2.91 2.69 2.46 2.22 1.95 1.67 1.37 1.05 0.72 0.37 -0.00
M2 4.56 4.23 3.86 3.47 3.06 2.62 2.15 1.65 1.13 0.58 0.00
V1 -1.14 -1.23 -1.33 -1.42 -1.52 -1.62 -1.71 -1.81 -1.90 -2.00 -2.09
V2 -1.79 -1.94 -2.09 -2.24 -2.39 -2.53 -2.68 -2.83 -2.98 -3.13 -3.28

Viga 14 - 1 Mm = 0.49 X = 0.97

M1 -0.00 0.11 0.19 0.25 0.29 0.30 0.29 0.25 0.19 0.11 -0.00
M2 0.00 0.18 0.31 0.41 0.47 0.49 0.47 0.41 0.31 0.18 0.00
V1 1.00 0.80 0.60 0.40 0.20 0.00 -0.12 -0.24 -0.37 -0.49 -0.61
V2 0.61 0.49 0.37 0.24 0.12 -0.00 -0.20 -0.40 -0.60 -0.80 -1.00

Viga 15 - 1 Mm = 2.37 X = 0.00

M1 -1.83 -1.14 -0.57 -0.09 0.32 0.07 -0.58 -1.54 -2.63 -3.85 -5.20
M2 2.37 2.21 1.92 1.49 0.95 0.90 1.02 1.04 1.12 1.12 1.03
V1 2.56 2.17 1.78 1.39 1.07 0.83 0.59 0.35 0.11 -0.13 -0.36

V2 -0.54 -0.79 -1.06 -1.45 -1.84 -2.23 -2.62 -3.01 -3.40 -3.79 -4.18

Viga 16 - 1 Mm = 5.02 X = 3.30

M1 -6.87 -5.09 -3.45 -2.06 -0.79 0.33 -0.77 -2.02 -3.36 -4.93 -6.66
M2 4.95 4.21 3.39 2.60 1.69 0.73 1.72 2.66 3.47 4.28 5.02
V1 5.60 5.18 4.76 4.34 3.91 3.49 3.20 2.93 2.67 2.41 2.15
V2 -2.10 -2.37 -2.63 -2.89 -3.15 -3.41 -3.80 -4.21 -4.64 -5.06 -5.48

Viga 16 - 2 Mm = 4.72 X = 0.00

M1 -6.99 -5.10 -3.39 -1.99 -0.71 0.40 -0.74 -2.05 -3.52 -5.27 -7.21
M2 4.72 4.09 3.35 2.64 1.76 0.75 1.72 2.56 3.27 3.98 4.58
V1 4.71 4.29 3.87 3.46 3.04 2.64 2.37 2.10 1.83 1.56 1.29
V2 -1.36 -1.63 -1.90 -2.17 -2.43 -2.72 -3.14 -3.56 -3.97 -4.39 -4.81

Viga 16 - 3 Mm = 4.99 X = 3.30

M1 -7.00 -5.15 -3.46 -2.05 -0.76 0.36 -0.74 -2.00 -3.36 -4.98 -6.80
M2 4.82 4.13 3.36 2.61 1.74 0.81 1.79 2.72 3.48 4.27 4.99
V1 5.86 5.39 4.92 4.44 3.97 3.50 3.19 2.90 2.61 2.33 2.04
V2 -1.94 -2.23 -2.52 -2.81 -3.10 -3.39 -3.84 -4.31 -4.78 -5.25 -5.73

Viga 17 - 1 Mm = 10.25 X = 0.00

M1 -12.10 -8.37 -5.36 -2.64 -0.22 1.88 -0.67 -3.52 -6.81 -11.10 -15.88
M2 10.25 9.53 8.66 7.30 5.46 3.59 4.71 5.80 6.48 7.42 8.06
V1 8.53 7.56 6.58 5.60 4.63 3.95 3.35 2.76 2.17 1.58 0.98
V2 -1.86 -2.45 -3.05 -3.64 -4.24 -5.16 -6.14 -7.11 -8.09 -9.07 -10.04

Viga 18 - 1 Mm = 14.56 X = 2.00

M1 -9.66 -7.11 -4.60 -2.11 -0.39 -2.94 -5.80 -8.71 -11.66 -14.65 -17.69
M2 10.72 8.07 5.39 2.65 0.60 2.79 5.20 7.58 9.93 12.26 14.56
V1 12.78 12.65 12.51 12.38 12.24 12.11 11.97 11.84 11.70 11.56 11.43
V2 -13.11 -13.33 -13.54 -13.76 -13.98 -14.20 -14.42 -14.64 -14.86 -15.08 -15.30

Viga 18 - 2 Mm = 0.00 X = 0.65

M1 -3.56 -3.15 -2.74 -2.35 -1.97 -1.61 -1.26 -0.93 -0.60 -0.30 -0.00
M2 -1.35 -1.19 -1.03 -0.87 -0.73 -0.59 -0.46 -0.33 -0.21 -0.10 0.00
V1 6.53 6.32 6.11 5.90 5.69 5.48 5.27 5.06 4.85 4.65 4.44
V2 2.63 2.52 2.41 2.30 2.19 2.08 1.97 1.87 1.76 1.65 1.54

Viga 19 - 1 Mm = 0.00 X = 0.00

M1 -0.00 -0.08 -0.17 -0.27 -0.37 -0.49 -0.62 -0.75 -0.89 -1.05 -1.21
M2 0.00 -0.05 -0.10 -0.16 -0.23 -0.30 -0.37 -0.45 -0.54 -0.63 -0.73
V1 -0.61 -0.68 -0.75 -0.82 -0.90 -0.97 -1.04 -1.11 -1.18 -1.25 -1.32
V2 -1.00 -1.12 -1.24 -1.37 -1.49 -1.61 -1.74 -1.86 -1.98 -2.10 -2.23

Viga 19 - 2 Mm = 23.18 X = 0.00

M1 -23.93 -19.53 -15.37 -11.33 -7.36 -3.48 0.29 -2.98 -7.03 -11.15 -15.50
M2 23.18 19.73 16.30 12.78 9.13 5.35 1.81 4.45 7.99 11.40 14.83
V1 18.02 17.51 16.99 16.48 15.96 15.44 15.10 14.79 14.48 14.17 13.86
V2 -13.88 -14.18 -14.49 -14.80 -15.11 -15.42 -15.90 -16.41 -16.92 -17.44 -17.96

Viga 19 - 3 Mm = 17.88 X = 0.40

M1 -15.50 -16.64 -17.80 -18.97 -20.14 -21.31 -22.49 -23.68 -24.87 -26.06 -27.26
M2 14.83 15.13 15.45 15.76 16.07 16.38 16.69 16.99 17.29 17.58 17.88
V1 8.02 7.95 7.88 7.81 7.73 7.66 7.59 7.52 7.45 7.38 7.30

V2 -28.83 -28.95 -29.07 -29.20 -29.32 -29.44 -29.56 -29.68 -29.80 -29.93 -30.05

Viga 19 - 4 Mm = 15.11 X = 0.00

M1 -19.88 -13.62 -9.05 -5.02 -1.46 1.64 -0.02 -4.14 -9.01 -15.45 -22.69
M2 15.11 14.11 13.18 11.46 8.95 5.98 5.80 7.31 8.18 9.43 10.22
V1 15.46 13.63 11.79 9.95 8.12 6.68 5.60 4.53 3.45 2.37 1.30
V2 -2.63 -3.70 -4.78 -5.86 -6.93 -8.59 -10.43 -12.26 -14.10 -15.94 -17.77

Viga 20 - 1 Mm = 5.81 X = 2.45

M1 -11.27 -9.66 -8.13 -6.67 -5.28 -3.97 -2.77 -1.98 -1.27 -0.60 0.02
M2 -0.80 -0.08 0.60 1.23 1.82 2.36 2.89 3.71 4.48 5.18 5.81
V1 7.03 6.69 6.36 6.03 5.70 5.36 5.03 4.70 4.36 4.03 3.70
V2 3.05 2.86 2.67 2.49 2.30 2.12 1.93 1.74 1.56 1.37 1.19

Viga 20 - 2 Mm = 6.37 X = 0.79

M1 0.02 0.59 1.04 1.35 1.54 1.60 1.54 1.34 1.02 0.58 -0.00
M2 5.81 6.19 6.36 6.31 6.06 5.60 4.96 4.07 2.95 1.60 0.00
V1 2.70 2.07 1.45 0.82 0.36 -0.01 -0.38 -0.74 -1.11 -1.48 -1.85
V2 0.58 0.21 -0.16 -0.53 -1.06 -1.68 -2.30 -2.93 -3.59 -4.28 -4.97

Viga 21 - 1 Mm = 17.13 X = 0.00

M1 -20.02 -15.29 -11.13 -7.28 -3.59 -0.04 -0.38 -3.79 -7.37 -11.10 -15.04
M2 17.13 14.59 12.21 9.74 7.00 4.00 4.44 7.60 10.50 13.14 15.57
V1 19.06 18.03 17.01 15.98 14.96 13.94 13.03 12.44 11.85 11.27 10.68
V2 -9.66 -10.25 -10.84 -11.42 -12.01 -12.60 -13.31 -14.33 -15.36 -16.38 -17.40

Viga 21 - 2 Mm = 21.66 X = 0.80

M1 -15.04 -16.69 -18.41 -20.14 -21.88 -23.64 -25.41 -27.19 -28.99 -30.79 -32.61
M2 15.57 16.10 16.75 17.39 18.02 18.64 19.26 19.87 20.48 21.07 21.66
V1 8.23 8.14 8.05 7.96 7.86 7.77 7.68 7.59 7.49 7.40 7.31
V2 -21.26 -21.42 -21.57 -21.73 -21.89 -22.04 -22.20 -22.36 -22.51 -22.67 -22.83

Viga 21 - 3 Mm = 17.94 X = 1.65

M1 -31.49 -28.10 -24.77 -21.49 -18.28 -15.12 -12.03 -9.76 -7.69 -5.66 -3.66
M2 6.86 7.74 8.59 9.40 10.18 10.93 11.92 13.51 15.05 16.52 17.94
V1 20.92 20.52 20.12 19.73 19.33 18.98 18.62 18.27 17.92 17.57 17.22
V2 5.45 5.24 5.04 4.83 4.63 4.42 4.21 4.01 3.80 3.60 3.39

Viga 21 - 4 Mm = 18.47 X = 0.10

M1 -3.66 -3.55 -3.45 -3.35 -3.25 -3.15 -3.05 -2.95 -2.85 -2.75 -2.65
M2 17.94 18.00 18.05 18.10 18.15 18.21 18.26 18.31 18.36 18.42 18.47
V1 14.14 14.12 14.10 14.09 14.07 14.05 14.03 14.02 14.00 13.98 13.96
V2 1.49 1.48 1.47 1.46 1.45 1.44 1.43 1.42 1.41 1.40 1.39

Viga 21 - 5 Mm = 18.47 X = 0.00

M1 -2.65 -0.64 1.12 2.65 3.77 0.53 -2.94 -6.99 -12.21 -17.83 -23.85
M2 18.47 16.02 13.18 9.96 7.27 6.78 6.70 6.32 6.63 6.70 6.52
V1 4.56 4.01 3.50 2.98 2.47 1.95 1.44 0.92 0.40 -0.11 -0.63
V2 -4.78 -5.62 -6.47 -7.31 -8.16 -9.00 -9.85 -10.70 -11.54 -12.39 -13.23

Viga 22 - 1 Mm = 0.37 X = 0.87

M1 -0.00 0.08 0.14 0.19 0.21 0.22 0.21 0.19 0.14 0.08 -0.00
M2 0.00 0.13 0.23 0.31 0.35 0.37 0.35 0.31 0.23 0.13 0.00
V1 0.83 0.67 0.50 0.33 0.17 0.00 -0.10 -0.20 -0.31 -0.41 -0.51

V2 0.51 0.41 0.31 0.20 0.10 -0.00 -0.17 -0.33 -0.50 -0.67 -0.83

Viga 23 - 1 Mm = 0.31 X = 0.88

M1 -0.00 0.07 0.13 0.17 0.19 0.20 0.19 0.17 0.13 0.07 -0.00
M2 0.00 0.11 0.20 0.26 0.30 0.31 0.30 0.26 0.20 0.11 0.00
V1 0.71 0.57 0.43 0.28 0.14 0.00 -0.09 -0.18 -0.27 -0.37 -0.46
V2 0.46 0.37 0.27 0.18 0.09 -0.00 -0.14 -0.28 -0.43 -0.57 -0.71

Viga 24 - 1 Mm = 0.31 X = 0.88

M1 -0.00 0.07 0.13 0.17 0.19 0.20 0.19 0.17 0.13 0.07 -0.00
M2 0.00 0.11 0.20 0.26 0.30 0.31 0.30 0.26 0.20 0.11 0.00
V1 0.71 0.57 0.43 0.28 0.14 0.00 -0.09 -0.18 -0.27 -0.37 -0.46
V2 0.46 0.37 0.27 0.18 0.09 -0.00 -0.14 -0.28 -0.43 -0.57 -0.71

Viga 25 - 1 Mm = 17.41 X = 0.00

M1 -19.53 -14.99 -11.03 -7.26 -3.63 -0.14 -0.52 -3.96 -7.58 -11.33 -15.32
M2 17.41 14.79 12.38 9.77 6.92 3.82 4.18 7.27 10.13 12.74 15.21
V1 18.36 17.41 16.45 15.50 14.54 13.59 12.86 12.31 11.76 11.22 10.67
V2 -10.05 -10.60 -11.15 -11.70 -12.25 -12.80 -13.58 -14.53 -15.49 -16.44 -17.40

Viga 25 - 2 Mm = 21.78 X = 0.80

M1 -15.32 -16.98 -18.64 -20.32 -22.01 -23.70 -25.41 -27.12 -28.84 -30.58 -32.32
M2 15.21 15.89 16.57 17.24 17.91 18.57 19.22 19.87 20.51 21.15 21.78
V1 8.57 8.50 8.43 8.36 8.29 8.21 8.14 8.07 8.00 7.93 7.86
V2 -20.66 -20.78 -20.90 -21.01 -21.13 -21.25 -21.37 -21.49 -21.60 -21.72 -21.84

Viga 25 - 3 Mm = 17.99 X = 1.65

M1 -31.92 -28.51 -25.15 -21.84 -18.59 -15.38 -12.22 -9.84 -7.73 -5.66 -3.61
M2 6.58 7.48 8.34 9.18 9.98 10.76 11.66 13.32 14.93 16.49 17.99
V1 21.01 20.67 20.33 19.99 19.65 19.31 18.99 18.68 18.37 18.07 17.76
V2 5.51 5.33 5.15 4.96 4.78 4.60 4.42 4.24 4.06 3.88 3.70

Viga 25 - 4 Mm = 18.58 X = 0.10

M1 -3.61 -3.51 -3.40 -3.30 -3.19 -3.09 -2.99 -2.88 -2.78 -2.68 -2.57
M2 17.99 18.05 18.11 18.17 18.23 18.29 18.35 18.40 18.46 18.52 18.58
V1 14.68 14.66 14.65 14.63 14.62 14.61 14.59 14.58 14.56 14.55 14.53
V2 1.80 1.79 1.78 1.77 1.76 1.75 1.74 1.73 1.72 1.72 1.71

Viga 25 - 5 Mm = 18.58 X = 0.00

M1 -2.57 -0.57 1.19 2.70 3.82 0.58 -2.90 -6.91 -12.14 -17.76 -23.79
M2 18.58 16.13 13.28 10.08 7.39 6.86 6.77 6.35 6.65 6.71 6.53
V1 4.54 4.00 3.48 2.97 2.45 1.94 1.42 0.91 0.39 -0.13 -0.64
V2 -4.79 -5.63 -6.48 -7.32 -8.17 -9.01 -9.86 -10.70 -11.55 -12.40 -13.24

Viga 26 - 1 Mm = 5.89 X = 2.45

M1 -11.50 -9.84 -8.26 -6.77 -5.35 -4.01 -2.77 -1.97 -1.24 -0.56 0.07
M2 -0.92 -0.17 0.53 1.18 1.78 2.34 2.89 3.73 4.53 5.25 5.89
V1 7.26 6.92 6.57 6.22 5.87 5.52 5.17 4.83 4.48 4.13 3.78
V2 3.15 2.95 2.76 2.57 2.38 2.18 1.99 1.80 1.61 1.41 1.22

Viga 26 - 2 Mm = 6.49 X = 0.80

M1 0.07 0.65 1.10 1.42 1.61 1.67 1.60 1.39 1.06 0.59 -0.00
M2 5.89 6.29 6.48 6.44 6.18 5.75 5.09 4.19 3.04 1.64 0.00
V1 2.78 2.11 1.47 0.83 0.36 -0.02 -0.40 -0.78 -1.16 -1.53 -1.91

V2 0.61 0.23 -0.15 -0.53 -1.07 -1.71 -2.35 -2.99 -3.69 -4.40 -5.12

Viga 27 - 1 Mm = 0.00 X = 0.00

M1 -0.00 -0.08 -0.17 -0.27 -0.37 -0.49 -0.62 -0.75 -0.89 -1.05 -1.21
M2 0.00 -0.05 -0.10 -0.16 -0.23 -0.30 -0.37 -0.45 -0.54 -0.63 -0.73
V1 -0.61 -0.68 -0.75 -0.82 -0.90 -0.97 -1.04 -1.11 -1.18 -1.25 -1.32
V2 -1.00 -1.12 -1.24 -1.37 -1.49 -1.61 -1.74 -1.86 -1.98 -2.10 -2.23

Viga 27 - 2 Mm = 23.17 X = 0.00

M1 -23.98 -19.54 -15.38 -11.33 -7.36 -3.47 0.30 -2.97 -7.01 -11.13 -15.46
M2 23.17 19.71 16.28 12.77 9.13 5.36 1.83 4.48 8.03 11.44 14.86
V1 18.07 17.55 17.03 16.52 16.00 15.48 15.12 14.80 14.49 14.19 13.88
V2 -13.86 -14.17 -14.47 -14.78 -15.09 -15.40 -15.87 -16.38 -16.89 -17.41 -17.93

Viga 27 - 3 Mm = 17.84 X = 0.40

M1 -15.46 -16.60 -17.78 -18.95 -20.14 -21.32 -22.51 -23.71 -24.91 -26.12 -27.33
M2 14.86 15.15 15.46 15.77 16.08 16.38 16.68 16.97 17.27 17.56 17.84
V1 7.86 7.79 7.72 7.65 7.58 7.51 7.44 7.36 7.29 7.22 7.15
V2 -29.12 -29.24 -29.36 -29.49 -29.61 -29.73 -29.85 -29.97 -30.09 -30.22 -30.34

Viga 27 - 4 Mm = 15.15 X = 0.00

M1 -19.82 -13.58 -9.03 -5.01 -1.45 1.64 -0.03 -4.15 -9.05 -15.49 -22.75
M2 15.15 14.17 13.23 11.49 8.97 5.99 5.79 7.30 8.17 9.41 10.20
V1 15.44 13.60 11.77 9.93 8.09 6.67 5.59 4.51 3.44 2.36 1.28
V2 -2.64 -3.72 -4.80 -5.87 -6.95 -8.62 -10.46 -12.30 -14.13 -15.97 -17.81

Viga 28 - 1 Mm = 14.54 X = 2.00

M1 -9.65 -7.11 -4.59 -2.11 -0.39 -2.94 -5.81 -8.72 -11.68 -14.68 -17.72
M2 10.73 8.09 5.39 2.66 0.60 2.79 5.19 7.57 9.92 12.24 14.54
V1 12.77 12.63 12.50 12.36 12.23 12.09 11.96 11.82 11.69 11.55 11.42
V2 -13.13 -13.35 -13.57 -13.79 -14.01 -14.23 -14.45 -14.67 -14.89 -15.11 -15.33

Viga 28 - 2 Mm = 0.00 X = 0.65

M1 -3.57 -3.15 -2.75 -2.36 -1.98 -1.62 -1.27 -0.93 -0.61 -0.30 -0.00
M2 -1.36 -1.19 -1.03 -0.88 -0.73 -0.59 -0.46 -0.33 -0.21 -0.10 0.00
V1 6.54 6.33 6.12 5.92 5.71 5.50 5.29 5.08 4.87 4.66 4.45
V2 2.63 2.52 2.41 2.30 2.20 2.09 1.98 1.87 1.76 1.65 1.54

Viga 29 - 1 Mm = 10.27 X = 0.00

M1 -12.07 -8.36 -5.35 -2.64 -0.22 1.88 -0.67 -3.53 -6.83 -11.12 -15.91
M2 10.27 9.55 8.68 7.32 5.46 3.59 4.70 5.79 6.48 7.41 8.05
V1 8.52 7.55 6.57 5.59 4.62 3.94 3.35 2.76 2.16 1.57 0.98
V2 -1.87 -2.46 -3.05 -3.64 -4.25 -5.17 -6.15 -7.12 -8.10 -9.08 -10.06

**
** GRUPO 2 **
** Andar 8 ao 14 **
**

Viga 1 - 1 Mm = 4.28 X = 3.65

M1 -11.46 -6.66 -2.75 -0.25 1.27 2.24 1.60 0.41 -1.32 -4.39 -8.61

M2	-2.41	-0.41	1.06	2.53	3.58	4.19	4.23	3.65	2.30	0.88	-0.79
V1	8.10	6.68	5.26	3.88	2.57	1.26	0.28	-0.51	-1.31	-2.10	-2.90
V2	3.38	2.59	1.79	1.00	0.20	-0.59	-1.72	-3.03	-4.34	-5.69	-7.12

Viga 1 - 2 Mm = 3.03 X = 1.28

M1	-5.06	-2.88	-1.42	-0.31	0.53	1.11	0.13	-1.15	-3.14	-5.66	-8.61
M2	2.14	2.53	2.93	3.00	2.64	2.08	1.92	1.60	1.29	0.82	0.09
V1	5.11	4.21	3.31	2.41	1.56	0.94	0.39	-0.16	-0.70	-1.25	-1.80
V2	0.95	0.40	-0.14	-0.69	-1.28	-2.11	-3.01	-3.91	-4.81	-5.71	-6.60

Viga 2 - 1 Mm = 3.04 X = 3.53

M1	-8.63	-5.67	-3.15	-1.15	0.13	1.11	0.54	-0.31	-1.41	-2.87	-5.05
M2	0.08	0.81	1.28	1.59	1.91	2.08	2.64	3.01	2.94	2.54	2.15
V1	6.61	5.71	4.81	3.91	3.01	2.11	1.28	0.69	0.15	-0.40	-0.95
V2	1.80	1.25	0.71	0.16	-0.39	-0.94	-1.55	-2.41	-3.31	-4.21	-5.11

Viga 2 - 2 Mm = 4.29 X = 3.05

M1	-8.60	-4.38	-1.31	0.41	1.60	2.24	1.27	-0.25	-2.76	-6.67	-11.46
M2	-0.78	0.89	2.31	3.66	4.23	4.19	3.58	2.52	1.05	-0.42	-2.42
V1	7.11	5.69	4.34	3.03	1.72	0.59	-0.21	-1.00	-1.79	-2.59	-3.38
V2	2.89	2.10	1.30	0.51	-0.28	-1.26	-2.57	-3.88	-5.26	-6.68	-8.10

Viga 3 - 1 Mm = 3.21 X = 3.47

M1	-8.58	-6.20	-4.09	-2.25	-0.91	0.16	0.78	0.10	-0.78	-1.81	-3.01
M2	1.68	1.94	2.04	1.97	1.99	1.90	1.93	2.45	2.95	3.19	3.16
V1	6.79	6.07	5.34	4.62	3.90	3.17	2.45	1.82	1.36	0.92	0.48
V2	0.93	0.49	0.05	-0.39	-0.83	-1.27	-1.71	-2.24	-2.93	-3.66	-4.38

Viga 4 - 1 Mm = 3.77 X = 1.68

M1	-0.00	0.54	0.89	1.05	1.03	0.83	0.44	-0.14	-0.90	-2.09	-3.90
M2	0.00	1.46	2.57	3.31	3.70	3.74	3.41	2.87	2.01	1.09	0.28
V1	4.50	3.52	2.54	1.56	0.69	0.08	-0.43	-0.94	-1.44	-1.95	-2.46
V2	1.72	1.22	0.71	0.20	-0.31	-1.07	-1.94	-2.92	-3.90	-4.88	-5.86

Viga 5 - 1 Mm = 17.09 X = 1.95

M1	-0.00	1.12	2.18	3.16	4.09	4.94	5.73	6.45	7.10	7.69	8.21
M2	-0.00	2.27	4.42	6.45	8.34	10.11	11.76	13.28	14.68	15.95	17.09
V1	11.98	11.34	10.70	10.05	9.41	8.76	8.12	7.48	6.83	6.19	5.55
V2	5.92	5.58	5.24	4.89	4.55	4.21	3.87	3.52	3.18	2.84	2.49

Viga 5 - 2 Mm = 17.14 X = 0.16

M1	8.21	8.27	8.14	7.81	7.28	6.56	5.64	4.52	3.21	1.70	-0.00
M2	17.09	17.09	16.70	15.94	14.80	13.28	11.38	9.10	6.45	3.41	0.00
V1	0.82	-0.11	-0.71	-1.32	-1.92	-2.53	-3.13	-3.73	-4.34	-4.94	-5.54
V2	0.13	-0.64	-1.76	-2.93	-4.09	-5.26	-6.42	-7.59	-8.75	-9.92	-11.08

Viga 6 - 1 Mm = 4.59 X = 2.80

M1	-0.00	0.96	1.70	2.24	2.55	2.66	2.55	2.24	1.70	0.96	0.00
M2	0.00	1.65	2.94	3.86	4.41	4.59	4.41	3.86	2.94	1.65	0.00
V1	3.28	2.62	1.97	1.31	0.66	0.00	-0.38	-0.76	-1.14	-1.52	-1.90
V2	1.90	1.52	1.14	0.76	0.38	0.00	-0.66	-1.31	-1.97	-2.62	-3.28

Viga 7 - 1 Mm = 17.98 X = 3.04

M1	-0.00	1.80	3.39	4.77	5.94	6.90	7.65	8.19	8.52	8.64	8.55
----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

M2	0.00	3.64	6.87	9.69	12.10	14.09	15.67	16.85	17.61	17.96	17.90
V1	11.84	10.57	9.30	8.04	6.77	5.51	4.24	2.97	1.71	0.53	-0.24
V2	5.87	5.22	4.57	3.92	3.28	2.63	1.98	1.34	0.69	0.02	-1.08

Viga 7 - 2 Mm = 17.90 X = 0.00

M1	8.55	7.99	7.37	6.69	5.93	5.11	4.22	3.27	2.24	1.16	-0.00
M2	17.90	16.67	15.32	13.85	12.24	10.52	8.66	6.69	4.58	2.35	0.00
V1	-2.67	-3.01	-3.35	-3.70	-4.04	-4.38	-4.73	-5.07	-5.41	-5.75	-6.10
V2	-5.96	-6.60	-7.25	-7.89	-8.53	-9.18	-9.82	-10.46	-11.11	-11.75	-12.40

Viga 8 - 1 Mm = 3.79 X = 1.97

M1	-3.86	-2.05	-0.88	-0.12	0.45	0.84	1.04	1.06	0.89	0.54	-0.00
M2	0.31	1.11	2.05	2.90	3.45	3.77	3.73	3.33	2.58	1.47	0.00
V1	5.85	4.87	3.89	2.91	1.93	1.06	0.30	-0.21	-0.71	-1.22	-1.73
V2	2.45	1.95	1.44	0.93	0.42	-0.08	-0.70	-1.57	-2.55	-3.53	-4.51

Viga 9 - 1 Mm = 3.24 X = 0.22

M1	-3.00	-1.80	-0.77	0.10	0.78	0.15	-0.92	-2.27	-4.12	-6.24	-8.62
M2	3.19	3.21	2.97	2.46	1.92	1.89	1.98	1.96	2.02	1.92	1.66
V1	4.36	3.64	2.92	2.23	1.70	1.26	0.82	0.38	-0.06	-0.50	-0.94
V2	-0.49	-0.93	-1.37	-1.84	-2.47	-3.19	-3.92	-4.64	-5.36	-6.09	-6.81

Viga 10 - 1 Mm = 1.64 X = 1.25

M1	-4.97	-4.35	-3.75	-3.17	-2.62	-2.08	-1.56	-1.07	-0.66	-0.35	-0.06
M2	-1.22	-0.92	-0.64	-0.36	-0.10	0.15	0.39	0.62	0.89	1.25	1.64
V1	5.14	4.96	4.78	4.60	4.42	4.24	4.06	3.89	3.72	3.56	3.40
V2	2.45	2.35	2.25	2.15	2.05	1.95	1.85	1.75	1.65	1.56	1.46

Viga 10 - 2 Mm = 3.02 X = 0.80

M1	-0.06	0.08	0.21	0.34	0.47	0.59	0.71	0.82	0.93	1.04	1.14
M2	1.64	1.81	1.98	2.13	2.28	2.42	2.56	2.69	2.81	2.92	3.02
V1	2.59	2.50	2.41	2.32	2.23	2.15	2.06	1.97	1.88	1.79	1.70
V2	0.95	0.89	0.84	0.78	0.73	0.68	0.62	0.57	0.51	0.46	0.40

Viga 10 - 3 Mm = 3.15 X = 0.47

M1	1.14	1.26	1.37	1.44	1.45	1.41	1.33	1.18	1.02	0.83	0.62
M2	3.02	3.10	3.14	3.15	3.12	3.07	2.99	2.87	2.72	2.53	2.30
V1	0.99	0.80	0.61	0.42	0.30	0.18	0.06	-0.06	-0.18	-0.30	-0.42
V2	-0.05	-0.17	-0.29	-0.41	-0.60	-0.79	-0.99	-1.18	-1.37	-1.57	-1.76

Viga 10 - 4 Mm = 2.30 X = 0.00

M1	0.62	0.31	-0.03	-0.39	-0.82	-1.42	-2.07	-2.74	-3.45	-4.20	-4.99
M2	2.30	1.90	1.47	1.02	0.65	0.39	0.11	-0.19	-0.51	-0.85	-1.22
V1	-0.87	-0.99	-1.12	-1.24	-1.36	-1.48	-1.61	-1.73	-1.85	-1.97	-2.09
V2	-2.47	-2.67	-2.87	-3.06	-3.26	-3.46	-3.66	-3.87	-4.08	-4.29	-4.50

Viga 11 - 1 Mm = 2.34 X = 3.40

M1	-5.24	-3.85	-2.60	-1.52	-0.57	0.09	0.41	0.28	0.07	-0.21	-0.58
M2	-0.54	-0.18	0.10	0.30	0.41	0.61	0.97	1.51	1.91	2.19	2.34
V1	4.30	3.88	3.46	3.05	2.63	2.21	1.82	1.43	1.04	0.72	0.46
V2	1.18	0.94	0.70	0.47	0.23	-0.01	-0.25	-0.49	-0.73	-1.05	-1.42

Viga 12 - 1 Mm = 0.49 X = 0.98

M1	-0.00	0.11	0.19	0.25	0.29	0.30	0.29	0.25	0.19	0.11	-0.00
----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

M2	0.00	0.18	0.31	0.41	0.47	0.49	0.47	0.41	0.31	0.18	0.00
V1	1.00	0.80	0.60	0.40	0.20	0.00	-0.12	-0.24	-0.37	-0.49	-0.61
V2	0.61	0.49	0.37	0.24	0.12	-0.00	-0.20	-0.40	-0.60	-0.80	-1.00

Viga 13 - 1 Mm = 4.06 X = 1.25

M1	-0.00	0.30	0.59	0.87	1.14	1.40	1.65	1.89	2.12	2.34	2.55
M2	0.00	0.48	0.95	1.40	1.83	2.24	2.64	3.02	3.39	3.73	4.06
V1	3.93	3.80	3.66	3.52	3.39	3.25	3.12	2.98	2.84	2.71	2.57
V2	2.44	2.36	2.28	2.20	2.12	2.04	1.96	1.88	1.80	1.72	1.64

Viga 13 - 2 Mm = 5.19 X = 0.80

M1	2.55	2.64	2.73	2.81	2.89	2.96	3.03	3.10	3.17	3.23	3.29
M2	4.06	4.20	4.33	4.46	4.58	4.69	4.80	4.91	5.01	5.10	5.19
V1	1.76	1.69	1.63	1.56	1.49	1.43	1.36	1.30	1.23	1.16	1.10
V2	1.11	1.07	1.02	0.98	0.94	0.90	0.85	0.81	0.77	0.73	0.68

Viga 13 - 3 Mm = 5.27 X = 0.44

M1	3.29	3.32	3.34	3.34	3.33	3.30	3.25	3.19	3.11	3.02	2.91
M2	5.19	5.24	5.27	5.27	5.24	5.19	5.12	5.02	4.89	4.74	4.56
V1	0.39	0.24	0.10	-0.03	-0.12	-0.22	-0.31	-0.40	-0.50	-0.59	-0.68
V2	0.23	0.13	0.04	-0.07	-0.21	-0.36	-0.50	-0.65	-0.79	-0.94	-1.08

Viga 13 - 4 Mm = 4.56 X = 0.00

M1	2.91	2.69	2.46	2.22	1.95	1.67	1.37	1.05	0.72	0.37	-0.00
M2	4.56	4.23	3.86	3.47	3.06	2.62	2.15	1.65	1.13	0.58	0.00
V1	-1.14	-1.23	-1.33	-1.42	-1.52	-1.62	-1.71	-1.81	-1.90	-2.00	-2.09
V2	-1.79	-1.94	-2.09	-2.24	-2.39	-2.53	-2.68	-2.83	-2.98	-3.13	-3.28

Viga 14 - 1 Mm = 0.49 X = 0.98

M1	-0.00	0.11	0.19	0.25	0.29	0.30	0.29	0.25	0.19	0.11	-0.00
M2	0.00	0.18	0.31	0.41	0.47	0.49	0.47	0.41	0.31	0.18	0.00
V1	1.00	0.80	0.60	0.40	0.20	0.00	-0.12	-0.24	-0.37	-0.49	-0.61
V2	0.61	0.49	0.37	0.24	0.12	-0.00	-0.20	-0.40	-0.60	-0.80	-1.00

Viga 15 - 1 Mm = 2.39 X = 0.00

M1	-0.56	-0.20	0.09	0.29	0.41	0.08	-0.59	-1.55	-2.66	-3.92	-5.33
M2	2.39	2.23	1.95	1.53	0.98	0.60	0.41	0.28	0.08	-0.21	-0.57
V1	1.39	1.02	0.71	0.47	0.24	-0.00	-0.24	-0.48	-0.72	-0.96	-1.20
V2	-0.48	-0.74	-1.07	-1.46	-1.85	-2.26	-2.67	-3.09	-3.51	-3.92	-4.34

Viga 16 - 1 Mm = 2.89 X = 3.30

M1	-4.86	-3.48	-2.25	-1.22	-0.36	0.34	-0.27	-0.98	-1.79	-2.74	-3.92
M2	2.36	2.14	1.84	1.52	1.15	0.84	1.36	1.87	2.27	2.58	2.89
V1	4.39	3.96	3.54	3.12	2.70	2.28	1.92	1.64	1.36	1.10	0.84
V2	-0.53	-0.79	-1.05	-1.31	-1.57	-1.83	-2.15	-2.56	-2.96	-3.38	-3.80

Viga 16 - 2 Mm = 3.43 X = 0.00

M1	-5.58	-3.97	-2.55	-1.43	-0.43	0.34	-0.49	-1.53	-2.76	-4.27	-5.95
M2	3.43	3.06	2.58	2.13	1.50	0.76	1.43	1.99	2.44	2.87	3.20
V1	4.04	3.62	3.20	2.78	2.37	1.98	1.71	1.44	1.17	0.90	0.64
V2	-0.75	-1.02	-1.29	-1.56	-1.82	-2.12	-2.54	-2.96	-3.37	-3.79	-4.21

Viga 16 - 3 Mm = 2.53 X = 3.30

M1	-4.47	-3.11	-1.94	-1.06	-0.29	0.38	-0.28	-1.08	-1.99	-3.19	-4.56
----	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------

M2	2.51	2.29	1.98	1.72	1.33	0.91	1.30	1.71	1.98	2.30	2.53
V1	4.33	3.86	3.38	2.91	2.44	1.98	1.69	1.41	1.12	0.83	0.54
V2	-0.55	-0.84	-1.12	-1.41	-1.70	-2.00	-2.48	-2.95	-3.42	-3.89	-4.37

Viga 17 - 1 Mm = 8.04 X = 0.00

M1	-8.77	-5.91	-3.52	-1.42	0.39	1.81	-0.22	-2.62	-5.59	-9.47	-13.84
M2	8.04	7.90	7.44	6.49	5.05	4.27	4.03	4.45	4.64	4.96	4.98
V1	7.19	6.21	5.23	4.25	3.31	2.72	2.12	1.53	0.94	0.35	-0.25
V2	-0.96	-1.55	-2.15	-2.74	-3.37	-4.34	-5.32	-6.30	-7.28	-8.25	-9.23

Viga 18 - 1 Mm = 6.02 X = 2.00

M1	-4.26	-3.11	-1.99	-0.89	-0.36	-1.14	-2.35	-3.63	-4.96	-6.32	-7.73
M2	4.39	3.38	2.32	1.22	0.39	1.24	2.23	3.22	4.18	5.11	6.02
V1	6.02	5.80	5.58	5.41	5.27	5.14	5.00	4.87	4.73	4.60	4.46
V2	-5.17	-5.30	-5.44	-5.62	-5.84	-6.06	-6.28	-6.50	-6.72	-6.94	-7.16

Viga 18 - 2 Mm = 0.00 X = 0.65

M1	-3.60	-3.18	-2.77	-2.38	-2.00	-1.63	-1.28	-0.94	-0.61	-0.30	-0.00
M2	-1.47	-1.29	-1.12	-0.96	-0.80	-0.65	-0.50	-0.37	-0.24	-0.12	0.00
V1	6.59	6.38	6.17	5.96	5.75	5.54	5.33	5.12	4.91	4.70	4.50
V2	2.81	2.70	2.59	2.48	2.38	2.27	2.16	2.05	1.94	1.83	1.72

Viga 19 - 1 Mm = 0.00 X = 0.00

M1	-0.00	-0.08	-0.17	-0.27	-0.37	-0.49	-0.62	-0.75	-0.89	-1.05	-1.21
M2	0.00	-0.05	-0.10	-0.16	-0.23	-0.30	-0.37	-0.45	-0.54	-0.63	-0.73
V1	-0.61	-0.68	-0.75	-0.82	-0.90	-0.97	-1.04	-1.11	-1.18	-1.25	-1.32
V2	-1.00	-1.12	-1.24	-1.37	-1.49	-1.61	-1.74	-1.86	-1.98	-2.10	-2.23

Viga 19 - 2 Mm = 10.62 X = 0.00

M1	-15.34	-12.31	-9.41	-6.64	-4.15	-1.86	0.34	-0.55	-2.46	-4.44	-6.50
M2	10.62	9.26	7.81	6.29	4.85	3.40	2.13	3.16	5.28	7.28	9.15
V1	12.38	11.86	11.34	10.83	10.31	9.79	9.28	8.76	8.24	7.83	7.48
V2	-5.31	-5.62	-5.92	-6.23	-6.54	-6.85	-7.15	-7.46	-7.77	-8.18	-8.66

Viga 19 - 3 Mm = 9.15 X = 0.00

M1	-6.50	-7.09	-7.70	-8.30	-9.00	-9.76	-10.53	-11.31	-12.09	-12.90	-13.72
M2	9.15	9.02	8.90	8.76	8.72	8.73	8.74	8.75	8.76	8.79	8.82
V1	1.49	1.42	1.34	1.27	1.20	1.13	1.06	0.99	0.92	0.84	0.77
V2	-19.40	-19.52	-19.64	-19.77	-19.89	-20.01	-20.13	-20.25	-20.37	-20.50	-20.62

Viga 19 - 4 Mm = 12.98 X = 0.00

M1	-13.95	-9.68	-6.11	-2.99	-0.34	1.85	0.52	-3.18	-7.94	-14.08	-21.01
M2	12.98	12.93	12.32	10.92	8.72	7.12	5.58	5.42	5.63	5.97	5.84
V1	12.86	11.03	9.19	7.35	5.63	4.55	3.47	2.40	1.32	0.24	-0.83
V2	-1.60	-2.68	-3.75	-4.83	-6.02	-7.85	-9.69	-11.53	-13.36	-15.20	-17.04

Viga 20 - 1 Mm = 5.31 X = 2.45

M1	-10.40	-8.83	-7.33	-5.90	-4.56	-3.28	-2.12	-1.37	-0.69	-0.06	0.53
M2	-1.65	-0.89	-0.18	0.49	1.11	1.69	2.26	3.11	3.92	4.65	5.31
V1	6.93	6.60	6.27	5.94	5.60	5.27	4.94	4.61	4.27	3.94	3.61
V2	3.19	3.00	2.82	2.63	2.45	2.26	2.07	1.89	1.70	1.52	1.33

Viga 20 - 2 Mm = 6.19 X = 0.96

M1	0.53	1.05	1.44	1.71	1.85	1.86	1.74	1.50	1.13	0.63	-0.00
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

M2	5.31	5.80	6.11	6.18	6.02	5.61	4.97	4.08	2.96	1.60	0.00
V1	2.61	1.92	1.30	0.68	0.22	-0.15	-0.52	-0.89	-1.26	-1.63	-2.00
V2	0.72	0.35	-0.02	-0.39	-0.92	-1.54	-2.22	-2.91	-3.60	-4.29	-4.98

Viga 21 - 1 Mm = 11.90 X = 2.55

M1	-15.70	-11.76	-8.10	-5.01	-2.25	0.37	0.44	-1.63	-3.86	-6.23	-8.75
M2	9.75	8.57	7.26	6.10	4.87	3.37	4.00	6.36	8.47	10.32	11.90
V1	15.94	14.92	13.90	12.87	11.85	10.82	9.80	8.87	8.19	7.60	7.01
V2	-4.32	-4.91	-5.50	-6.08	-6.67	-7.26	-7.84	-8.53	-9.46	-10.48	-11.50

Viga 21 - 2 Mm = 14.46 X = 0.80

M1	-8.75	-9.77	-10.82	-11.89	-13.05	-14.33	-15.63	-16.94	-18.26	-19.60	-20.94
M2	11.90	12.04	12.20	12.36	12.58	12.91	13.24	13.55	13.86	14.17	14.46
V1	4.57	4.48	4.38	4.29	4.20	4.11	4.01	3.92	3.83	3.74	3.64
V2	-15.36	-15.51	-15.67	-15.83	-15.99	-16.14	-16.30	-16.46	-16.61	-16.77	-16.93

Viga 21 - 3 Mm = 17.36 X = 1.65

M1	-25.65	-22.52	-19.45	-16.44	-13.48	-10.61	-8.47	-6.58	-4.71	-2.89	-1.09
M2	5.22	6.17	7.09	7.98	8.83	9.68	11.16	12.80	14.37	15.89	17.36
V1	19.43	19.03	18.64	18.24	17.84	17.44	17.05	16.69	16.34	15.98	15.63
V2	5.88	5.67	5.47	5.26	5.06	4.85	4.65	4.44	4.24	4.03	3.83

Viga 21 - 4 Mm = 17.91 X = 0.10

M1	-1.09	-1.00	-0.92	-0.83	-0.74	-0.65	-0.56	-0.47	-0.39	-0.30	-0.21
M2	17.36	17.41	17.47	17.53	17.58	17.64	17.69	17.75	17.80	17.86	17.91
V1	12.55	12.53	12.51	12.50	12.48	12.46	12.44	12.43	12.41	12.39	12.38
V2	1.93	1.92	1.91	1.90	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82

Viga 21 - 5 Mm = 17.91 X = 0.00

M1	-0.21	1.18	2.33	3.24	3.61	0.78	-2.48	-6.54	-11.62	-17.10	-22.98
M2	17.91	15.61	12.91	11.07	9.04	6.74	5.13	4.45	4.15	3.60	2.81
V1	3.22	2.71	2.19	1.67	1.16	0.64	0.13	-0.39	-0.90	-1.42	-1.94
V2	-4.47	-5.32	-6.16	-7.01	-7.85	-8.70	-9.54	-10.39	-11.24	-12.08	-12.93

Viga 22 - 1 Mm = 0.37 X = 0.87

M1	-0.00	0.08	0.14	0.19	0.21	0.22	0.21	0.19	0.14	0.08	-0.00
M2	0.00	0.13	0.23	0.31	0.35	0.37	0.35	0.31	0.23	0.13	0.00
V1	0.83	0.67	0.50	0.33	0.17	0.00	-0.10	-0.20	-0.31	-0.41	-0.51
V2	0.51	0.41	0.31	0.20	0.10	-0.00	-0.17	-0.33	-0.50	-0.67	-0.83

Viga 23 - 1 Mm = 0.31 X = 0.87

M1	-0.00	0.07	0.13	0.17	0.19	0.20	0.19	0.17	0.13	0.07	-0.00
M2	0.00	0.11	0.20	0.26	0.30	0.31	0.30	0.26	0.20	0.11	0.00
V1	0.71	0.57	0.43	0.28	0.14	0.00	-0.09	-0.18	-0.27	-0.37	-0.46
V2	0.46	0.37	0.27	0.18	0.09	-0.00	-0.14	-0.28	-0.43	-0.57	-0.71

Viga 24 - 1 Mm = 0.31 X = 0.87

M1	-0.00	0.07	0.13	0.17	0.19	0.20	0.19	0.17	0.13	0.07	-0.00
M2	0.00	0.11	0.20	0.26	0.30	0.31	0.30	0.26	0.20	0.11	0.00
V1	0.71	0.57	0.43	0.28	0.14	0.00	-0.09	-0.18	-0.27	-0.37	-0.46
V2	0.46	0.37	0.27	0.18	0.09	-0.00	-0.14	-0.28	-0.43	-0.57	-0.71

Viga 25 - 1 Mm = 11.26 X = 2.55

M1	-14.91	-11.20	-7.78	-4.91	-2.24	0.28	0.28	-1.86	-4.15	-6.57	-9.15
----	--------	--------	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------	-------

M2	10.20	8.89	7.50	6.27	4.86	3.21	3.70	5.95	7.96	9.72	11.26
V1	15.03	14.08	13.12	12.17	11.21	10.26	9.34	8.52	7.97	7.43	6.88
V2	-4.83	-5.38	-5.93	-6.48	-7.03	-7.58	-8.16	-8.86	-9.81	-10.77	-11.72

Viga 25 - 2 Mm = 14.34 X = 0.80

M1	-9.15	-10.18	-11.22	-12.33	-13.56	-14.80	-16.05	-17.31	-18.58	-19.86	-21.15
M2	11.26	11.47	11.67	11.92	12.28	12.64	12.99	13.34	13.68	14.01	14.34
V1	4.78	4.71	4.64	4.57	4.50	4.42	4.35	4.28	4.21	4.14	4.07
V2	-14.99	-15.10	-15.22	-15.34	-15.46	-15.57	-15.69	-15.81	-15.93	-16.05	-16.16

Viga 25 - 3 Mm = 17.37 X = 1.65

M1	-26.23	-23.08	-19.97	-16.92	-13.92	-10.96	-8.65	-6.72	-4.81	-2.94	-1.09
M2	4.89	5.86	6.80	7.71	8.58	9.43	10.84	12.55	14.20	15.81	17.37
V1	19.59	19.25	18.91	18.57	18.23	17.88	17.54	17.20	16.86	16.52	16.22
V2	5.95	5.77	5.59	5.41	5.23	5.05	4.87	4.69	4.51	4.32	4.14

Viga 25 - 4 Mm = 17.98 X = 0.10

M1	-1.09	-1.00	-0.91	-0.82	-0.73	-0.64	-0.54	-0.45	-0.36	-0.27	-0.18
M2	17.37	17.43	17.49	17.55	17.61	17.67	17.73	17.80	17.86	17.92	17.98
V1	13.13	13.12	13.10	13.09	13.07	13.06	13.04	13.03	13.02	13.00	12.99
V2	2.24	2.23	2.22	2.22	2.21	2.20	2.19	2.18	2.17	2.16	2.15

Viga 25 - 5 Mm = 17.98 X = 0.00

M1	-0.18	1.22	2.37	3.29	3.66	0.83	-2.42	-6.43	-11.51	-16.98	-22.85
M2	17.98	15.68	12.99	11.17	9.13	6.84	5.24	4.51	4.21	3.67	2.89
V1	3.23	2.72	2.20	1.68	1.17	0.65	0.14	-0.38	-0.89	-1.41	-1.93
V2	-4.46	-5.31	-6.15	-7.00	-7.84	-8.69	-9.53	-10.38	-11.22	-12.07	-12.91

Viga 26 - 1 Mm = 5.41 X = 2.45

M1	-10.60	-8.99	-7.45	-5.99	-4.60	-3.30	-2.11	-1.35	-0.66	-0.01	0.58
M2	-1.76	-0.97	-0.24	0.45	1.09	1.68	2.27	3.15	3.98	4.73	5.41
V1	7.17	6.82	6.47	6.12	5.77	5.43	5.08	4.73	4.38	4.03	3.68
V2	3.29	3.10	2.90	2.71	2.52	2.33	2.13	1.94	1.75	1.55	1.36

Viga 26 - 2 Mm = 6.38 X = 0.97

M1	0.58	1.11	1.51	1.78	1.92	1.92	1.80	1.55	1.16	0.65	-0.00
M2	5.41	5.98	6.30	6.37	6.20	5.78	5.12	4.21	3.05	1.65	0.00
V1	2.69	1.97	1.32	0.68	0.21	-0.17	-0.55	-0.93	-1.31	-1.68	-2.06
V2	0.75	0.37	-0.01	-0.38	-0.93	-1.57	-2.28	-3.00	-3.71	-4.42	-5.14

Viga 27 - 1 Mm = 0.00 X = 0.00

M1	-0.00	-0.08	-0.17	-0.27	-0.37	-0.49	-0.62	-0.75	-0.89	-1.05	-1.21
M2	0.00	-0.05	-0.10	-0.16	-0.23	-0.30	-0.37	-0.45	-0.54	-0.63	-0.73
V1	-0.61	-0.68	-0.75	-0.82	-0.90	-0.97	-1.04	-1.11	-1.18	-1.25	-1.32
V2	-1.00	-1.12	-1.24	-1.37	-1.49	-1.61	-1.74	-1.86	-1.98	-2.10	-2.23

Viga 27 - 2 Mm = 10.57 X = 0.00

M1	-15.43	-12.38	-9.46	-6.67	-4.16	-1.86	0.35	-0.53	-2.42	-4.39	-6.44
M2	10.57	9.21	7.78	6.27	4.84	3.40	2.17	3.20	5.35	7.36	9.25
V1	12.45	11.94	11.42	10.90	10.39	9.87	9.35	8.84	8.32	7.88	7.54
V2	-5.27	-5.57	-5.88	-6.19	-6.50	-6.80	-7.11	-7.42	-7.73	-8.11	-8.59

Viga 27 - 3 Mm = 9.25 X = 0.00

M1	-6.44	-7.04	-7.65	-8.26	-8.94	-9.72	-10.50	-11.28	-12.07	-12.89	-13.72
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------

M2	9.25	9.12	8.98	8.84	8.76	8.77	8.77	8.77	8.77	8.80	8.82
V1	1.36	1.28	1.21	1.14	1.07	1.00	0.93	0.86	0.78	0.71	0.64
V2	-19.65	-19.77	-19.89	-20.01	-20.13	-20.26	-20.38	-20.50	-20.62	-20.74	-20.86

Viga 27 - 4 Mm = 13.05 X = 0.30

M1	-13.85	-9.64	-6.07	-2.97	-0.33	1.85	0.52	-3.19	-7.99	-14.15	-21.10
M2	13.03	13.01	12.38	10.96	8.75	7.15	5.58	5.39	5.61	5.94	5.80
V1	12.82	10.98	9.15	7.31	5.60	4.53	3.45	2.37	1.30	0.22	-0.86
V2	-1.62	-2.70	-3.78	-4.85	-6.06	-7.90	-9.73	-11.57	-13.41	-15.24	-17.08

Viga 28 - 1 Mm = 6.00 X = 2.00

M1	-4.25	-3.10	-1.98	-0.89	-0.36	-1.15	-2.36	-3.65	-4.97	-6.34	-7.76
M2	4.41	3.39	2.33	1.22	0.38	1.23	2.23	3.21	4.17	5.10	6.00
V1	6.00	5.78	5.56	5.40	5.26	5.13	4.99	4.86	4.72	4.58	4.45
V2	-5.18	-5.32	-5.45	-5.65	-5.87	-6.08	-6.30	-6.52	-6.74	-6.96	-7.18

Viga 28 - 2 Mm = 0.00 X = 0.65

M1	-3.61	-3.19	-2.78	-2.39	-2.00	-1.64	-1.28	-0.94	-0.61	-0.30	-0.00
M2	-1.48	-1.30	-1.13	-0.96	-0.80	-0.65	-0.51	-0.37	-0.24	-0.12	0.00
V1	6.61	6.40	6.19	5.98	5.77	5.56	5.35	5.14	4.93	4.72	4.51
V2	2.82	2.71	2.60	2.49	2.38	2.27	2.16	2.06	1.95	1.84	1.73

Viga 29 - 1 Mm = 8.06 X = 0.00

M1	-8.75	-5.90	-3.51	-1.41	0.39	1.81	-0.22	-2.63	-5.61	-9.49	-13.87
M2	8.06	7.92	7.46	6.50	5.06	4.27	4.02	4.43	4.63	4.95	4.97
V1	7.17	6.20	5.22	4.24	3.30	2.71	2.12	1.53	0.93	0.34	-0.25
V2	-0.97	-1.56	-2.15	-2.74	-3.38	-4.35	-5.33	-6.31	-7.29	-8.26	-9.24

Edifício : CONRADO
Grupo N. 1 Pavimento : CONRADO
Viga 1 escala = 1/100

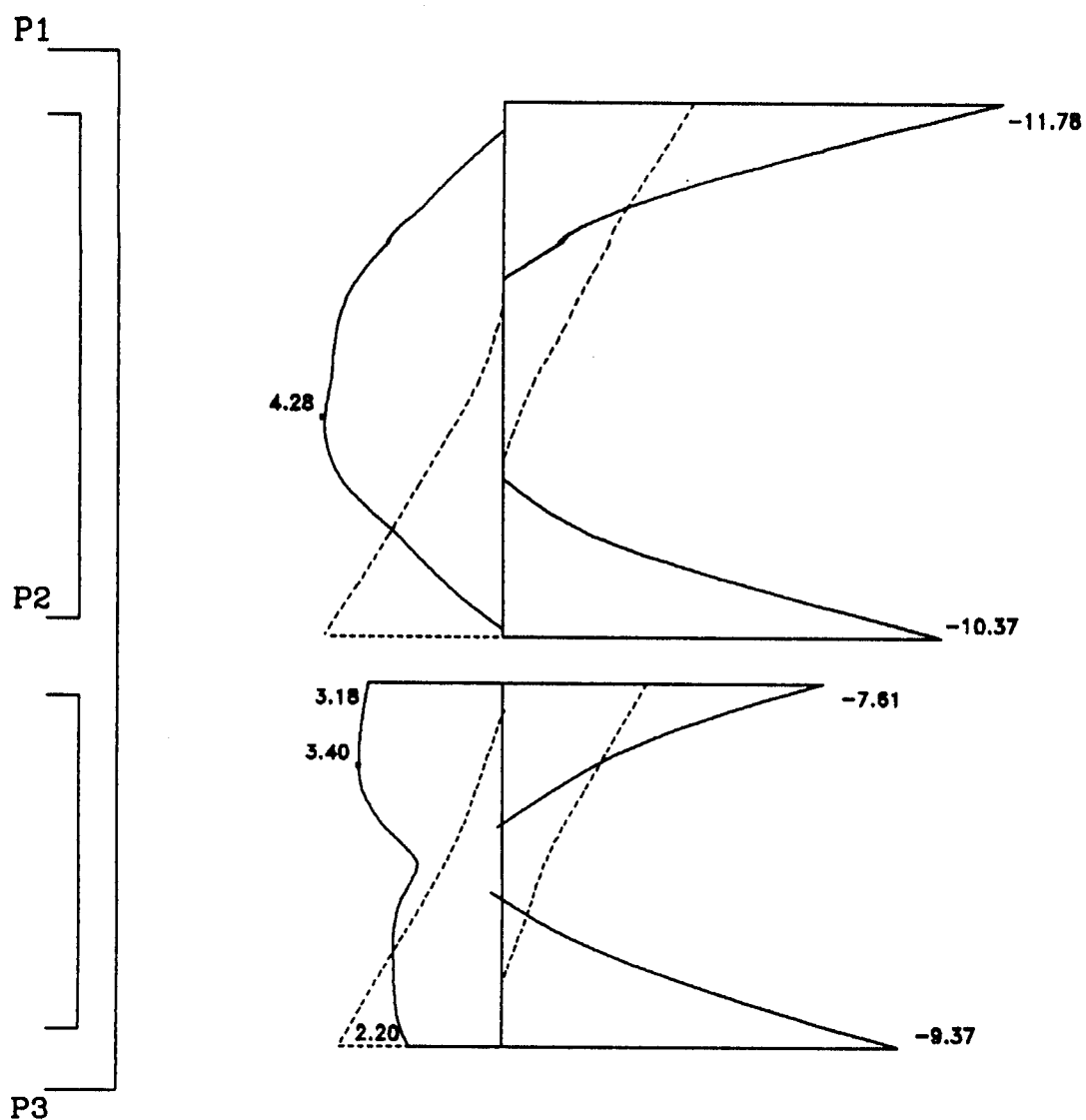


Fig. 5.41 - V1 V2 do pav 1 ao 7

Edifício : CONRADO
Grupo N. 2 Pavimento : CONRADO
Viga 1 escala = 1/100

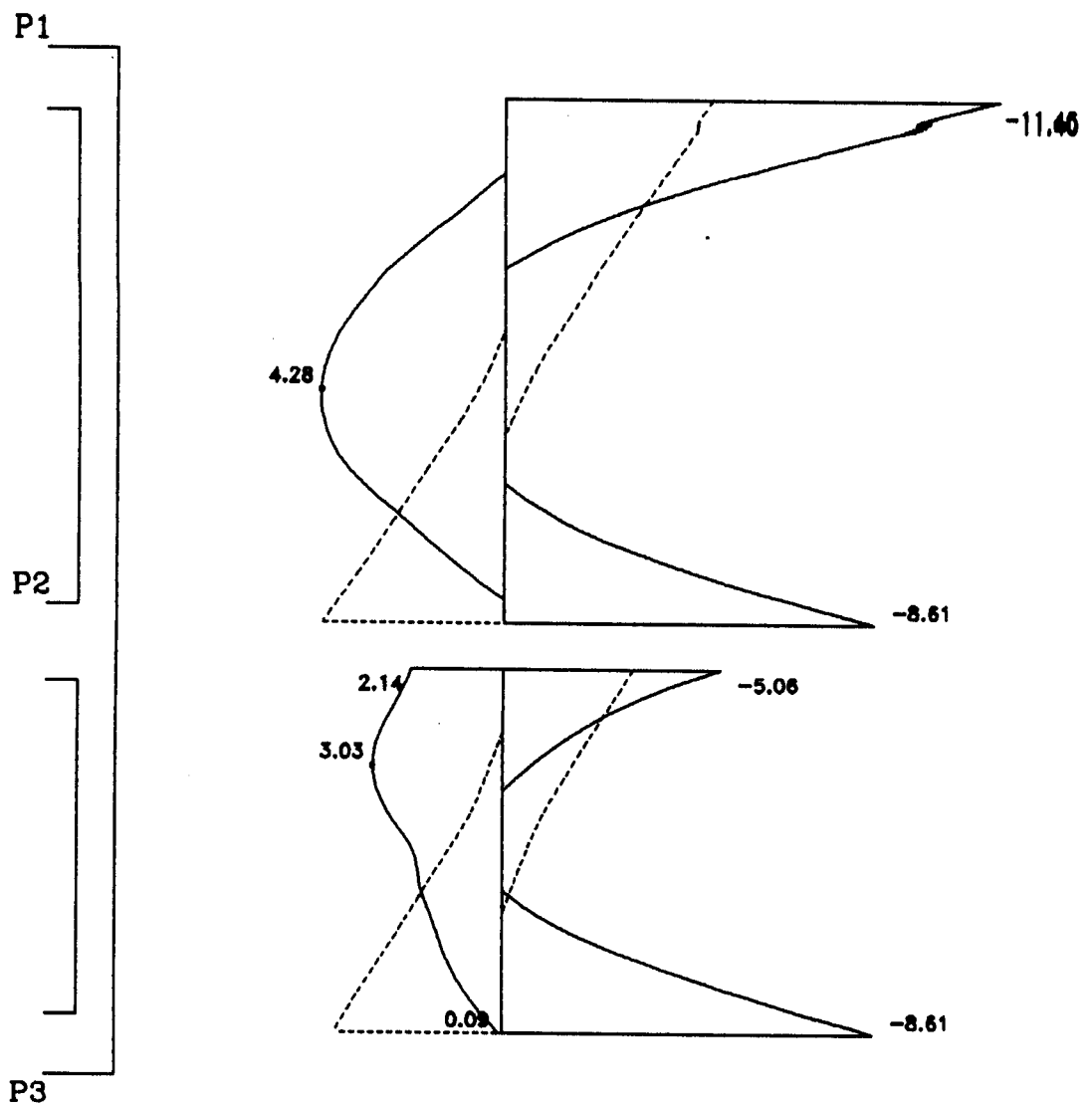


Fig. 5.42 - V1 V2 do pav 8 ao 14

Edificio : CONRADO
Grupo N. 1 Pavimento : CONRADO
Viga 10 escala = 1/ 50

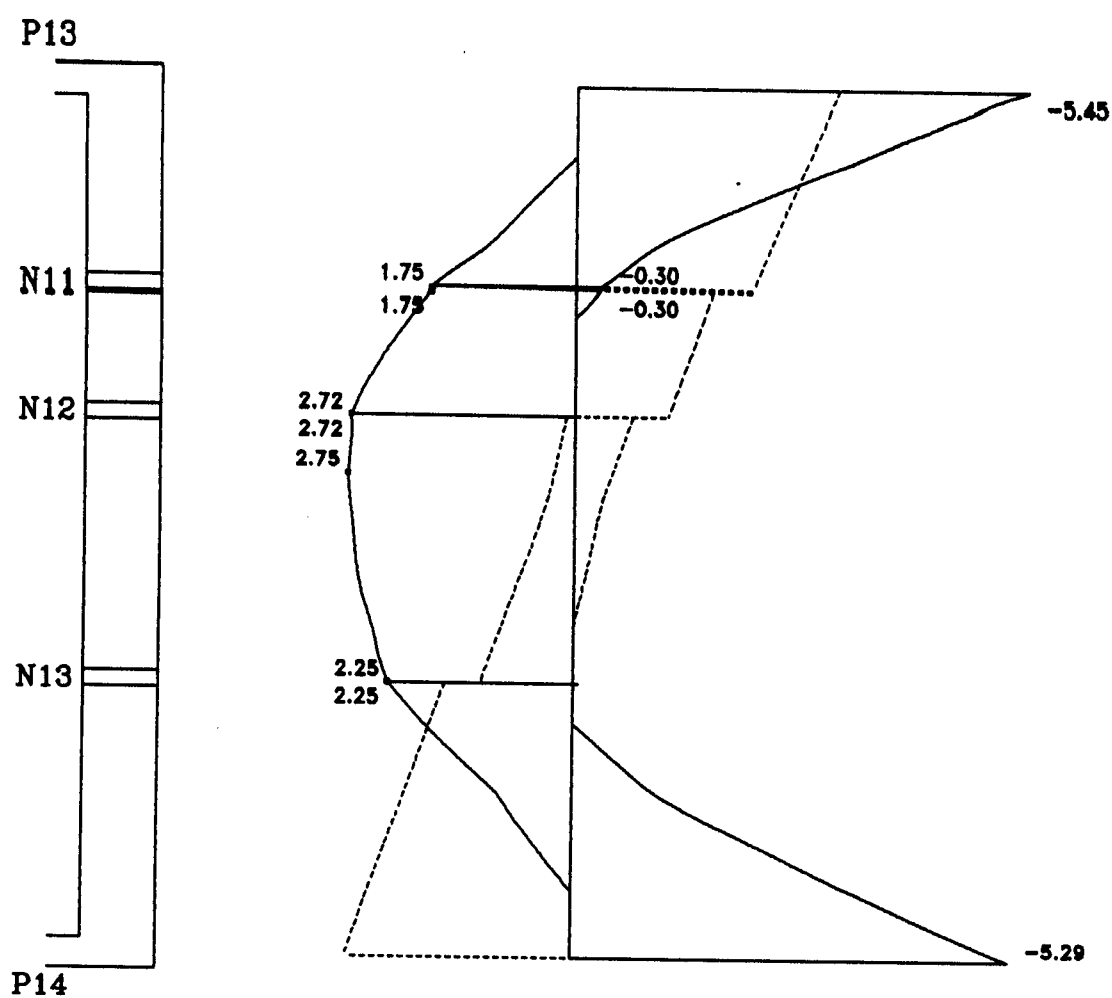


Fig. 5.43 - V10 do pav 1 ao 7

Edifício : CONRADO
Grupo N. 2 Pavimento : CONRADO
Viga 10 escala = 1/ 50

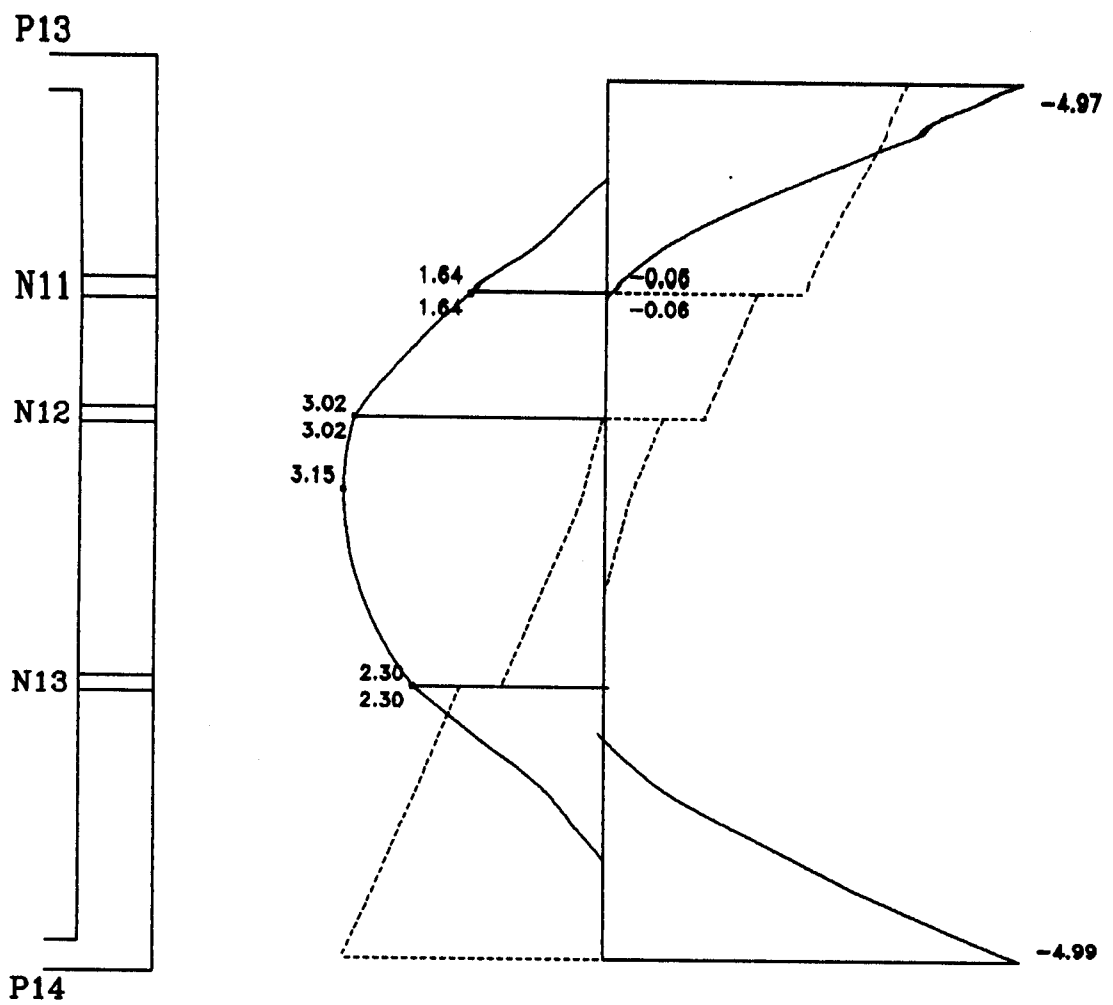


Fig. 5.44 - V10 do pav 8 ao 14

Edifício : CONRADO
Grupo N. 1 Pavimento : CONRADO
Viga 16 escala = 1/100

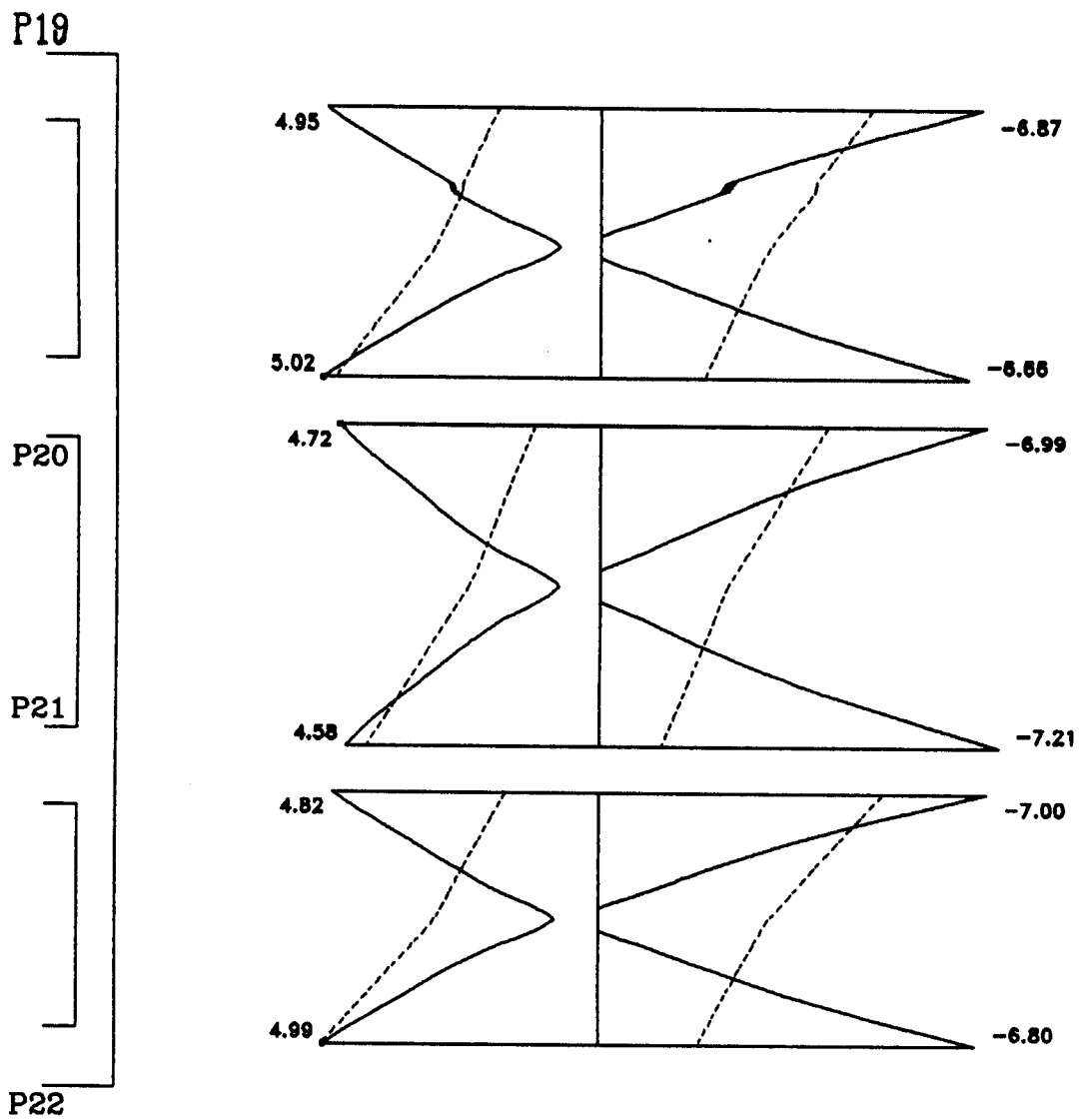


Fig. 5.45 - V16 do pav 1 ao 7

Edifício : CONRADO
Grupo N. 2 Pavimento : CONRADO
Viga 16 escala = 1/100

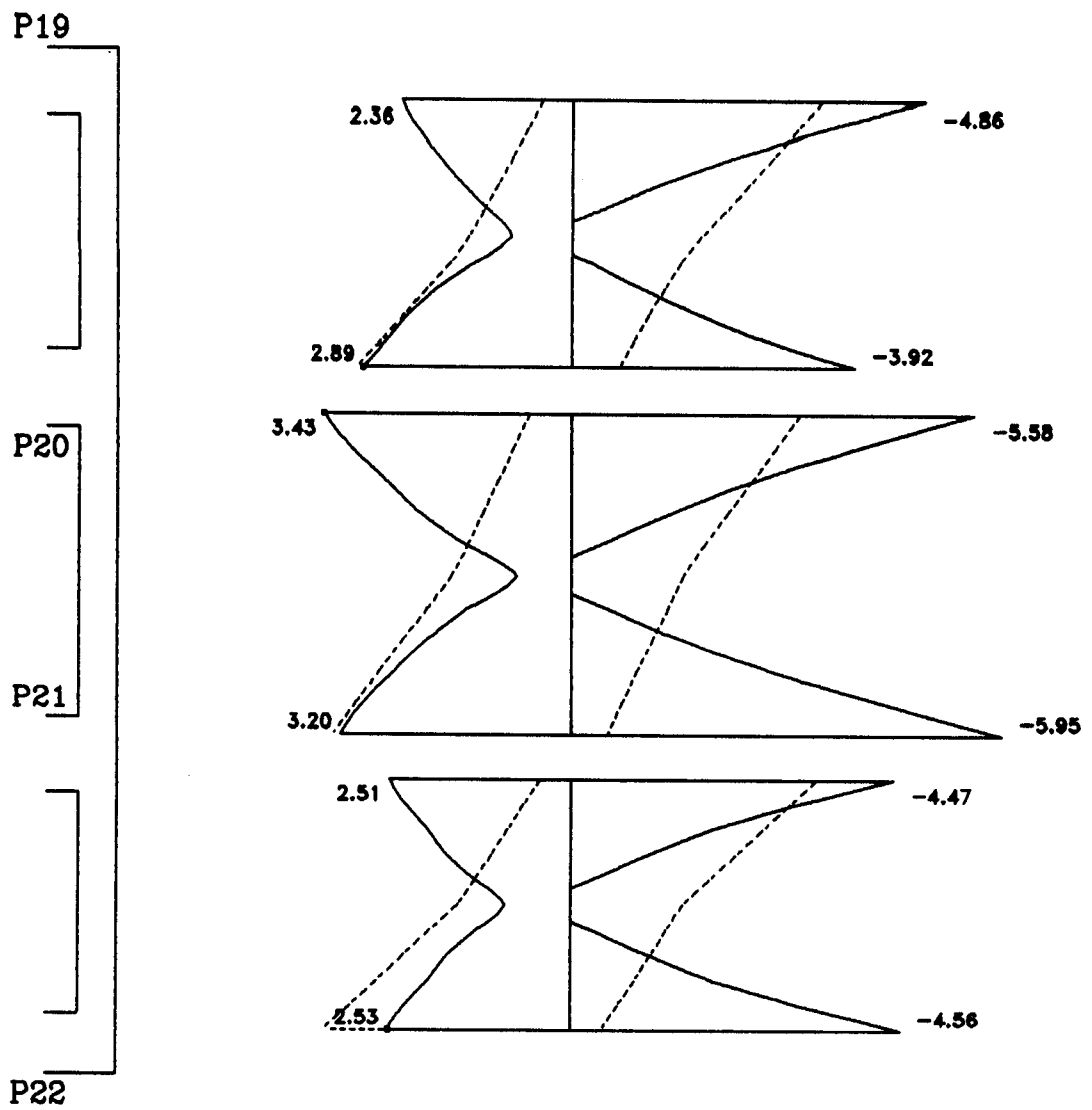


Fig. 5.46 - V16 do pav 8 ao 14

Edificio : CONRADO
Grupo N. 1 Pavimento : CONRADO
Viga 17 escala = 1/ 50

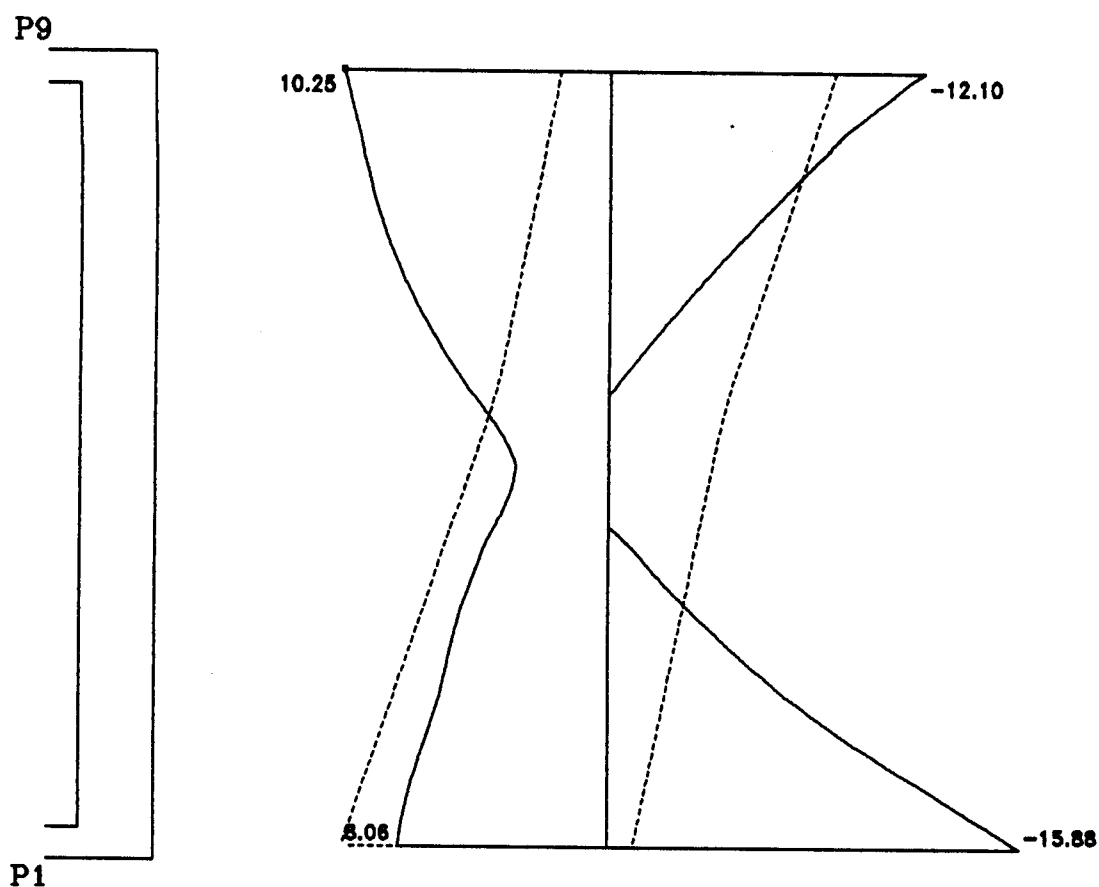


Fig. 5.47 - V17 V29 do pav 1 ao 7

Edifício : CONRADO
Grupo N. 2 Pavimento : CONRADO
Viga 17 escala = 1/ 50

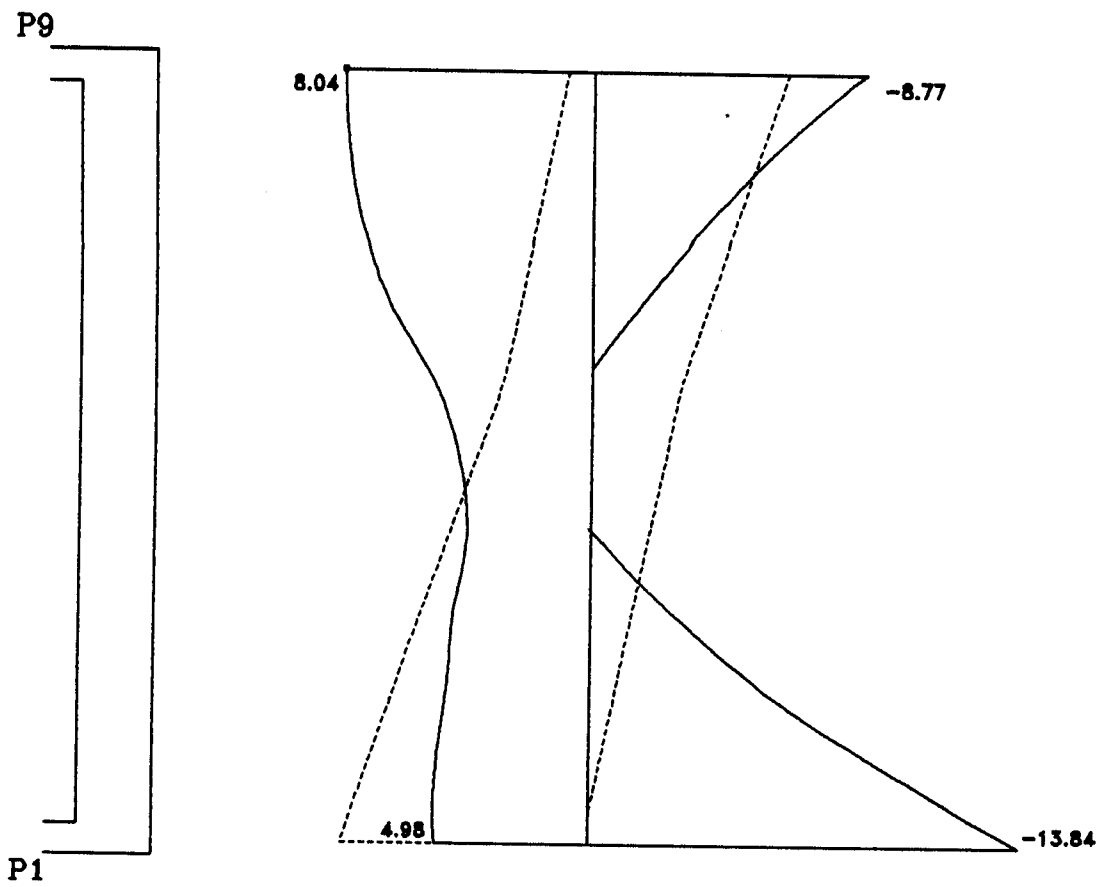


Fig. 5.48 - V17 V29 do pav 8 ao 14

Edificio : CONRADO
Grupo N. 1 Pavimento : CONRADO
Viga 19 escala = 1/ 50

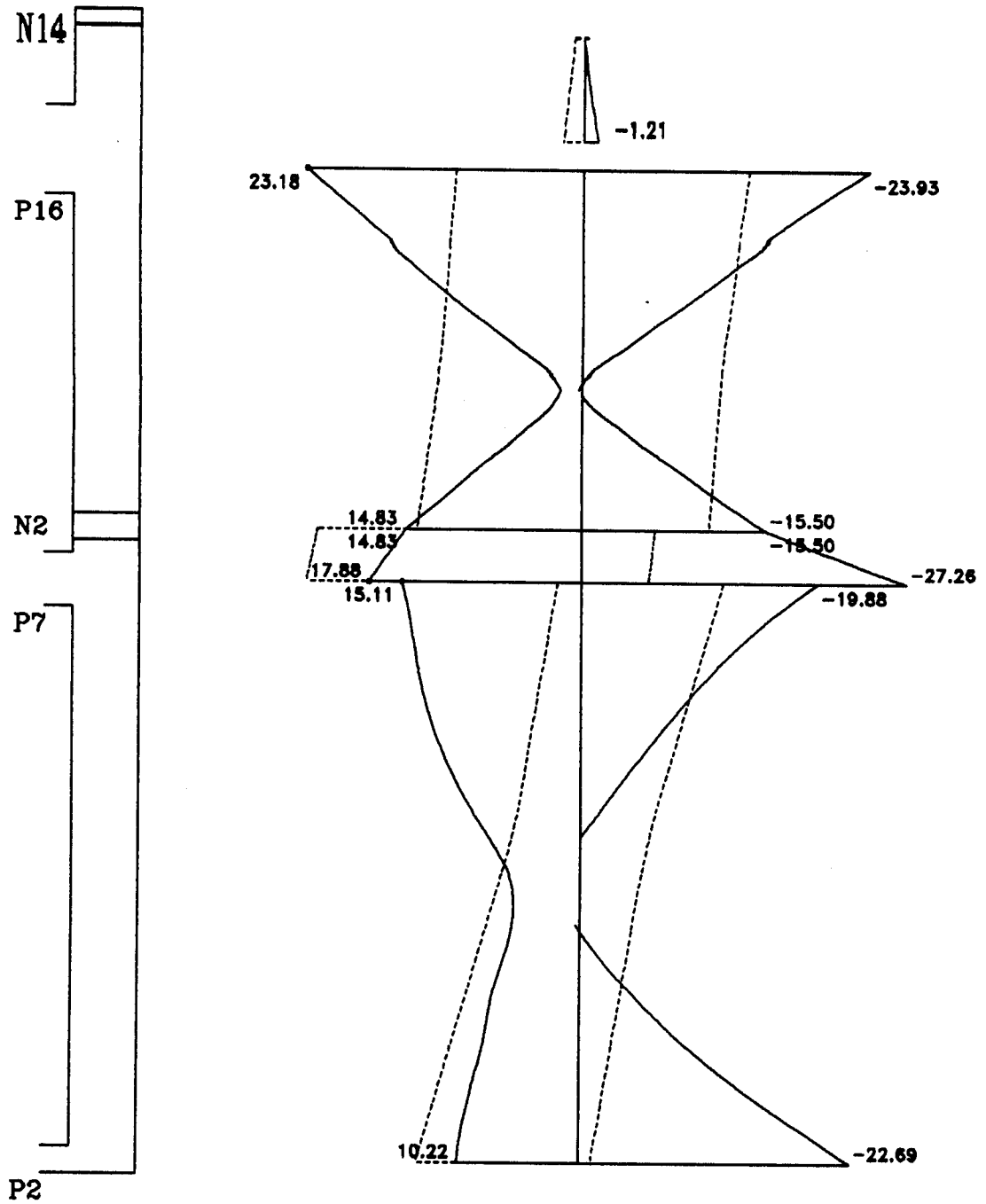


Fig. 5.49 - V19 V27 do pav 1 ao 7

Edifício : CONRADO
Grupo N. 2 Pavimento ; CONRADO
Viga 19 escala = 1/ 50

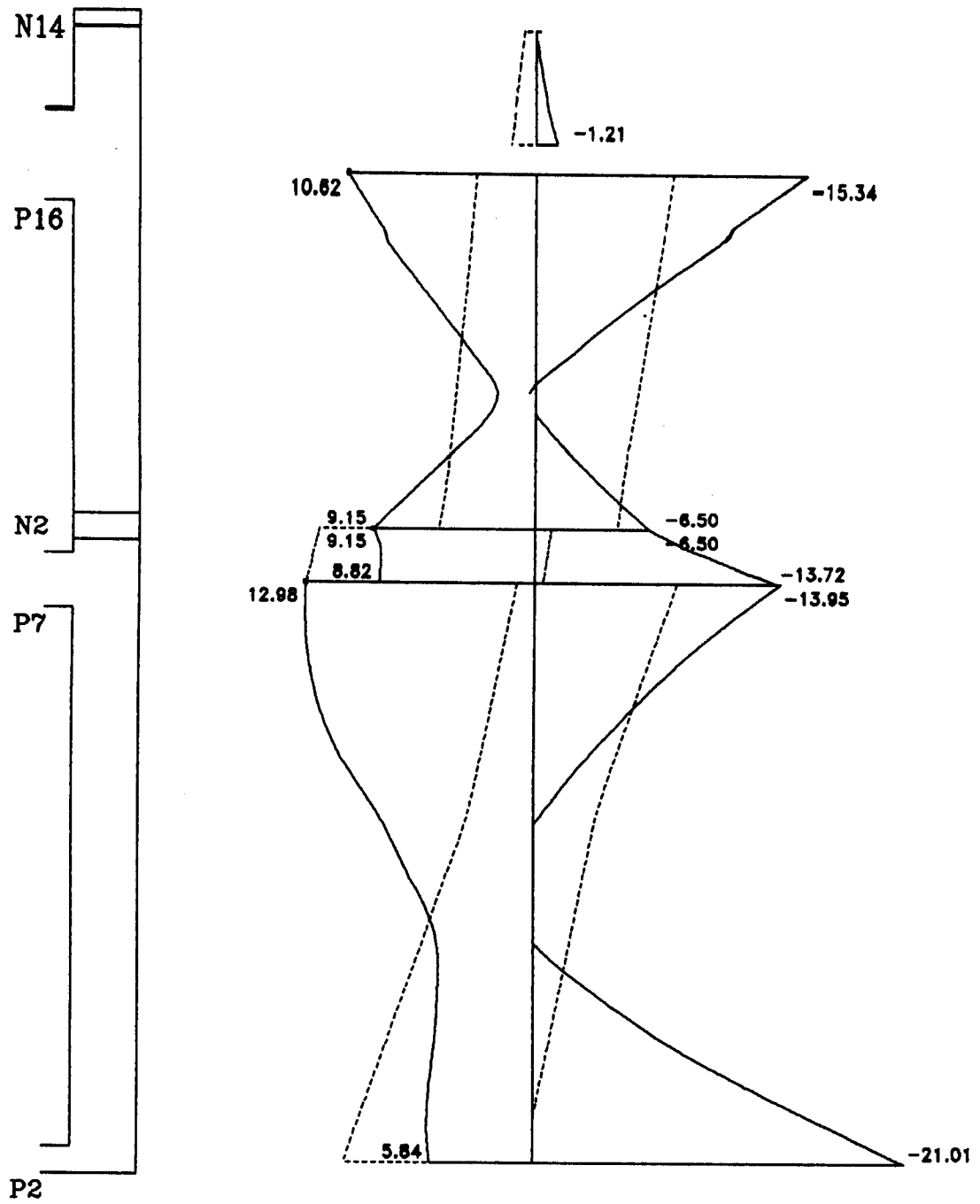


Fig. 5.50 - V19 V27 do pav 8 ao 14

Edifício : CONRADO
Grupo N. 1 Pavimento : CONRADO
Viga 21 escala = 1/100

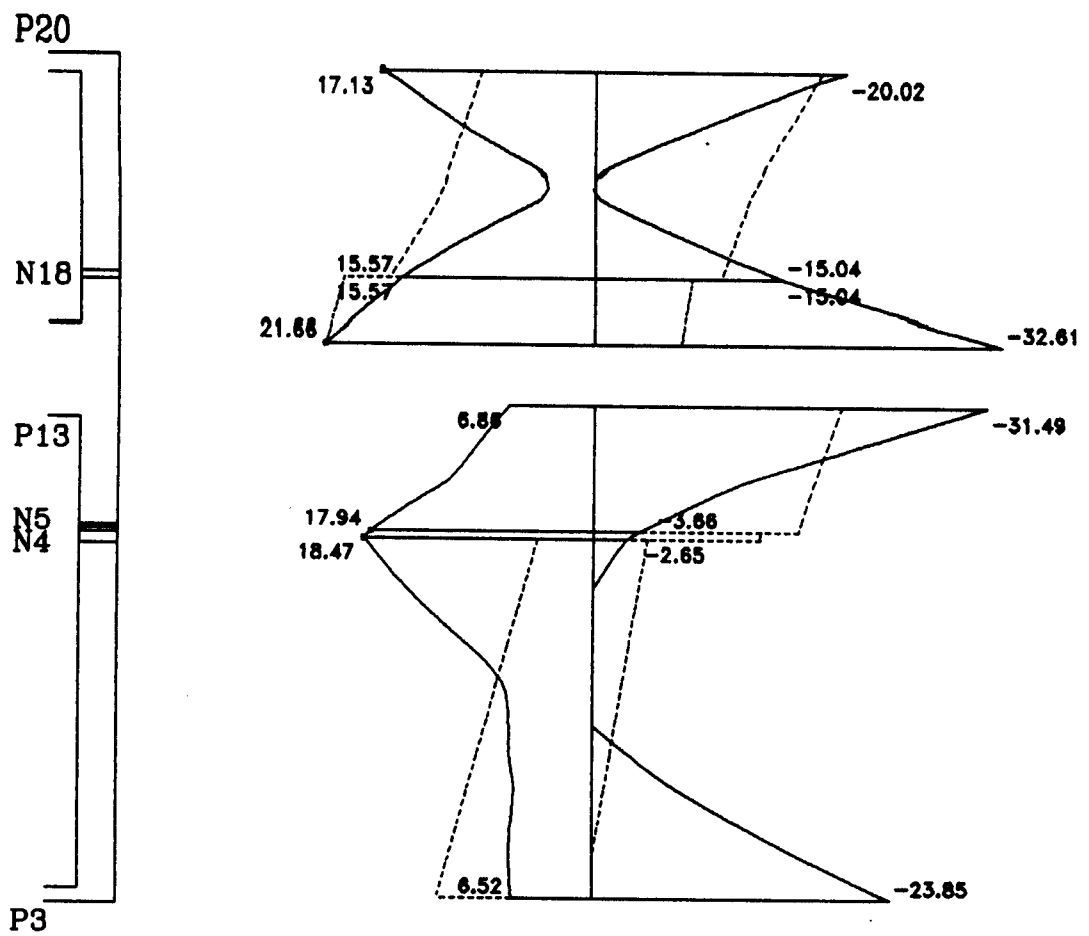


Fig. 5.51 - V21 V25 do pav 1 ao 7

Edifício : CONRADO
Grupo N. 2 Pavimento : CONRADO
Viga 21 escala = 1/100

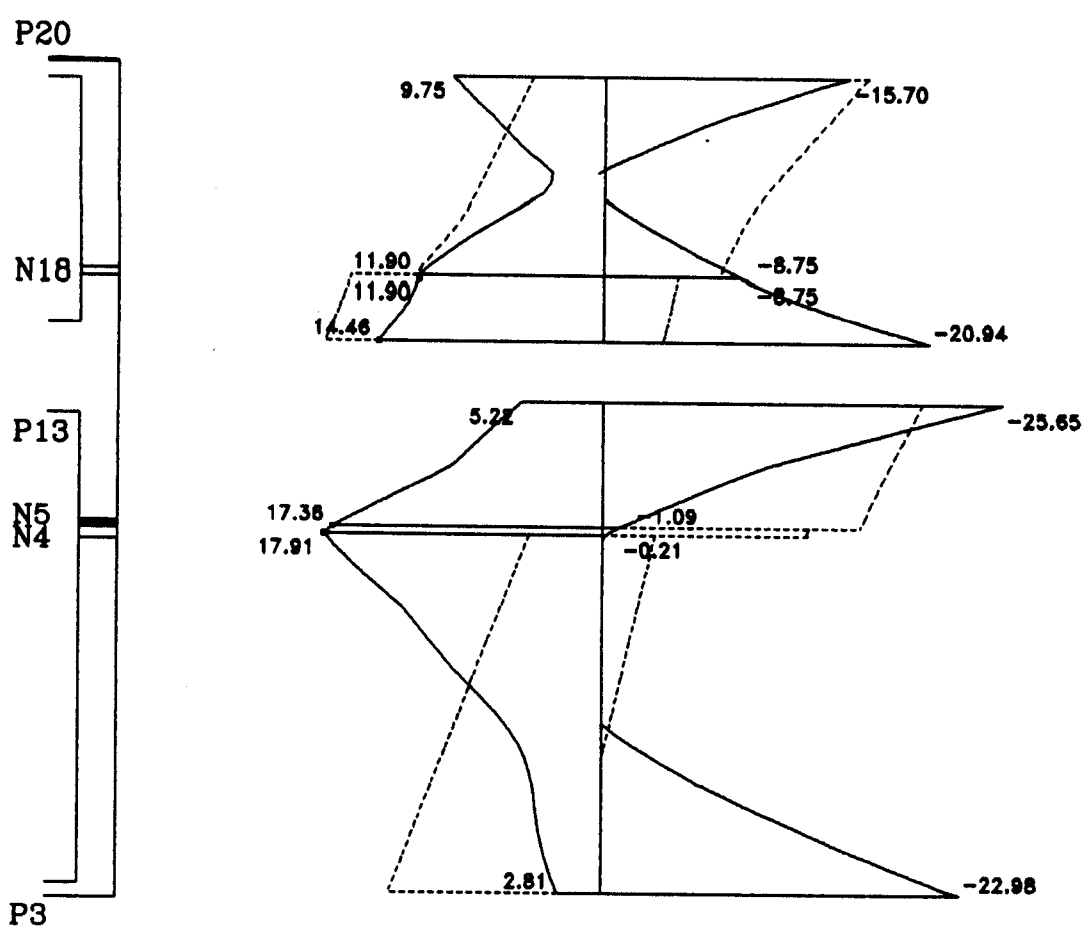


Fig. 5.52 - V21 V25 do pav 8 ao 14

Observando os gráficos de momentos da viga V16 nos grupos 1 e 2, nota-se que a influência da ação do vento é bem maior que das cargas verticais, devido à variação de momentos nos apoios ser grande, enquanto que no meio do vão fica quase constante. Isso se deve ao fato de que os pilares P19 a P22 têm suas maiores dimensões na mesma direção da viga. O mesmo não acontece com a viga V10, que tem o gráfico de momentos tendendo mais para uma parábola, apenas com momentos negativos sobre os apoios.

Neste exemplo foram apresentadas quatro saídas de resultados: saída de esforços referentes aos carregamentos básicos; saída de esforços resultantes da envoltória, contendo os máximos e mínimos em décimos de trechos das vigas; saída gráfica da planta de forma (Fig. 5.40) e saídas gráficas das envoltórias de vigas (Figs. 5.41 a 5.52).

Além disso, foi apresentada a lista de dados referente ao problema.

Para o dimensionamento e detalhamento das armaduras, das vigas mais simples, V6, V12, V13, V14, V22, V23, V24 por exemplo, não seria necessário o traçado dos gráficos, com isso, optou-se pelas duas formas de apresentar os resultados da envoltória, uma vez que o traçado gráfico em impressoras matriciais é sempre mais lento que a impressão alfa-numérica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo estrutural apresentado neste trabalho traz algumas vantagens em relação à associação tridimensional de painéis planos, especialmente quando se analisa edifícios com alto grau de complexidade como no exemplo 2. Nesses casos, por melhor que seja a escolha dos painéis, nunca se obterá um modelo tão fiel à estrutura real. Os elementos que aparentemente não influenciam na distribuição de esforços, como é o caso de algumas vigas no exemplo 2, podem absorver esforços significativos, não computados na associação de painéis. Os pilares que têm grande rigidez à flexão no sentido do carregamento, mas que não formam pórtico nessa direção, apresentam grandes esforços na base, fato esse detectado no edifício do exemplo 1.

Também no exemplo 2, a retirada de algumas vigas alteram de maneira indireta a força normal no pilar P14. Essa diferença é bastante significativa, uma vez que na associação de painéis essa força é apenas 30% do valor encontrado na análise completa. Não é fácil perceber a priori essas implicações indiretas nos elementos estruturais, quando o projeto não é simples, sem fazer uma análise mais cuidadosa.

Para o engenheiro, nem sempre é fácil discretizar em painéis as estruturas mais irregulares. Neste modelo, a consideração das excentricidades é direta, as seções dos pilares e vigas podem ter formas quaisquer e as vigas têm direção qualquer no plano da laje. Nessas

condições, é possível analisar com maior precisão essas estruturas. Desse modo, não só a análise e entrada de dados fica facilitada, como também os resultados representam melhor a situação real.

Com o programa desenvolvido para esta análise em micro computadores, chegou-se a resultados muito bons, tanto na precisão desses resultados, quanto no tempo de processamento. Em nenhum dos exemplos foram necessários mais do que 20 minutos para a obtenção dos esforços nos micros mais rápidos.

Muitos programas já existem para a análise de edifícios, a maioria tem entrada de dados via arquivo numérico, obedecendo sequências e arrumações previamente estabelecidas. O programa desenvolvido neste trabalho possui um editor de dados, apresentado no capítulo 4, que facilita a manipulação desse volume tão grande de informações. Nesse editor é possível fazer gerações automáticas dos dados, como coordenadas de pilares alinhados, conectividades das lajes, igualdades em vigas, entre outras que facilitam essa etapa. Os desenhos na tela, totais ou parciais, bem como os desenhos de detalhes de pilares, tornam a conferência de toda a geometria do pavimento quase que imediata, evitando erros comuns que ocorrem nas entradas convencionais.

As combinações de coeficientes analisadas no capítulo 3, são pré-estabelecidas no programa, porém, isso pode ser facilmente alterado, inclusive para adaptações a outras normas.

Foi demonstrado também, que as exigências da norma brasileira para a combinação de esforços em edifícios altos resulta em um trabalho muito grande para os escritórios de projeto. Com o programa *ENVOLTOR*, essa análise é feita sistematicamente, oferecendo gráficos de envoltórias, onde o projetista pode dimensionar e detalhar as armaduras das vigas diretamente.

No capítulo 3 foi demonstrada a influência da alternância de carregamento accidental nas lajes. Em estruturas onde esse carregamento tem valores elevados, é importante essa consideração na envoltória, o que dificulta mais ainda o cálculo manual. Desse modo, o programa desenvolvido, não se aplica apenas ao projeto de edifícios altos, mas também no cálculo de pavimentos onde se pretenda ou não fazer envoltória de carregamentos.

Outras considerações poderão ser feitas em trabalhos futuros, como a inclusão de núcleos estruturais, dimensionamento e detalhamento de vigas e pilares com base na envoltória apresentada etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BORGES, J. F. & RAVARA, A. Estudo do comportamento de estruturas de edifícios elevados sob ação de forças horizontais. Trabalho apresentado às II Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, Rio de Janeiro - São Paulo, Agosto 1967. 30p.
- [02] SORIANO, H. L. Cálculo automático do efeito de vento em estruturas de edifícios. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1971. (Dissertação de Mestrado).
- [03] FERREIRA, L. F. O. Associação plana de pórticos com pilares paredes. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1975. 94p. (Dissertação de Mestrado).
- [04] PRUDENTE, M. Análise de estruturas tridimensionais usuais de edifícios altos. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1983. 153p. (Dissertação de Mestrado).
- [05] FONTE, A. O. C. Análise tridimensional de estruturas de edifício. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1972. (Dissertação de Mestrado).
- [06] CÂMARA Jr, V. F. Análise dos esforços em edifícios altos. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1978. 196p. (Dissertação de Mestrado).
- [07] RIBEIRO, S. R. S. Associação tridimensional de pórticos e paredes de seção aberta em estruturas de edifícios altos. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1987. 224p. (Dissertação de

Mestrado).

- [08] SILVA, R. M. Análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos com núcleos resistentes considerando o efeito P-Δ. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1989. 239p. (Dissertação de Mestrado).
- [09] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças devidas ao vento em edificações: Projeto da NBR-6123. Rio de Janeiro, ABNT, 1980. 52p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações e segurança nas estruturas: NBR-8681. Rio de Janeiro, ABNT, 1984. 21p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de obras de concreto armado: NBR-6118. Rio de Janeiro, ABNT, 1978. 76p.
- [12] ANTUNES, H. M. C. C., SOUZA, J. C. de O. & ANDRADE, J. R. L. Estrutura tubular como opção para edifícios de garagem. Colloquia, Porto Alegre, 1987.

BIBLIOGRAFIA

01. ANTUNES, H. M. C. C. Carregamento crítico de instabilidade geral para estruturas tridimensionais de edifícios altos. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1978. 160p. (Tese de doutorado).
02. CAMERON, J. R. An overview of JSD. IEEE Transactions on software Engineering, s.l., SE-12 (2):222-240, feb.1986.
03. CARROLL, D. W. Programação em turbo pascal. São Paulo, McGraw - Hill, 1988. 349p.
04. FAKURY, R. H. Comportamento das estruturas tubulares de edifícios altos sob carregamento lateral. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1986. 231p. (Dissertação de mestrado).
05. FARRER, HARRY et alii. Pascal estruturado; programação estruturada de computadores. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1986. 141p.
06. GANE, CHRIS & SARSON, TRISH. Análise estruturada de sistemas. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1983. 257p.
07. GERE, JAMES M. & WEAVER JR., WILLIAM. Análise de estruturas reticuladas. Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1981. 443p.
08. GRILLO, M. C. A. Turbo pascal. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1988. 310p.

09. MARTINELLI, D. A. O.; MONTANARI, I.; SAVASSI, W. Placas elásticas. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1986. 114p.
10. MOREIRA, D. F. Análise matricial de estruturas. São Paulo, Editora da USP, 1977. 404p.
11. PEIXOTO, A. A. O. A. et alii. Turbo pascal; manual básico de referência. Rio de Janeiro, Compusystems / Ciência Moderna, 1987. 408p.
12. PITTA, J. A. A. Ações devidas ao vento em edifícios de andares múltiplos, edifícios com coberturas do tipo shed e do tipo duas águas com lanternim. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1988. 151p.
13. PRZMINIECKI, J. S. Theory of matrix structural analysis. New York, McGraw - Hill, 1968. 467p.
14. RUBINSTEIN, M. F. & ROSEN, R. Substructure analysis by matrix decomposition. Journal of Structural Division, ASCE, 96(3): 663-670, March, 1970.
15. SAVASSI, WALTER. Formulações para cálculo (programável) de características de figuras geométricas planas. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1987. 39p.
16. SCHMITZ, E. A. & TELES, A. A. S. Pascal e técnicas de programação. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1988. 287p.
17. SCHUELLER, W. High-rise building structures. New York, John Wiley & Sons, 1977. 274p.
18. STAMATO, M. C. Distribuição das cargas do vento entre os painéis de contraventamento. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1978. 30p.
19. STAMATO, M. C. & SMITH, B. S. Análise aproximada de estruturas tridimensionais de edifícios elevados. São Carlos, Escola de Engenharia de

São Carlos - USP, 1983. 23p.

20. STEVENS, W. P. Projeto estruturado de sistemas. Rio de Janeiro, Campus, 1986. 224p.
21. VENÂNCIO FILHO, F. Análise matricial de estruturas. Rio de Janeiro, Almeida Neves - Editores, 1975. 256p.
22. WEAVER JR., W. Computer programs for structural analysis. Princeton, N. J., D. Van Nostrand, 1967. 300p.

APÊNDICE - A

CÁLCULO DAS FORÇAS DEVIDAS À AÇÃO ESTÁTICA DO VENTO

1. INTRODUÇÃO

Mostra-se a seguir a determinação das forças devidas à ação do vento em edificações segundo a NBR - 6123^[09] com o objetivo principal de facilitar a automatização do cálculo.

Serão tratados apenas edifícios de planta retangular ou semelhantes, pela facilidade de uso dos ábacos existentes na Norma.

Serão apresentadas as equações para os coeficientes S_1 e S_2 , o que facilita a programação em computador.

A notação aqui utilizada é a mesma da norma citada.

2. CÁLCULO DA FORÇA NA ALTURA z

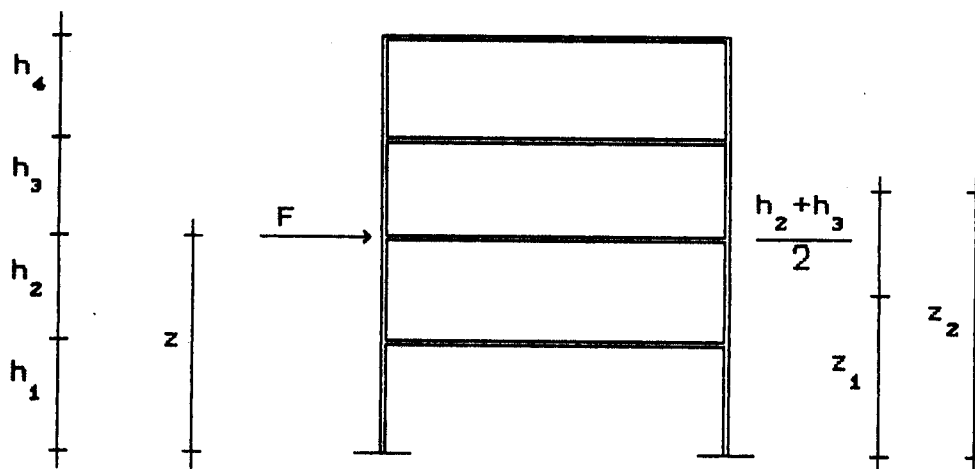


Fig. 1 - Força do vento aplicada à altura z.

$$F = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (01)$$

Onde:

F = força no ponto desejado;

C_a = coeficiente de arrasto obtido dos ábacos das Figs. 2 e 3 e dependente da forma da edificação;

A_e = área frontal efetiva ou área da projeção ortogonal da edificação sobre o plano perpendicular à direção do vento;

q = pressão exercida pelo vento na superfície.

O valor de q é obtido através da expressão:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (02)$$

nas seguintes unidades:

q em N/m^2 e V_k em m/s.

O valor de V_k , velocidade característica, é definido em cada ponto pela expressão:

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (03)$$

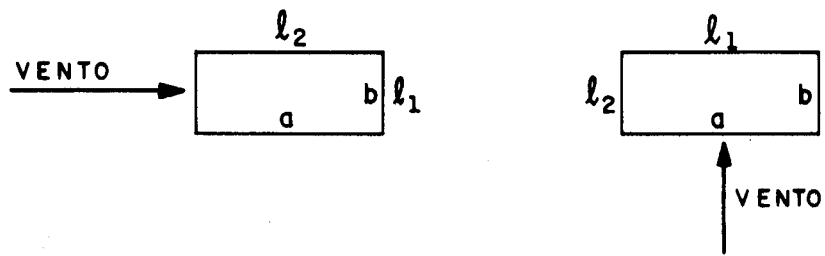
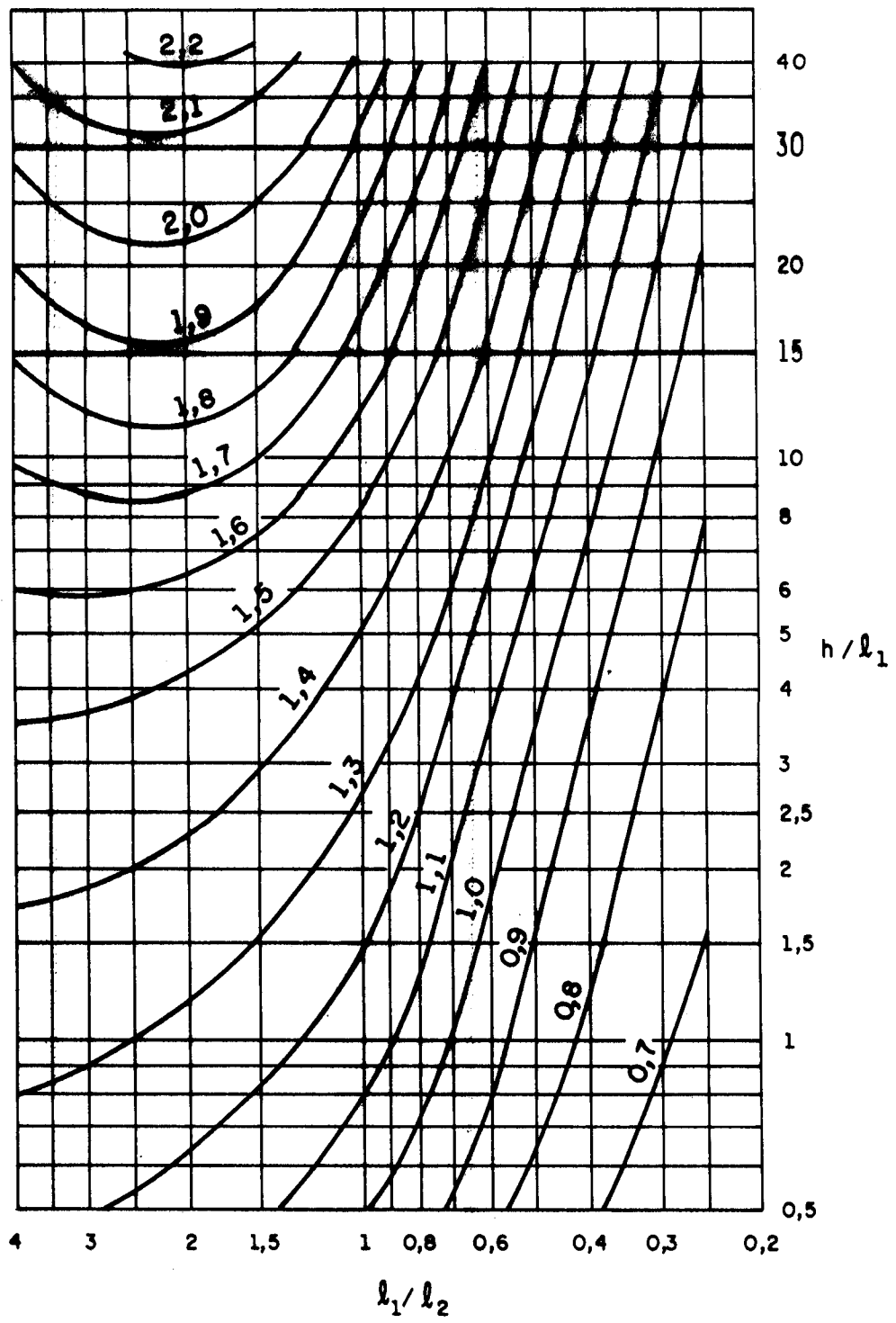


Fig. 2 - Coeficiente de arrasto para vento de baixa turbulência

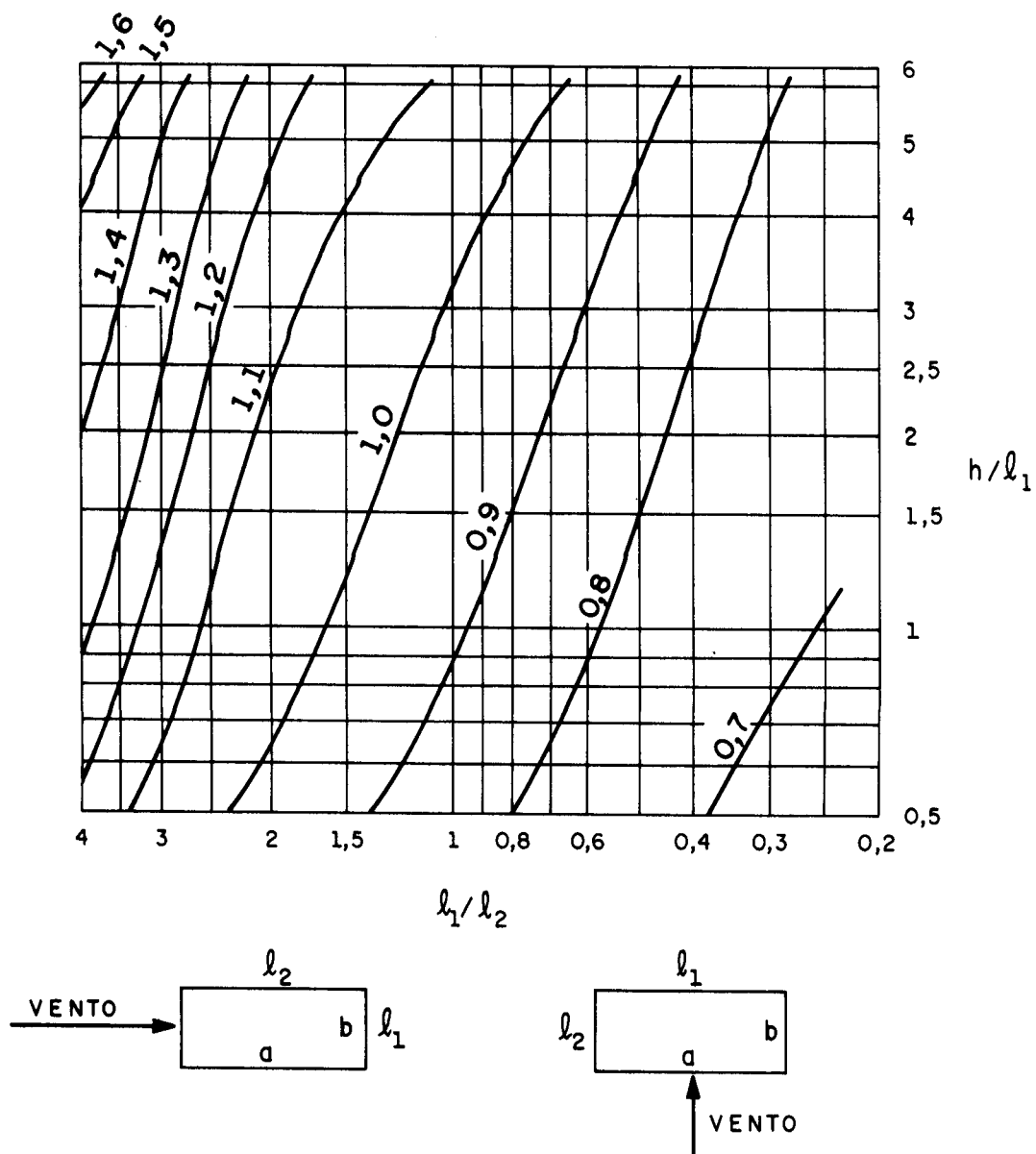


Fig. 3 - Coeficiente de arrasto para vento de alta turbulência

3. VELOCIDADE BÁSICA V_0

A velocidade básica, V_0 , é a velocidade de uma rajada de três segundos. Este valor pode ser excedido em média, uma vez a cada cinquenta (50) anos, sendo medido 10m acima do terreno, em campo aberto e plano.

O mapa do Brasil, contendo as isopletas, é mostrado na Fig. 4.

4. FATOR TOPOGRÁFICO S_1

Esse fator permite o ajuste da velocidade em relação ao relevo do terreno; para obtê-lo, é preciso classificá-lo em uma das condições a seguir:

a) Terreno plano ou fracamente acidentado:

$$S_1 = 1,0$$

b) Taludes e morros conforme a Fig. 5:

- no ponto A do morro e nos pontos A e C do talude:

$$S_1 = 1,0;$$

- no ponto B, S_1 varia com a altura da seguinte maneira:
para $z > 2,5.d$

$$S_1 = 1,0;$$

para $z \leq 2,5.d$ e

$$\theta \leq 3^\circ \quad S_1(z) = 1,0 \quad (04)$$

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ \quad S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot \text{tg}(\theta - 3^\circ)$$

$$\theta \geq 45^\circ \quad S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot 0,31$$

Nos intervalos $3^\circ < \theta < 6^\circ$ e $17^\circ < \theta < 45^\circ$, o valor de S_1 é interpolado linearmente, sendo:

z = altura do ponto considerado à superfície do terreno;

θ = ângulo médio de inclinação do talude ou morro;

d = diferença de nível entre a base e o topo do talude.

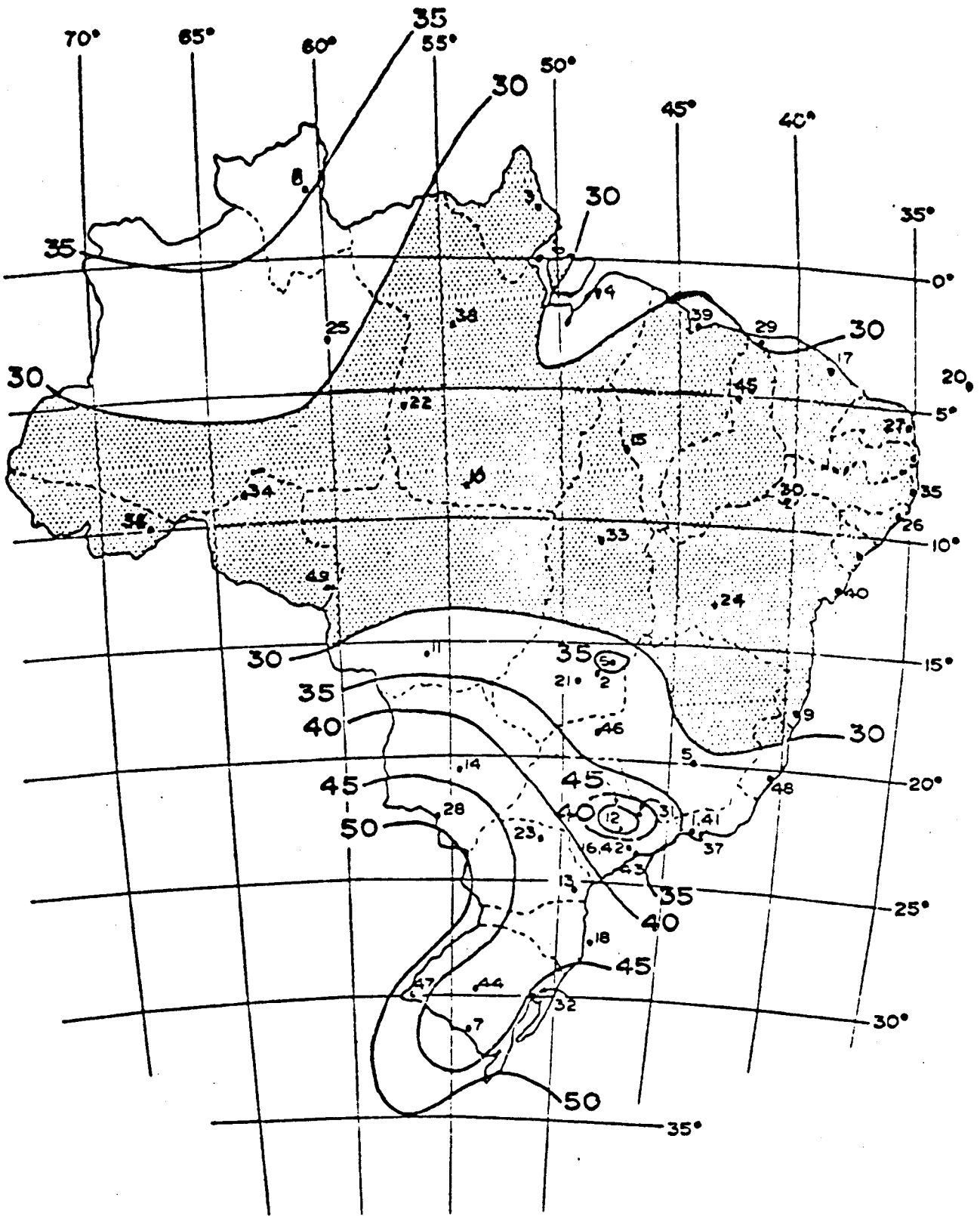
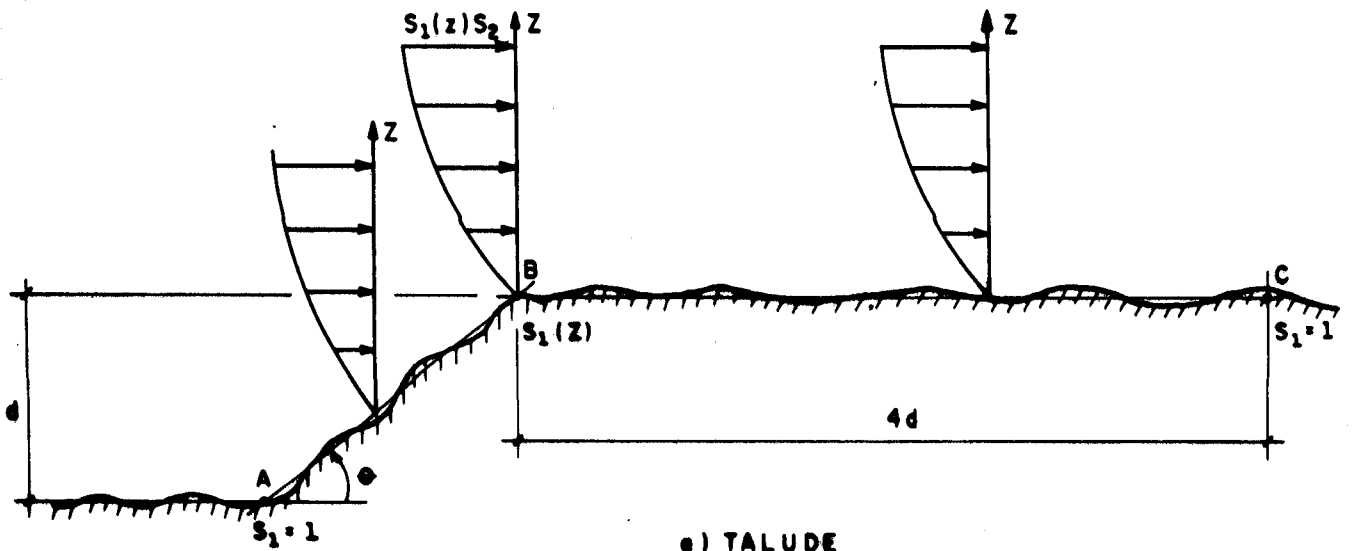


Fig. 4. Mapa do Brasil - Isopletas

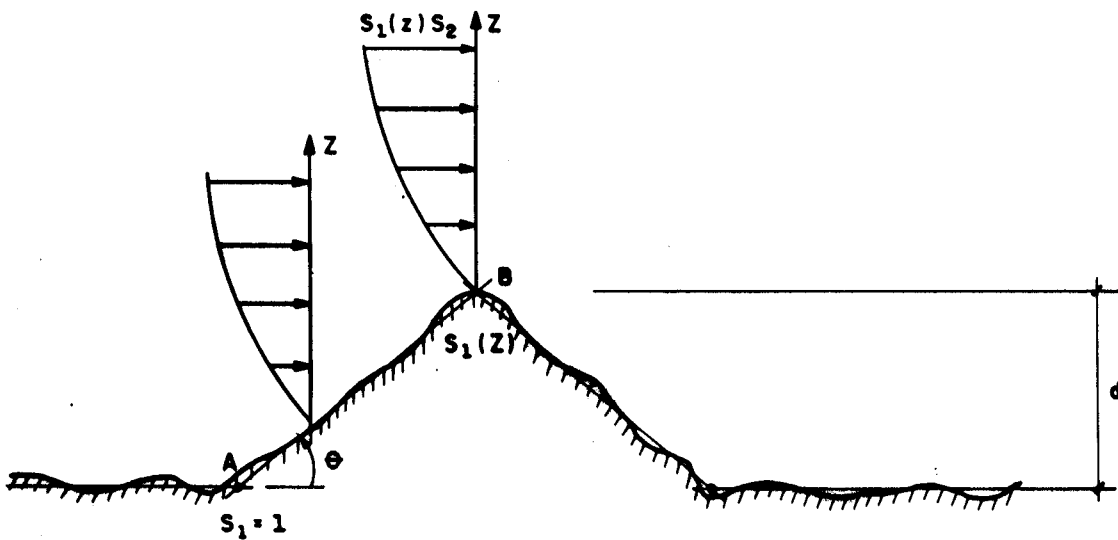
- Entre A e B e entre B e C, o fator S_1 é obtido também por interpolação linear.

c) Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção:

$$S_1 = 0,9.$$



e) TALUDE



b) MORRO

Fig. 5 - Taludes e morros.

5. RUGOSIDADE DO TERRENO

A rugosidade do terreno pode ser classificada em cinco categorias conforme se segue.

Categoria I: superfícies lisas, de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos:

- mar calmo;
- lagos e rios;
- pântanos sem vegetação.

Categoria II: terrenos abertos, em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Exemplos:

- zonas costeiras planas;
- pântanos com vegetação rala;
- campos de aviação;
- pradarias e charnecas;
- fazendas sem sebes ou muros.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.

Categoria III: terrenos planos ou ondulados, com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. Exemplos:

- granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos;
- fazendas com sebes e/ou muros;
- subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.

Categoria IV: terrenos cobertos por obstáculos, numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Exemplos:

- zonas de parques e bosques com muitas árvores;
- cidades pequenas e seus arredores;
- subúrbios densamente construídos, de grandes cidades;
- áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m.

Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na categoria V.

Categoria V: terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Exemplos:

- florestas com árvores altas de copas isoladas;
- centros de grandes cidades;
- complexos industriais bem desenvolvidos.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.

6. DIMENSÕES DA EDIFICAÇÃO

As edificações, de acordo com as suas dimensões, podem estar em uma das três classes:

classe A - edificações em que a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m;

classe B - edificações que tem a sua maior dimensão compreendida entre 20 m e 50 m;

classe C - a maior dimensão excede 50 m.

7. FATOR S_2

O fator S_2 depende da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação e da altura z do ponto onde se calcula; para $z < z_g$, o valor de S_2 é obtido pela expressão:

$$S_2 = b.F_r.(z/10)^p \quad (05)$$

onde:

b e p são obtidos na Tabela 1;

F_r é o fator de rajada obtido na Tabela 1, sempre para a categoria II;

z é a altura do ponto;

z_g é obtido na Tabela 2 e representa uma altura limite, onde ainda existe influência da rugosidade do terreno.

TABELA 1 - Parâmetros meteorológicos.

Cat.	Z_g (m)	Param.	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		Fr	1,00	0,98	0,95
		p	0,065	0,065	0,07
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,06	0,065	0,075
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,06	0,065	0,075
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,06	0,065	0,075

TABELA 2 - Alturas-limite.

Categ.	I	II	III	IV	V
Z _g (m)	250	300	350	420	500
Z _o (m)	0,005	0,07	0,30	1,0	2,5

8. FATOR ESTATÍSTICO S₃

Utilizando os parâmetros adotados até agora e a velocidade básica, V₀, para um período de recorrência de cinquenta anos, existe uma probabilidade de 63% desse valor ser excedido, o que é considerado adequado para edificações normais como residências, hotéis etc. Contudo, à medida em que a taxa de ocupação da edificação vai diminuindo, pode-se diminuir também o fator S₃. Assim, o fator S₃ pode ser obtido de acordo com a classificação a seguir.

Grupo 1: edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação etc); S₃ = 1,10.

Grupo 2: edificações para hotéis e residências, edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação; S₃ = 1,00.

Grupo 3: edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais etc); S₃ = 0,95.

Grupo 4: vedações (telhas, vidros, painéis de

vedação etc); $S_3 = 0,88$.

Grupo 5: edificações temporárias; estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção; $S_3 = 0,83$.

9. MUDANÇA DE RUGOSIDADE

É previsto em norma, também, o caso em que a rugosidade do terreno varia a uma distância x da edificação, passando de Z_{o1} para Z_{o2} , onde Z_o é o comprimento de rugosidade dado na tabela 2.

9.1. Mudança para rugosidade maior ($Z_{o1} < Z_{o2}$)

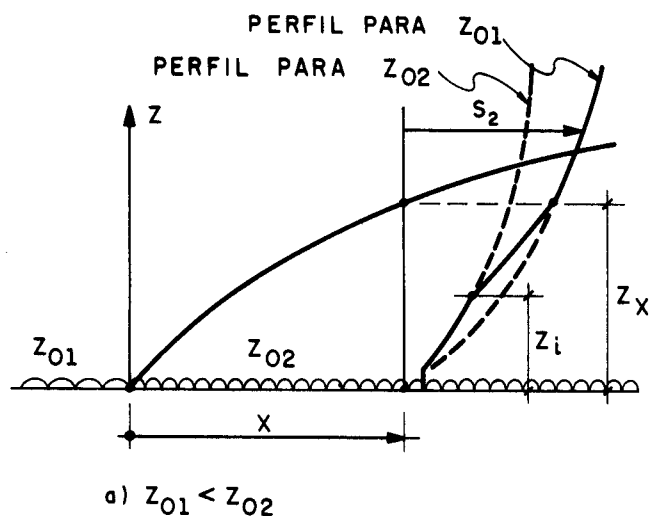


Fig. 6 - Mudança para rugosidade maior.

As alturas Z_i e Z_x , necessárias para determinar o intervalo de transição, são calculadas a partir das expressões a seguir:

$$Z_x = A \cdot Z_{o2} \cdot (X/Z_{o2})^{0,8} \quad (06)$$

$$Z_i = 0,36 \cdot Z_{o2} \cdot (X/Z_{o2})^{0,75} \quad (07)$$

$$A = 0,63 - 0,03 \cdot \ln(Z_{o2}/Z_{o1}) \quad (08)$$

Assim, os fatores S_2 são definidos em três intervalos:

a) $z \geq Z_x$, correspondente à função obtida com a rugosidade mais afastada da edificação (Z_{o1});

b) $z \leq Z_i$, correspondente à função obtida com a rugosidade mais próxima da edificação (Z_{o2});

c) $Z_i < z < Z_x$, interpolação linear entre os valores $S_2(Z_i)$ e $S_2(Z_x)$:

$$S_2(z) = \frac{S_2(Z_x) - S_2(Z_i)}{Z_x - Z_i} \cdot (z - Z_i) + S_2(Z_i) \quad (09)$$

9.2. Mudança para rugosidade menor ($Z_{o1} > Z_{o2}$)

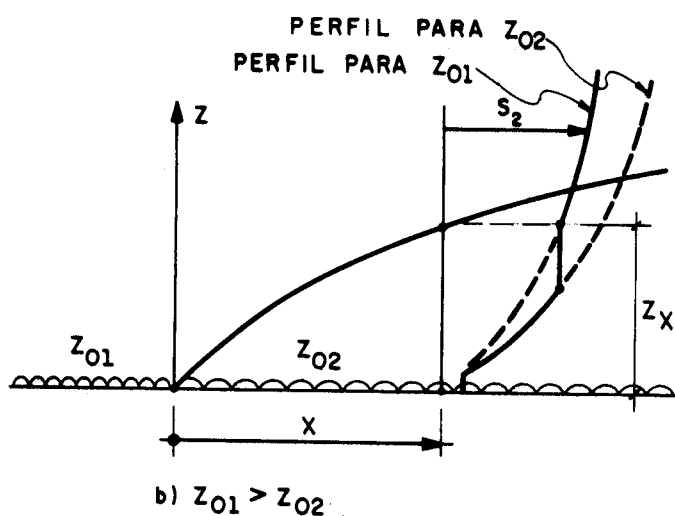


Fig. 7 - Mudança para rugosidade menor.

onde:

$$Z_x = A \cdot Z_{o2} \cdot (X/Z_{o2})^{0,8} \quad (10)$$

$$A = 0,73 - 0,03 \cdot \ln(Z_{o1}/Z_{o2}) \quad (11)$$

O fator S_2 é definido em dois intervalos:

a) $z \geq Z_x$, correspondente à função obtida com a rugosidade mais afastada (Z_{o1});

b) $z < Z_x$, correspondente à função obtida com a rugosidade mais próxima (Z_{o2}), contanto que $S_2(z) \leq S_2(Z_x)$.

10. EXEMPLO

Seja o edifício residencial da Fig. 8,

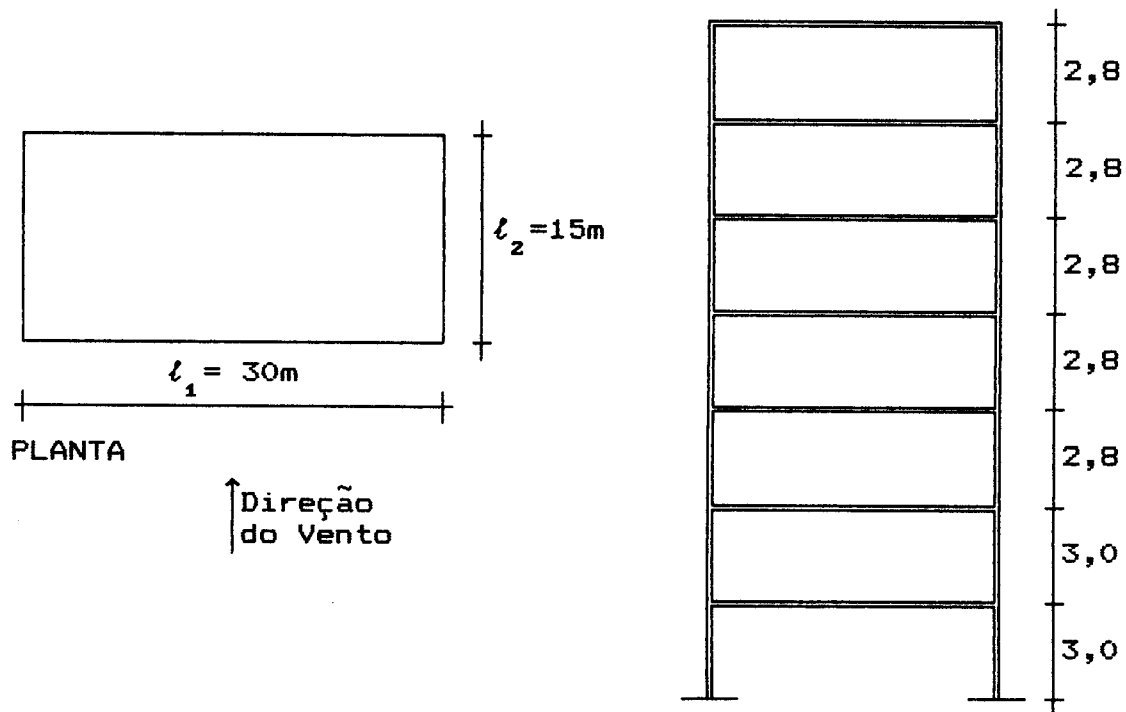


Fig. 8 - Edifício exemplo.

situado no talude da Fig. 9.

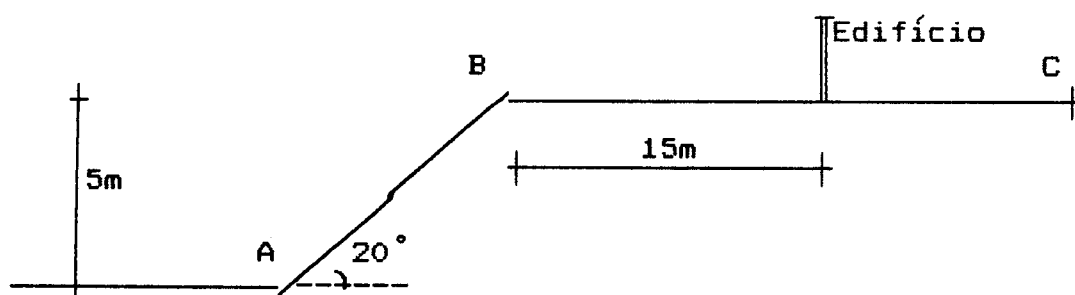


Fig 9 - Situação do edifício em relação ao talude.

A rugosidade local é classificada na categoria IV e, a uma distância de 70 m existe uma mudança de rugosidade para a categoria III.

Velocidade básica do vento = 30 m/s.

Obs.: as dimensões aqui propostas foram adotadas com a intenção de provocar o maior número de intervalos nas funções S_1 e S_2 , não havendo compromisso algum com a realidade.

10.1. Cálculo da função S_1

Para $z \leq 12.5$ m e:

$$\text{para } \theta \leq 17^\circ \quad S_1(z) = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{5}) \cdot \text{tg}(\theta - 3^\circ) \quad (12)$$

$$\text{para } \theta \geq 45^\circ \quad S_1(z) = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{5}) \cdot 0,31$$

Substituindo $\theta = 20^\circ$ nas expressões 12:

$$S_1(z) = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{5}) \cdot 0,30573$$

$$S_1(z) = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{5}) \cdot 0,31000$$

Interpolando linearmente:

$$S_1(z) = 1,76547 - 0,06124 \cdot z \quad (13)$$

Como o edifício está situado entre os pontos B e C, outra interpolação é feita, pois a função calculada em (13) refere-se ao ponto B.

$$\begin{aligned} S_1(z) &= 1,19135 - 0,01531 \cdot z && \text{para } z \leq 12,5\text{m} \\ S_1(z) &= 1,0 && \text{para } z > 12,5\text{m} \end{aligned} \quad (14)$$

10.2. Cálculo da função S_2

Tem-se um caso de mudança para rugosidade maior na proximidade do edifício.

$$A = 0,63 - 0,03 \cdot \ln(Z_{o2}/Z_{o1})$$

$$A = 0,63 - 0,03 \cdot \ln(1,0/0,3) = 0,59388$$

$$Z_x = A \cdot Z_{o2} \cdot (X/Z_{o2})^{0,8}$$

$$Z_x = 0,59388 \times 1,0 \times (70/1,0)^{0,8} = 17,7737$$

$$Z_i = 0,36 \cdot Z_{o2} \cdot (X/Z_{o2})^{0,75}$$

$$Z_i = 0,36 \times 1,0 \times (70/1,0)^{0,75} = 8,7122$$

A edificação pode ser classificada em tipo B, uma vez que a maior dimensão ($l_1 = 30$ m) não excede 50 m. Tem-se, então, para os intervalos:

$$z \leq 8,71 \quad S_2(z) = 0,85 \times 0,98 \times (z/10)^{0,125}$$

$$z \geq 17,77 \quad S_2(z) = 0,94 \times 0,98 \times (z/10)^{0,105}$$

para os valores limites de z:

$$S_2(8,71) = 0,81877$$

$$S_2(17,77) = 0,97854$$

interpolando para valores intermediários:

$$S_2(z) = 0,017632.z + 0,665156$$

Os gráficos de S_1 e S_2 estão representados na Fig. 10.

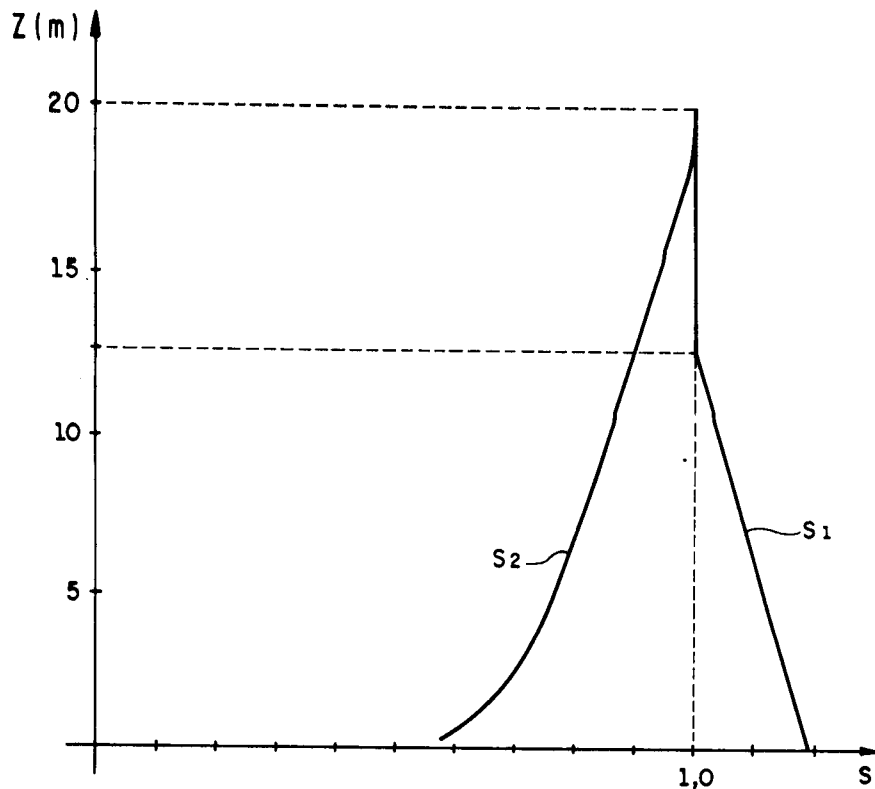


Fig. 10 - Fatores S_1 e S_2

10.3. Coeficiente de arrasto

Para as relações $l_1/l_2 = 2,0$ e $h/l_1 = 0,6667$ em vento de baixa turbulência, de acordo com o ábaco da Figura 2:

$$C_a = 1,25.$$

10.4. Cálculo das forças

A força atuante no andar é conhecida através da expressão 15.

$$F_v = C_R \times 0,613 \times V_0^2 \times S_j^2 \times \int_{z_1}^{z_2} S_1^2 \cdot S_2^2 \cdot dA \quad (15)$$

onde:

dA = elemento infinitesimal de área,

z_1 e z_2 definidos na Fig. 1.

Por simplificação, o valor da integral, em (15) pode ser aproximada com um somatório de forças aplicadas em intervalos menores; para maior precisão, as forças são calculadas, neste exemplo, em cada quarto de andar. Os somatórios e as forças totais em cada andar estão apresentados na tabela 4.

TABELA 4 - Cálculo das ações

Z (m)	S ₁	S ₂	V _k (m/s)	q (kN/m ²)	F (kN)
1,50	1,16838	0,65714	23,034		
2,25	1,15690	0,69130	23,993		
3,00	1,14542	0,71661	24,624	0,367	41,34
3,75	1,13394	0,73688	25,067		
4,50	1,12246	0,75387	25,386		
5,225	1,11136	0,76808	25,608		
5,95	1,10026	0,78066	25,768	0,406	44,14
6,675	1,08916	0,79196	25,877		
7,40	1,07806	0,80223	25,946		
8,10	1,06734	0,81134	25,979		
8,80	1,05662	0,82032	26,003	0,416	43,68
9,50	1,04590	0,83266	26,126		
10,20	1,03519	0,84500	26,242		
10,90	1,02447	0,85734	26,350		
11,60	1,01375	0,86969	26,449	0,429	45,10
12,30	1,00304	0,88203	26,541		
13,00	1,00000	0,89437	26,831		
13,70	1,00000	0,90671	27,201		
14,40	1,00000	0,91906	27,572	0,466	48,94
15,10	1,00000	0,93140	27,942		
15,80	1,00000	0,94374	28,3122		
16,50	1,00000	0,95608	28,682		
17,20	1,00000	0,96843	29,053	0,516	54,16
17,90	1,00000	0,97927	29,378		
18,60	1,00000	0,98322	29,497		
18,95	1,00000	0,98515	29,555		
19,30	1,00000	0,98705	29,612		
19,65	1,00000	0,98891	29,667		
20,00	1,00000	0,99074	29,722	0,537	28,22

APÊNDICE - B REAÇÕES DE APOIO DAS LAJES

A NBR-6118^[11] trata as reações de apoio das lajes retangulares, com carregamento uniforme, como cargas correspondentes às áreas adjacentes a cada apoio como mostra a Fig. 1.

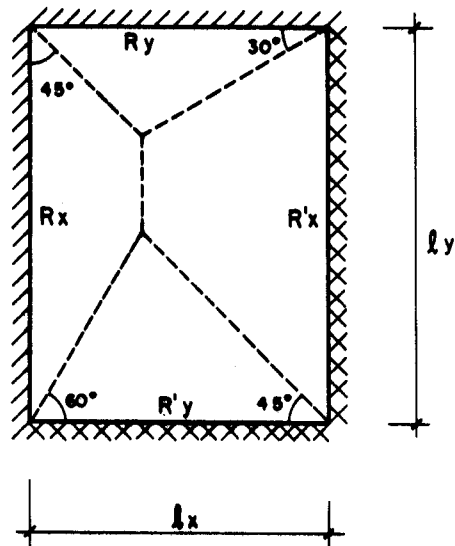


Fig. 1 - Reações de apoio segundo NBR-6118

Para os vértices de dois apoios do mesmo tipo, o ângulo formado é de 45° e, para os vértices de apoios de tipos diferentes, o ângulo adjacente ao engaste é 60° , enquanto o ângulo adjacente ao lado simplesmente apoiado é 30° .

Analisando a Fig. 1, vê-se que, para um aumento qualquer da dimensão da laje na direção Y , não há

influência no valor das áreas dos triângulos e, portanto, nas reações R_y e R'_y .

Através do cálculo elástico e do método dos elementos finitos, foram elaboradas as tabelas de 3 a 11, para as reações de apoio.

As lajes, aqui estudadas, têm relação entre lados que varia de 1,0 a 5,0, em trinta valores diferentes, para os nove casos a seguir:

- caso 1 : todas as bordas apoiadas;
- caso 2A : uma borda menor engastada apenas;
- caso 2B : uma borda maior engastada apenas;
- caso 3 : duas bordas adjacentes engastadas;
- caso 4A : duas bordas menores engastadas;
- caso 4B : duas bordas maiores engastadas;
- caso 5A : uma borda maior apoiada apenas;
- caso 5B : uma borda menor apoiada apenas;
- caso 6 : todas as bordas engastadas.

Neste programa, foi utilizado o elemento retangular, não conforme, com função aproximadora de terceiro grau para os deslocamentos verticais w , como mostrado na Fig. 2.

$$w = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot x + \alpha_3 \cdot y + \alpha_4 \cdot x^2 + \alpha_5 \cdot x \cdot y + \alpha_6 \cdot y^2 + \alpha_7 \cdot x^3 + \alpha_8 \cdot x^2 \cdot y + \alpha_9 \cdot x \cdot y^2 + \alpha_{10} \cdot y^3 + \alpha_{11} \cdot x^3 \cdot y + \alpha_{12} \cdot x \cdot y^3$$

Os deslocamentos calculados são as rotações em torno de x e y e translação em z , de acordo com a Fig. 2.

O carregamento é uniformemente distribuído.

Utilizar o método dos elementos finitos, para o cálculo dessas reações, seria penoso e demorado, ao passo que, com o emprego das tabelas, para os casos em que a relação $r = l_y / l_x$ está compreendida entre 1,0 e 5,0, torna acessível o emprego do método.

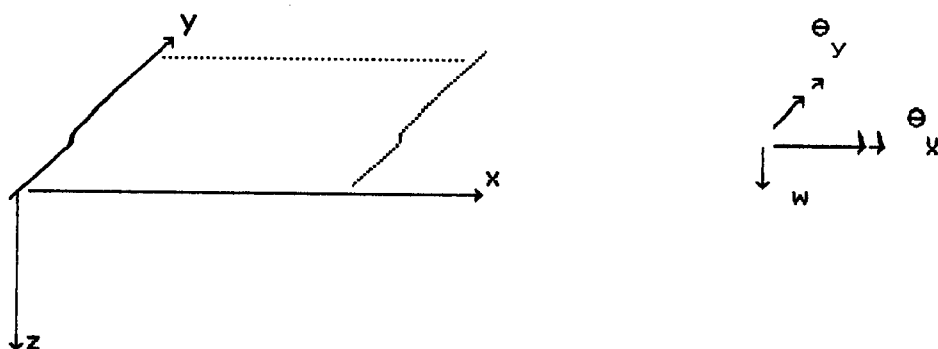


Fig. 2 - Coordenadas deslocamentos dos nós da laje.

O objetivo neste apêndice é apresentar funções aproximadoras para essas reações, dentro daquele intervalo, para viabilizar o emprego do método em programas de computador, tendo em vista a diminuição do tempo de processamento sem perda significativa da precisão.

Adotando sempre l_y maior que l_x e as reações R_x , R'_x , R_y e R'_y de acordo com a Fig. 1, os fatores apresentados nas tabelas devem ser multiplicados por $\frac{p \cdot l_x}{10}$, para obter-se as reações médias, onde p é a carga uniformemente distribuída.

São apresentadas três colunas para cada reação: a primeira corresponde ao valor médio encontrado com o método dos elementos finitos (E.F.); a segunda corresponde ao valor calculado com a função aproximadora e a terceira ao erro percentual entre as duas primeiras.

Para as reações do tipo X , (R_x e R'_x), são adotadas duas funções polinomiais de 3º grau. A primeira (I) é válida para o intervalo $1 \leq r \leq 2$, enquanto que a segunda (II) é válida para $2 \leq r \leq 5$. A tabela 1 apresenta os coeficientes a , b , c e d , para as funções do tipo $R_x = a \cdot r^3 + b \cdot r^2 + c \cdot r + d$.

No primeiro intervalo (I), foram sempre tomadas as relações $r_1 = 1,00$, $r_2 = 1,25$, $r_3 = 1,5$ e $r_4 = 2,00$, com os valores respectivos de $f(r_1)$, $f(r_2)$, $f(r_3)$ e $f(r_4)$.

Assim, é obtido o seguinte sistema de equações:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1,953125 & 1,5625 & 1,25 & 1 \\ 3,375 & 2,25 & 1,5 & 1 \\ 8 & 4 & 2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(r_1) \\ f(r_2) \\ f(r_3) \\ f(r_4) \end{Bmatrix}$$

resultando:

$$\begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -8 & 64/3 & -16 & 8/3 \\ 38 & -96 & 68 & -10 \\ -59 & 416/3 & -92 & 37/3 \\ 30 & -64 & 40 & -5 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} f(r_1) \\ f(r_2) \\ f(r_3) \\ f(r_4) \end{Bmatrix}$$

No segundo intervalo (II), foram sempre tomadas as relações $r_1 = 2,00$, $r_2 = 2,60$, $r_3 = 3,50$ e $r_4 = 5,00$.

Assim:

$$\begin{bmatrix} 8 & 4 & 2 & 1 \\ 17,576 & 6,76 & 2,6 & 1 \\ 42,875 & 12,25 & 3,5 & 1 \\ 125 & 25 & 5 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(r_1) \\ f(r_2) \\ f(r_3) \\ f(r_4) \end{Bmatrix}$$

resultando:

$$\begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,3704 & 0,7716 & -0,4938 & 0,0926 \\ 4,1111 & -8,1018 & 4,7407 & -0,7500 \\ -44/3 & 26,6204 & -13,9259 & 1,9722 \\ 16,8519 & -27,0062 & 12,8395 & -1,6852 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} f(r_1) \\ f(r_2) \\ f(r_3) \\ f(r_4) \end{Bmatrix}$$

Para as reações do tipo Y, (Ry e $R'y$), são adotadas funções exponenciais do tipo $Ry = e + \frac{f}{g^r}$, onde r é a relação l_y/l_x . A tabela 2 apresenta os coeficientes e , f e g , para as funções dos tipos Ry e $R'y$.

Na construção dessas funções, foram tomadas três relações: $r_1 = 1,00$, $r_2 = 1,25$ e $r_3 = 5,00$. Em alguns casos, a relação intermediária, r_2 , foi adotada igual a 1,50, para adaptar melhor a função. O valor de $f(r_3)$ assume, aqui, o mesmo valor da função no infinito. Assim, as três equações das incógnitas e , f e g ficam:

$$e + \frac{f}{g} = f(r_1)$$

$$e + \frac{f}{g r_2} = f(r_2)$$

$$e = f(r_3)$$

resultando:

$$e = f(r_3)$$

$$g = \left[\frac{f(r_2) - f(r_3)}{f(r_1) - f(r_3)} \right]^{\frac{1}{1-r_2}}$$

$$f = [f(r_1) - f(r_3)] \cdot g$$

TABELA 1 - Coeficientes para Rx e R'x

Tipo Laje	Reação	Int.	a	b	c	d
1	Rx	I	0,1955	-1,4770	4,2148	-0,4332
		II	0,0284	-0,3753	1,7855	1,3541
2A	Rx	I	-0,0122	-0,3895	2,5771	-0,4114
		II	0,0368	-0,4918	2,3885	-0,0164
2B	Rx	I	0,3011	-1,8354	4,1079	-0,2227
		II	0,0154	-0,2012	0,9458	1,8506
	R'x	I	0,5934	-3,4652	7,3450	-0,3523
		II	0,0230	-0,3000	1,4094	3,4220
3	Rx	I	0,2079	-1,4568	3,8696	-0,8699
		II	0,0232	-0,3038	1,4296	0,8752
	R'x	I	0,4805	-3,0837	7,3749	-1,5226
		II	0,0339	-0,4432	2,0820	2,0739
4A	Rx	I	-0,1664	0,6153	0,6128	0,1882
		II	0,0399	-0,5498	2,7759	-1,1280
4B	R'x	I	0,4605	-2,5680	5,1307	0,7268
		II	0,0131	-0,1716	0,8108	3,3610
5A	Rx	I	-0,0405	-0,2000	1,9542	-0,4334
		II	0,0304	-0,3992	1,8877	-0,0706
	R'x	I	0,1219	-1,3630	4,9507	-1,1751
		II	0,0444	-0,5805	2,7335	0,7498
5B	R'x	I	0,5820	-3,3263	6,8866	-1,0498
		II	0,0204	-0,2667	1,2580	2,4625
6	R'x	I	0,4444	-2,7922	6,5135	-1,6657
		II	0,0278	-0,3635	1,7113	1,5568

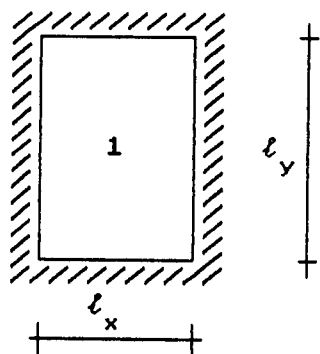
TABELA 2 - Coeficientes para Ry e R'y.

Tipo Laje	Reação	e	f	g
1	Ry	2,7051	- 5,1650	25,1788
2A	Ry	2,7051	- 6,3785	18,0083
	R'y	5,0305	- 10,8648	11,9462
2B	Ry	1,7128	0,2866	5,5889
3	Ry	1,7128	0,1101	2,8914
	R'y	3,3972	- 21,5308	145,4155
4A	R'y	5,0304	- 9,8543	7,6968
4B	Ry	1,1990	4,2025	82,6654
5A	R'y	3,3972	- 18,2567	59,9156
5B	Ry	1,1990	2,6720	32,8297
	R'y	2,5033	0,2303	7,3776
6	R'y	2,50	0	-

REACOES EM LAJES

TIPO I

r	Rx			Ry		
	E.F.	Equacao	Erro(%)	E.F.	Equacao	Erro(%)
1.00	2.50	2.50	0.0	2.50	2.50	0.0
1.05	2.59	2.59	0.1	2.53	2.53	-0.1
1.10	2.68	2.68	-0.1	2.55	2.56	0.1
1.15	2.76	2.76	0.0	2.58	2.58	0.0
1.20	2.84	2.84	-0.1	2.59	2.60	0.1
1.25	2.91	2.91	0.0	2.61	2.61	0.0
1.30	2.98	2.98	-0.1	2.62	2.63	0.1
1.35	3.05	3.05	0.0	2.64	2.64	0.0
1.40	3.11	3.11	0.0	2.65	2.65	0.1
1.45	3.17	3.17	0.0	2.66	2.66	0.0
1.50	3.23	3.23	0.0	2.66	2.66	0.1
1.60	3.33	3.33	0.0	2.67	2.68	0.1
1.70	3.42	3.42	0.0	2.68	2.68	0.1
1.80	3.51	3.51	0.0	2.69	2.69	0.0
1.90	3.58	3.58	0.0	2.69	2.69	0.0
2.00	3.65	3.65	0.0	2.70	2.70	0.0
2.20	3.77	3.77	-0.1	2.70	2.70	0.0
2.40	3.87	3.87	-0.1	2.70	2.70	0.0
2.50	3.92	3.92	-0.1	2.70	2.70	0.0
2.60	3.96	3.96	0.0	2.70	2.70	0.0
2.80	4.03	4.04	0.0	2.70	2.70	0.0
3.00	4.10	4.10	0.0	2.70	2.70	0.0
3.20	4.15	4.16	0.0	2.70	2.70	0.0
3.40	4.20	4.20	0.0	2.71	2.71	0.0
3.50	4.23	4.22	-0.1	2.71	2.71	0.0
3.60	4.25	4.24	-0.1	2.71	2.71	0.0
3.80	4.29	4.28	-0.2	2.71	2.71	0.0
4.00	4.32	4.31	-0.3	2.71	2.71	0.0
4.50	4.40	4.38	-0.5	2.71	2.71	0.0
5.00	4.46	4.45	-0.2	2.71	2.71	0.0



(I)

$$X_m = 0,1955.r^3 - 1,4770.r^2 + 4,2148.r - 0,4332$$

(II)

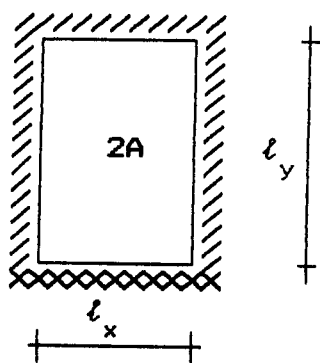
$$X_m = 0,0284.r^3 - 0,3753.r^2 + 1,7855.r + 1,3541$$

$$Y_m = 2,7051 - \frac{5,1650}{25,1788r}$$

REACOES EM LAJES

TIPO 2A

r	Rx			Ry			R'y		
	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)
1.00	1.76	1.76	0.0	2.35	2.35	0.0	4.12	4.12	0.0
1.05	1.85	1.85	0.0	2.40	2.40	0.0	4.21	4.23	0.4
1.10	1.93	1.94	0.1	2.44	2.44	0.1	4.31	4.32	0.2
1.15	2.02	2.02	0.0	2.48	2.48	0.0	4.38	4.40	0.5
1.20	2.10	2.10	0.1	2.50	2.51	0.1	4.47	4.48	0.3
1.25	2.18	2.18	0.0	2.53	2.53	0.0	4.52	4.54	0.4
1.30	2.25	2.25	0.1	2.55	2.56	0.1	4.59	4.60	0.2
1.35	2.33	2.33	0.0	2.58	2.58	0.0	4.63	4.65	0.3
1.40	2.40	2.40	0.0	2.59	2.59	0.0	4.69	4.69	0.1
1.45	2.47	2.47	-0.1	2.61	2.61	-0.1	4.72	4.73	0.2
1.50	2.54	2.54	0.0	2.62	2.62	0.0	4.77	4.77	0.0
1.60	2.66	2.67	0.0	2.64	2.64	-0.1	4.83	4.83	-0.1
1.70	2.78	2.78	0.0	2.66	2.66	-0.1	4.88	4.87	-0.1
1.80	2.89	2.89	0.0	2.67	2.67	-0.1	4.91	4.91	-0.1
1.90	2.99	3.00	0.0	2.68	2.68	-0.1	4.94	4.93	-0.2
2.00	3.09	3.09	0.0	2.69	2.69	-0.1	4.96	4.95	-0.2
2.20	3.25	3.25	-0.1	2.70	2.69	-0.1	4.99	4.98	-0.1
2.40	3.39	3.39	-0.1	2.70	2.70	0.0	5.01	5.00	-0.1
2.50	3.46	3.46	0.0	2.70	2.70	0.0	5.01	5.01	-0.1
2.60	3.52	3.52	0.0	2.70	2.70	0.0	5.02	5.01	-0.1
2.80	3.62	3.62	0.1	2.70	2.70	0.0	5.02	5.02	-0.1
3.00	3.71	3.72	0.1	2.70	2.70	0.0	5.03	5.02	0.0
3.20	3.79	3.80	0.1	2.70	2.70	0.0	5.03	5.03	0.0
3.40	3.86	3.86	0.0	2.70	2.70	0.0	5.03	5.03	0.0
3.50	3.90	3.90	0.0	2.71	2.70	0.0	5.03	5.03	0.0
3.60	3.93	3.92	0.0	2.71	2.70	0.0	5.03	5.03	0.0
3.80	3.98	3.98	-0.2	2.71	2.71	0.0	5.03	5.03	0.0
4.00	4.03	4.02	-0.3	2.71	2.71	0.0	5.03	5.03	0.0
4.50	4.14	4.12	-0.4	2.71	2.71	0.0	5.03	5.03	0.0
5.00	4.23	4.23	0.0	2.71	2.71	0.0	5.03	5.03	0.0



$$(I) \quad X_m = -0,0122.r^3 - 0,3895.r^2 + 2,5771.r - 0,4114$$

$$(II) \quad X_m = 0,0368.r^3 - 0,4918.r^2 + 2,3885.r - 0,0164$$

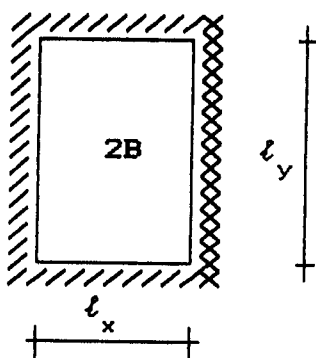
$$Y_m = 2,7051 - \frac{6,3785}{18,0083r}$$

$$Y'_m = 5,0305 - \frac{10,8648}{11,9462r}$$

REAÇÕES EM LAJES

TIPO 2B

r	Rx			R'x			Ry		
	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)
1.00	2.35	2.35	0.0	4.12	4.12	0.0	1.76	1.76	0.0
1.05	2.41	2.42	0.1	4.23	4.23	0.0	1.76	1.76	-0.2
1.10	2.48	2.48	-0.1	4.33	4.32	-0.1	1.76	1.76	0.0
1.15	2.53	2.53	0.0	4.42	4.41	0.0	1.76	1.75	-0.1
1.20	2.59	2.58	-0.1	4.50	4.50	-0.1	1.75	1.75	0.1
1.25	2.63	2.63	0.0	4.57	4.57	0.0	1.75	1.75	0.0
1.30	2.68	2.68	-0.1	4.65	4.64	0.0	1.74	1.74	0.2
1.35	2.72	2.72	0.0	4.71	4.71	0.0	1.74	1.74	0.1
1.40	2.76	2.76	0.0	4.77	4.77	0.0	1.73	1.74	0.3
1.45	2.79	2.79	0.0	4.82	4.82	0.0	1.73	1.74	0.3
1.50	2.83	2.83	0.0	4.87	4.87	0.0	1.73	1.73	0.4
1.60	2.89	2.88	0.0	4.96	4.96	0.0	1.72	1.73	0.5
1.70	2.94	2.94	0.0	5.04	5.04	-0.1	1.72	1.73	0.5
1.80	2.98	2.98	-0.1	5.11	5.10	-0.1	1.72	1.73	0.5
1.90	3.02	3.02	-0.1	5.17	5.16	-0.1	1.72	1.72	0.5
2.00	3.06	3.06	0.0	5.22	5.22	0.0	1.71	1.72	0.4
2.20	3.12	3.12	-0.1	5.32	5.32	-0.1	1.71	1.72	0.3
2.40	3.18	3.17	0.0	5.40	5.39	0.0	1.71	1.72	0.3
2.50	3.20	3.20	0.0	5.43	5.43	0.0	1.71	1.72	0.2
2.60	3.22	3.22	0.0	5.46	5.46	0.0	1.71	1.72	0.2
2.80	3.26	3.26	0.0	5.52	5.52	0.0	1.71	1.72	0.1
3.00	3.29	3.29	0.1	5.57	5.57	0.1	1.71	1.71	0.1
3.20	3.32	3.32	0.1	5.61	5.61	0.1	1.71	1.71	0.1
3.40	3.34	3.35	0.0	5.65	5.65	0.0	1.71	1.71	0.0
3.50	3.36	3.36	0.0	5.66	5.66	0.0	1.71	1.71	0.0
3.60	3.37	3.37	0.0	5.68	5.68	0.0	1.71	1.71	0.0
3.80	3.39	3.38	-0.1	5.71	5.71	-0.1	1.71	1.71	0.0
4.00	3.41	3.40	-0.2	5.74	5.73	-0.1	1.71	1.71	0.0
4.50	3.44	3.44	-0.2	5.79	5.78	-0.2	1.71	1.71	0.0
5.00	3.47	3.47	0.0	5.84	5.84	0.0	1.71	1.71	0.0

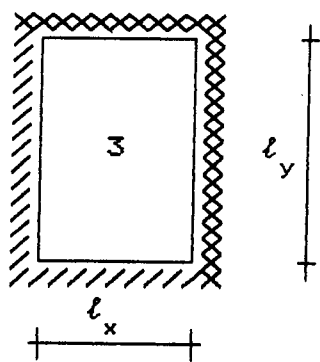


$$\begin{aligned}
 \text{(I)} \quad X_m &= 0,3011.r^3 - 1,8354.r^2 + 4,1079.r - 0,2227 \\
 \text{(II)} \quad X_m &= 0,0154.r^3 - 0,2012.r^2 + 0,9458.r + 1,8506 \\
 \text{(I)} \quad X'_m &= 0,5934.r^3 - 3,4652.r^2 + 7,3450.r - 0,3523 \\
 \text{(II)} \quad X'_m &= 0,0230.r^3 - 0,3000.r^2 + 1,4094.r + 3,4220 \\
 Y_m &= 1,7128 + \frac{0,2866}{5,5889r}
 \end{aligned}$$

REAÇÕES EM LAJES

TIPO 3

r	Rx			R'x			Ry			R'y		
	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)
1.00	1.75	1.75	0.0	3.25	3.25	0.0	1.75	1.75	0.0	3.25	3.25	0.0
1.05	1.83	1.83	0.0	3.38	3.38	0.0	1.76	1.75	-0.5	3.28	3.28	0.2
1.10	1.90	1.90	0.1	3.50	3.50	0.0	1.76	1.75	-0.5	3.31	3.31	0.0
1.15	1.97	1.97	0.0	3.61	3.61	0.0	1.76	1.75	-0.7	3.32	3.33	0.1
1.20	2.03	2.04	0.1	3.72	3.72	0.0	1.75	1.74	-0.6	3.35	3.34	-0.1
1.25	2.10	2.10	0.0	3.82	3.82	0.0	1.75	1.74	-0.7	3.35	3.35	0.0
1.30	2.15	2.16	0.1	3.91	3.91	0.0	1.75	1.74	-0.4	3.37	3.36	-0.2
1.35	2.21	2.21	0.0	4.00	4.00	0.0	1.75	1.74	-0.5	3.37	3.37	-0.1
1.40	2.26	2.26	0.0	4.08	4.08	0.0	1.74	1.74	-0.2	3.38	3.38	-0.2
1.45	2.31	2.31	-0.1	4.15	4.15	0.0	1.74	1.74	-0.2	3.38	3.38	-0.1
1.50	2.36	2.36	0.0	4.22	4.22	0.0	1.74	1.74	0.0	3.39	3.38	-0.2
1.60	2.44	2.44	0.0	4.35	4.35	0.0	1.73	1.73	0.2	3.40	3.39	-0.2
1.70	2.52	2.52	0.0	4.47	4.46	0.0	1.73	1.73	0.3	3.40	3.39	-0.2
1.80	2.59	2.59	0.0	4.57	4.56	-0.1	1.72	1.73	0.4	3.40	3.39	-0.2
1.90	2.65	2.65	0.0	4.66	4.65	-0.1	1.72	1.73	0.5	3.40	3.40	-0.1
2.00	2.71	2.71	0.0	4.74	4.74	0.0	1.72	1.73	0.5	3.40	3.40	-0.1
2.20	2.80	2.80	-0.1	4.88	4.87	-0.1	1.71	1.72	0.5	3.40	3.40	-0.1
2.40	2.88	2.88	-0.1	4.99	4.99	-0.1	1.71	1.72	0.5	3.40	3.40	0.0
2.50	2.91	2.91	0.0	5.04	5.04	0.0	1.71	1.72	0.4	3.40	3.40	0.0
2.60	2.95	2.95	0.0	5.09	5.09	0.0	1.71	1.72	0.4	3.40	3.40	0.0
2.80	3.00	3.01	0.1	5.17	5.17	0.1	1.71	1.72	0.3	3.40	3.40	0.0
3.00	3.05	3.06	0.1	5.24	5.25	0.1	1.71	1.72	0.3	3.40	3.40	0.0
3.20	3.10	3.10	0.1	5.31	5.31	0.1	1.71	1.72	0.2	3.40	3.40	0.0
3.40	3.14	3.14	0.0	5.36	5.36	0.0	1.71	1.72	0.2	3.40	3.40	0.0
3.50	3.15	3.15	0.0	5.39	5.39	0.0	1.71	1.72	0.2	3.40	3.40	0.0
3.60	3.17	3.17	0.0	5.41	5.41	0.0	1.71	1.72	0.1	3.40	3.40	0.0
3.80	3.20	3.20	-0.1	5.45	5.45	-0.1	1.71	1.71	0.1	3.40	3.40	0.0
4.00	3.23	3.22	-0.3	5.49	5.48	-0.2	1.71	1.71	0.1	3.40	3.40	0.0
4.50	3.29	3.27	-0.4	5.58	5.56	-0.3	1.71	1.71	0.1	3.40	3.40	0.0
5.00	3.33	3.33	0.0	5.65	5.65	0.0	1.71	1.71	0.0	3.40	3.40	0.0



(I) $X_m = 0,2079.r^3 - 1,4568.r^2 + 3,8696.r - 0,8699$

(II) $X_m = 0,0232.r^3 - 0,3038.r^2 + 1,4296.r + 0,8752$

(I) $X'_m = 0,4805.r^3 - 3,0837.r^2 + 7,3749.r - 1,5226$

(II) $X'_m = 0,0339.r^3 - 0,4432.r^2 + 2,0820.r + 2,0739$

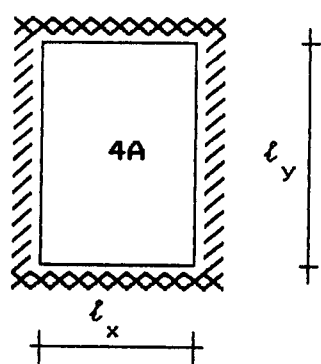
$Y_m = 1,7128 + \frac{0,1101}{2,8914r}$

$Y'_m = 3,3972 - \frac{21,5308}{145,4155r}$

REAÇÕES EM LAJES

TIPO 4A

r	Rx			R'y		
	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)
1.00	1.25	1.25	0.0	3.75	3.75	0.0
1.05	1.32	1.32	-0.3	3.86	3.87	0.3
1.10	1.38	1.39	0.4	3.98	3.99	0.1
1.15	1.45	1.45	0.0	4.08	4.09	0.2
1.20	1.52	1.52	0.4	4.18	4.18	0.0
1.25	1.59	1.59	0.0	4.26	4.26	0.0
1.30	1.65	1.66	0.3	4.35	4.34	-0.3
1.35	1.73	1.73	-0.1	4.42	4.40	-0.3
1.40	1.79	1.80	0.1	4.49	4.46	-0.6
1.45	1.87	1.86	-0.2	4.54	4.52	-0.5
1.50	1.93	1.93	0.0	4.60	4.57	-0.8
1.60	2.06	2.06	-0.1	4.70	4.65	-0.9
1.70	2.19	2.19	-0.1	4.77	4.72	-1.0
1.80	2.32	2.31	-0.1	4.83	4.78	-1.0
1.90	2.43	2.43	0.0	4.88	4.83	-1.0
2.00	2.54	2.54	0.0	4.91	4.86	-1.0
2.20	2.74	2.74	-0.1	4.96	4.92	-0.8
2.40	2.92	2.92	-0.1	4.99	4.96	-0.7
2.50	3.00	3.00	0.0	5.00	4.97	-0.6
2.60	3.07	3.07	0.0	5.01	4.98	-0.5
2.80	3.21	3.21	0.1	5.02	5.00	-0.4
3.00	3.33	3.33	0.1	5.02	5.01	-0.3
3.20	3.43	3.43	0.1	5.03	5.02	-0.2
3.40	3.52	3.52	0.0	5.03	5.02	-0.1
3.50	3.56	3.56	0.0	5.03	5.02	-0.1
3.60	3.60	3.60	0.0	5.03	5.02	-0.1
3.80	3.68	3.67	-0.2	5.03	5.03	-0.1
4.00	3.74	3.73	-0.3	5.03	5.03	0.0
4.50	3.88	3.87	-0.4	5.03	5.03	0.0
5.00	3.99	3.99	0.0	5.03	5.03	0.0



$$(I) \quad X_m = -0,1664 \cdot r^3 + 0,6153 \cdot r^2 + 0,6128 \cdot r + 0,1882$$

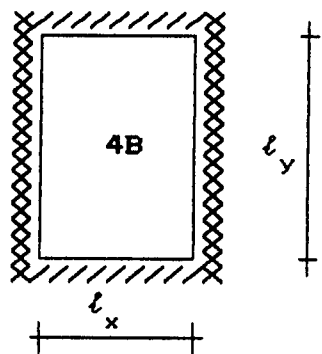
$$(II) \quad X_m = 0,0399 \cdot r^3 - 0,5498 \cdot r^2 + 2,7759 \cdot r - 1,1280$$

$$Y'_m = 5,0304 - \frac{9,8543}{7,6968r}$$

REAÇÕES EM LAJES

TIPO 4B

r	R'x			Ry		
	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)
1.00	3.75	3.75	0.0	1.25	1.25	0.0
1.05	3.82	3.82	0.0	1.24	1.24	-0.3
1.10	3.88	3.88	-0.1	1.23	1.23	0.1
1.15	3.93	3.93	0.0	1.23	1.23	-0.1
1.20	3.99	3.98	-0.1	1.22	1.22	0.2
1.25	4.03	4.03	0.0	1.22	1.22	0.0
1.30	4.07	4.07	0.0	1.21	1.21	0.3
1.35	4.10	4.11	0.0	1.21	1.21	0.1
1.40	4.14	4.14	0.0	1.20	1.21	0.3
1.45	4.17	4.17	0.1	1.20	1.21	0.1
1.50	4.20	4.20	0.0	1.20	1.20	0.3
1.60	4.25	4.25	0.0	1.20	1.20	0.3
1.70	4.29	4.29	-0.1	1.20	1.20	0.2
1.80	4.33	4.33	-0.1	1.20	1.20	0.2
1.90	4.37	4.36	-0.1	1.20	1.20	0.1
2.00	4.40	4.40	0.0	1.20	1.20	0.1
2.20	4.46	4.45	0.0	1.20	1.20	0.0
2.40	4.50	4.50	0.0	1.20	1.20	0.0
2.50	4.52	4.52	0.0	1.20	1.20	0.0
2.60	4.54	4.54	0.0	1.20	1.20	0.0
2.80	4.57	4.57	0.0	1.20	1.20	0.0
3.00	4.60	4.60	0.0	1.20	1.20	0.0
3.20	4.63	4.63	0.0	1.20	1.20	0.0
3.40	4.65	4.65	0.0	1.20	1.20	0.0
3.50	4.66	4.66	0.0	1.20	1.20	0.0
3.60	4.67	4.67	0.0	1.20	1.20	0.0
3.80	4.68	4.68	-0.1	1.20	1.20	0.0
4.00	4.70	4.70	-0.1	1.20	1.20	0.0
4.50	4.73	4.73	-0.1	1.20	1.20	0.0
5.00	4.76	4.76	0.0	1.20	1.20	0.0



$$(I) \quad X'm = 0,4605.r^3 - 2,5680.r^2 + 5,1307.r + 0,7268$$

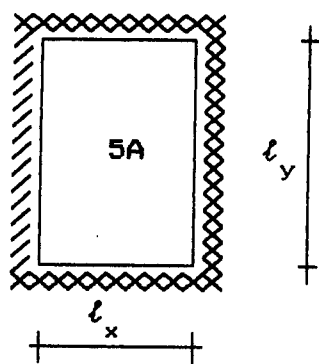
$$(II) \quad X'm = 0,0131.r^3 - 0,1716.r^2 + 0,8108.r + 3,3610$$

$$Ym = 1,1990 + \frac{4,2025}{82,6654r}$$

REACOES EM LAJES

TIPO 5A

r	Rx			R'x			R'y		
	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)
1.00	1.28	1.28	0.0	2.53	2.53	0.0	3.09	3.09	0.0
1.05	1.35	1.35	-0.2	2.66	2.66	0.0	3.14	3.15	0.2
1.10	1.41	1.42	0.4	2.78	2.78	0.1	3.19	3.19	0.1
1.15	1.49	1.49	0.0	2.90	2.90	0.0	3.23	3.23	0.1
1.20	1.55	1.55	0.4	3.01	3.01	0.1	3.27	3.26	-0.1
1.25	1.62	1.62	0.0	3.12	3.12	0.0	3.29	3.29	0.0
1.30	1.68	1.68	0.2	3.22	3.23	0.0	3.31	3.31	-0.2
1.35	1.74	1.74	-0.1	3.33	3.32	0.0	3.33	3.32	-0.1
1.40	1.80	1.80	0.1	3.42	3.42	0.0	3.35	3.34	-0.3
1.45	1.86	1.86	-0.2	3.51	3.51	-0.1	3.36	3.35	-0.2
1.50	1.91	1.91	0.0	3.60	3.60	0.0	3.37	3.36	-0.3
1.60	2.02	2.02	0.0	3.76	3.76	0.0	3.38	3.37	-0.4
1.70	2.11	2.11	0.0	3.90	3.90	0.1	3.39	3.38	-0.3
1.80	2.20	2.20	0.0	4.03	4.03	0.1	3.40	3.39	-0.3
1.90	2.28	2.28	0.1	4.14	4.15	0.1	3.40	3.39	-0.2
2.00	2.35	2.35	0.0	4.25	4.25	0.0	3.40	3.39	-0.2
2.20	2.48	2.47	-0.1	4.43	4.43	-0.1	3.40	3.39	-0.1
2.40	2.58	2.58	-0.1	4.58	4.58	-0.1	3.40	3.40	-0.1
2.50	2.63	2.63	-0.1	4.65	4.65	0.0	3.40	3.40	0.0
2.60	2.67	2.67	0.0	4.71	4.71	0.0	3.40	3.40	0.0
2.80	2.75	2.75	0.1	4.82	4.83	0.1	3.40	3.40	0.0
3.00	2.82	2.82	0.1	4.92	4.92	0.1	3.40	3.40	0.0
3.20	2.88	2.88	0.1	5.00	5.01	0.1	3.40	3.40	0.0
3.40	2.93	2.93	0.1	5.07	5.08	0.0	3.40	3.40	0.0
3.50	2.95	2.95	0.0	5.11	5.11	0.0	3.40	3.40	0.0
3.60	2.97	2.97	-0.1	5.14	5.14	-0.1	3.40	3.40	0.0
3.80	3.01	3.01	-0.2	5.20	5.19	-0.2	3.40	3.40	0.0
4.00	3.05	3.04	-0.3	5.25	5.24	-0.3	3.40	3.40	0.0
4.50	3.13	3.11	-0.5	5.36	5.34	-0.4	3.40	3.40	0.0
5.00	3.19	3.19	0.0	5.45	5.45	0.0	3.40	3.40	0.0



$$(I) \quad X_m = -0,0405 \cdot r^3 - 0,2000 \cdot r^2 + 1,9542 \cdot r - 0,4334$$

$$(II) \quad X_m = 0,0304 \cdot r^3 - 0,3992 \cdot r^2 + 1,8877 \cdot r - 0,0706$$

$$(I) \quad X'_m = 0,1219 \cdot r^3 - 1,3630 \cdot r^2 + 4,9507 \cdot r - 1,1751$$

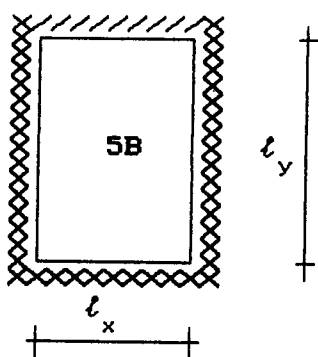
$$(II) \quad X'_m = 0,0444 \cdot r^3 - 0,5805 \cdot r^2 + 2,7335 \cdot r + 0,7498$$

$$Y'_m = 3,3972 - \frac{18,2567}{59,9156 r}$$

REAÇÕES EM LAJES

TIPO 5B

r	R'x			Ry			R'y		
	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)
1.00	3.09	3.09	0.0	1.28	1.28	0.0	2.53	2.53	0.0
1.05	3.19	3.19	0.0	1.27	1.27	-0.4	2.53	2.53	0.0
1.10	3.28	3.28	-0.1	1.26	1.26	0.0	2.53	2.53	-0.2
1.15	3.36	3.36	0.0	1.25	1.25	-0.2	2.53	2.53	-0.1
1.20	3.43	3.43	0.0	1.24	1.24	0.1	2.53	2.52	-0.1
1.25	3.50	3.50	0.0	1.23	1.23	0.0	2.52	2.52	0.0
1.30	3.56	3.56	0.0	1.22	1.23	0.3	2.52	2.52	-0.1
1.35	3.62	3.62	0.0	1.22	1.22	0.2	2.52	2.52	0.1
1.40	3.67	3.67	0.0	1.21	1.22	0.5	2.52	2.52	0.0
1.45	3.72	3.72	0.0	1.21	1.22	0.3	2.51	2.52	0.2
1.50	3.76	3.76	0.0	1.21	1.21	0.5	2.51	2.51	0.1
1.60	3.84	3.84	-0.1	1.20	1.21	0.5	2.51	2.51	0.2
1.70	3.91	3.90	-0.1	1.20	1.21	0.4	2.51	2.51	0.2
1.80	3.97	3.96	-0.2	1.20	1.20	0.4	2.51	2.51	0.2
1.90	4.03	4.02	-0.2	1.20	1.20	0.3	2.50	2.51	0.2
2.00	4.07	4.07	0.0	1.20	1.20	0.2	2.50	2.51	0.2
2.20	4.16	4.16	-0.1	1.20	1.20	0.1	2.50	2.51	0.1
2.40	4.23	4.23	0.0	1.20	1.20	0.1	2.50	2.51	0.1
2.50	4.26	4.26	0.0	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.1
2.60	4.29	4.29	0.0	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.1
2.80	4.34	4.34	0.0	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
3.00	4.38	4.39	0.1	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
3.20	4.42	4.42	0.1	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
3.40	4.46	4.46	0.0	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
3.50	4.47	4.47	0.0	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
3.60	4.49	4.48	0.0	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
3.80	4.51	4.51	-0.1	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
4.00	4.54	4.53	-0.2	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
4.50	4.59	4.58	-0.2	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0
5.00	4.63	4.63	0.0	1.20	1.20	0.0	2.50	2.50	0.0



$$(I) \quad X'm = 0,5820 \cdot r^3 - 3,3263 \cdot r^2 + 6,8866 \cdot r - 1,0498$$

$$(II) \quad X'm = 0,0204 \cdot r^3 - 0,2667 \cdot r^2 + 1,2580 \cdot r + 2,4625$$

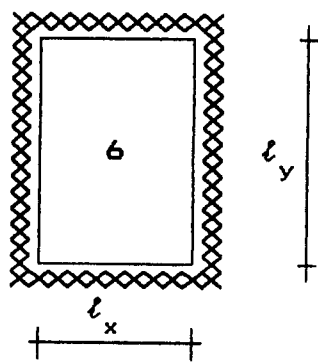
$$Y_m = 1,1990 + \frac{2,6720}{32,8297^r}$$

$$Y'm = 2,5033 + \frac{0,2303}{7,3776^r}$$

REAÇÕES EM LAJES

TIPO 6

r	R'x			R'y		
	E.F.	Funcao	Erro(%)	E.F.	Funcao	Erro(%)
1.00	2.50	2.50	0.0	2.50	2.50	0.0
1.05	2.61	2.61	0.0	2.51	2.50	-0.4
1.10	2.71	2.71	0.1	2.52	2.50	-0.8
1.15	2.81	2.81	0.0	2.52	2.50	-0.8
1.20	2.90	2.90	0.1	2.53	2.50	-1.0
1.25	2.98	2.98	0.0	2.52	2.50	-0.9
1.30	3.06	3.06	0.1	2.53	2.50	-1.0
1.35	3.13	3.13	0.0	2.52	2.50	-0.8
1.40	3.20	3.20	0.0	2.52	2.50	-0.8
1.45	3.26	3.26	0.0	2.52	2.50	-0.7
1.50	3.32	3.32	0.0	2.52	2.50	-0.7
1.60	3.43	3.43	0.0	2.51	2.50	-0.5
1.70	3.52	3.52	-0.1	2.51	2.50	-0.4
1.80	3.61	3.60	-0.1	2.51	2.50	-0.3
1.90	3.68	3.68	-0.1	2.51	2.50	-0.2
2.00	3.75	3.75	0.0	2.50	2.50	-0.2
2.20	3.86	3.86	-0.1	2.50	2.50	-0.1
2.40	3.96	3.95	-0.1	2.50	2.50	-0.1
2.50	4.00	4.00	0.0	2.50	2.50	-0.1
2.60	4.04	4.04	0.0	2.50	2.50	-0.1
2.80	4.11	4.11	0.1	2.50	2.50	-0.1
3.00	4.17	4.17	0.1	2.50	2.50	-0.1
3.20	4.22	4.22	0.1	2.50	2.50	-0.1
3.40	4.26	4.27	0.0	2.50	2.50	-0.1
3.50	4.28	4.28	0.0	2.50	2.50	-0.1
3.60	4.30	4.30	0.0	2.50	2.50	-0.1
3.80	4.34	4.34	-0.1	2.50	2.50	-0.1
4.00	4.37	4.36	-0.2	2.50	2.50	-0.1
4.50	4.44	4.43	-0.3	2.50	2.50	-0.1
5.00	4.50	4.50	0.0	2.50	2.50	-0.1



$$(I) \quad X'm = 0,4444.r^3 - 2,7922.r^2 + 6,5135.r - 1,6657$$

$$(II) \quad X'm = 0,0278.r^3 - 0,3635.r^2 + 1,7113.r + 1,5568$$

$$Y'm = 2,50$$