

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

SOBRE A RACIONALIZAÇÃO E A AUTOMAÇÃO DO CÁLCULO
DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO

ENG. ADMILSON APARECIDO BORTOLIN

Orientador : Prof. Dr. Wilson Sérgio Venturini

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.

COMISSÃO EXAMINADORA :

Prof. Assoc. Wilson Sérgio Venturini - Orientador - (EESC)
Prof. Dr. Walter Abraão Nimir - (EESC)
Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho - (UFSCAR)

SUPLENTE :

Prof. Dr. Márcio Antonio Ramalho - (EESC)
Prof. Assoc. José Henrique Albieiro - (EESC)

SÃO CARLOS
OUTUBRO, 1991

Aos meus pais,
Oswaldo e Maria José,
e ao meu sobrinho,
Renatinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço

ao Prof. Dr. Wilson Sérgio Venturini, pela orientação dada ao longo do trabalho.

ao amigo Prof. Márcio Roberto Silva Corrêa, pelo apoio, incentivo e contribuições dadas no transcorrer do trabalho.

à CNPq. , pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

As estruturas de concreto armado para edifícios de múltiplos pavimentos não são, em geral, as grandes responsáveis pela oneração das obras. Representam apenas uma parcela do custo total das edificações. Atualmente, ganhos relativos ao refinamento do cálculo estrutural, feitos individualmente para cada caso, são discutíveis quando comparados ao esforço empregado para sua efetivação. Neste trabalho, procura-se obter uma minimização do esforço empregado no dimensionamento e na modelagem das estruturas de concreto armado, possibilitando-se, assim, a busca de um melhor comportamento estrutural sem a oneração de cada projeto individual.

Abordam-se aspectos relativos ao dimensionamento de seções transversais de concreto armado submetidas a solicitações normais. Analisam-se seções retangulares e seções "T" solicitadas à flexão normal simples, e seções retangulares solicitadas à flexão oblíqua composta.

Propõem-se uma nova concepção para a discretização de pavimentos planos horizontais, grelhas, e a geração automática da geometria do pórtico espacial que representa a estrutura tridimensional do edifício a partir dos pavimentos.

Finalmente, é formulado o acoplamento dos programas, obtendo-se um conjunto que permite a racionalização das seções transversais dos elementos estruturais segundo os critérios de cálculo adotados.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures used for multistorey building generally are not responsible to increase their costs. They only mean a part of the total cost. Nowadays, cost savings due to the structural design refinement, for a single project, are questionable when compared with the required amount of effort. In this work the objective of obtaining the minimum effort for modeling and dimensioning reinforced concrete structures aiming to lead to a better structural behaviour without increasing the design costs is searched.

It is also discussed aspects related with reinforced concrete bar dimensioning due to bending moments and normal forces. Rectangular and "T" sections are analysed when subjected to simple bending while only rectangular sections are studied for the biaxial bending case with axial forces.

New way to discretize building floors and grids and the automatic generation of spatial frames to model tridimensional building structures from floor data are also proposed.

Finally, the coupling of the previous codes, aiming the definition of a final model employed to rationalize structural element sections, is proposed following some assumed dimensioning criteria.

INDICE

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - CONCRETO ARMADO	5
2.1 - Introdução	5
2.2 - Estado Limite Último de Ruptura ou Deformação Plástica Excessiva	7
2.3 - Diagramas Tensão-Deformação	8
2.3.1 - Concreto	8
2.3.2 - Aço	10
2.3.3 - Coeficientes de Minoração da Resistência.	14
2.4 - Hipóteses de Cálculo e Domínios de Deformação ..	16
CAPÍTULO III - CÁLCULO AUTOMÁTICO DE SEÇÕES	21
3.1 - Introdução	21
3.2 - Solicitações Normais	23
3.3 - Viga - Racionalização de Seções	25
3.3.1 - Introdução	25
3.3.2 - Convenções	26
3.3.3 - Equacionamento	28
3.3.4 - Critérios de Cálculo	31
3.3.5 - Processo de Cálculo	36
3.4 - Programa VIGA	37
3.4.1 - Estruturação do Programa	37
3.4.2 - Entrada de Dados	37
3.4.3 - Saída de Resultados	39
3.4.4 - Limites do Programa	40
3.5 - Pilar - Racionalização de Seções	40
3.5.1 - Introdução	40
3.5.2 - Dimensionamento da Armadura :	
Equacionamento Exato	42
3.5.2.1 - Convenções	42

3.5.2.2 - Equacionamento	46
3.5.2.3 - Processo de Cálculo	52
3.5.3 - Programa PILAR1	57
3.5.3.1 - Estruturação do Programa	57
3.5.3.2 - Entrada de Dados	58
3.5.3.3 - Saída de Resultados	60
3.5.3.4 - Limites do Programa	60
3.5.4 - Abacos de Interação	60
3.5.4.1 - Convenções	60
3.5.4.2 - Equacionamento	62
3.5.4.3 - Processo de Cálculo	62
3.5.5 - Programas PILAR2 e PILAR3	63
3.5.5.1 - Estruturação dos Programas	63
3.5.5.2 - Entrada de Dados	64
3.5.5.3 - Saída de Resultados	65
3.5.5.4 - Limites dos Programas	65
3.5.6 - Dimensionamento da Amadura :	
Armadura Padrão	65
3.5.6.1 - Equacionamento	65
3.5.6.2 - Processo de Cálculo	69
3.5.7 - Programa PILAR4	70
3.5.7.1 - Estruturação do Programa	70
3.5.7.2 - Consistência de Dados	71
3.5.7.3 - Entrada de Dados	71
3.5.7.4 - Saída de Resultados	75
3.5.7.5 - Limites do Programa	75
3.5.8 - Racionalização de Seções	76
3.5.8.1 - Equacionamento	76
3.5.8.2 - Critérios de Cálculo	78
3.5.8.3 - Processo de Cálculo	79
3.5.9 - Programa PILAR5	79
3.5.9.1 - Estruturação do Programa	80
3.5.9.2 - Entrada de Dados	80
3.5.9.3 - Saída de Resultados	82
3.5.9.4 - Limites do Programa	82

CAPÍTULO IV - GERAÇÃO DE GRELHAS	83
4.1 - Introdução	83
4.2 - Geração de Grelhas	84
4.2.1 - Modelo Plano Tradicional	85
4.2.2 - Modelo Proposto	85
4.3 - Programa GPLUS	93
4.3.1 - Estruturação do Programa	93
4.3.2 - Estruturas de Dados	94
4.3.3 - Geração de Dados	97
4.3.4 - Consistência de Dados	104
4.3.5 - Entrada de Dados	106
4.3.6 - Saída de Resultados	114
4.3.7 - Limites do Programa	114
 CAPÍTULO V - GERAÇÃO DE LAJES	 115
5.1 - Introdução	115
5.2 - Geração de Lajes	116
5.2.1 - Caracterização das Lajes	117
5.3 - Programa LPLUS	120
5.3.1 - Estruturação do Programa	120
5.3.2 - Estruturas de Dados	121
5.3.3 - Entrada de Dados	122
5.3.4 - Saída de Resultados	122
5.3.5 - Limites do Programa	124
 CAPÍTULO VI - GERAÇÃO DA ESTRUTURA TRIDIMENSIONAL DO EDIFÍCIO	 125
6.1 - Introdução	125
6.2 - Modelo Tridimensional	126
6.2.1 - Diafragmas Rígidos - "Nó Mestre"	126
6.2.2 - Trechos Rígidos em Barras - "Offsets" ...	128
6.3 - Geração da Estrutura	131
6.3.1 - Numeração Nodal	132
6.3.2 - Definição das Barras	133

6.3.3 - Geração de "Offsets"	135
6.3.4.- Montagem da Estrutura	136
6.3.5 - Exemplo	139
6.4 - Programa PPLUS	143
6.4.1 - Estruturação do Programa	143
6.4.2 - Estruturas de Dados	144
6.4.3 - Consistência de Dados	147
6.4.4 - Entrada de Dados	148
6.4.5 - Saída de Resultados	154
6.4.6 - Limites do Programa	155
CAPÍTULO VII - EXEMPLOS	156
7.1 - Introdução	156
7.2 - Programa VIGA	157
7.3 - Programa PILAR1	169
7.4 - Programas PILAR2 e PILAR3	178
7.5 - Programa PILAR4	184
7.6 - Programa PILAR5	192
7.7 - Programa GPLUS	195
7.8 - Programa LPLUS	205
7.9 - Programa PPLUS	208
CAPÍTULO VIII - OBSERVAÇÕES FINAIS	246
CAPÍTULO IX - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	253

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O concreto armado é utilizado em larga escala na construção de edifícios de múltiplos pavimentos no Brasil. Sua utilização está ligada a vários fatores, que vão desde os fatores humanos, disposição de matéria prima, até fatores políticos.

Como material de construção civil, o concreto armado apresenta vantagens e desvantagens em relação a outros materiais como o aço e a alvenaria, por exemplo. A análise de todos os aspectos que determinam a vantagem de um em relação a outro material é muito complexa, a começar pela escolha do processo construtivo que melhor adapta-se ao projeto em questão.

No Brasil, as estruturas de concreto armado têm lugar garantido no cenário da construção civil. Mão-de-obra barata, abundância de matéria prima, quase a ausência de concorrência com outros processos construtivos e o desenvolvimento de projetos direcionando sua utilização são alguns dos fatores que fazem com que o concreto armado tenha tamanha penetração no mercado.

Em função dessa demanda, muitas pesquisas estão em desenvolvimento no sentido de melhor modelar e equacionar as estruturas construídas com a utilização desse processo construtivo. A análise de estruturas com a consideração das não-linearidades física e geométrica, a discretização do pavimento para análises aproximadas usando-se os

métodos dos elementos finitos, de contorno, grelha equivalente e outros são algumas possibilidades em evidência no presente momento.

Com o desenvolvimento do "hardware", a eletrônica possibilitou o alcance da tecnologia a pequenos e médios escritórios de cálculo através da massificação do micro-computador.

O desenvolvimento de aplicativos capazes de tratar grandes estruturas em micro-computadores torna-se necessário para que o elevado nível de aprimoramento do cálculo seja levado aos escritórios e à etapa de execução da obra, proporcionando maior economia e segurança globais para as edificações.

Nesse contexto, o presente trabalho atua no sentido de proporcionar maior agilidade e segurança aos escritórios de cálculo, relativas ao dimensionamento e à modelagem de estruturas de concreto armado.

Desenvolvem-se, neste trabalho, programas para o dimensionamento de seções transversais de concreto armado, retangulares ou "T", submetidas à flexão normal simples (vigas) e seções retangulares submetidas à flexão oblíqua composta (pilares) .

A geração de geometria de estruturas, ponto crucial no desenvolvimento dos projetos estruturais juntamente com o detalhamento das seções, tem tratamento especial neste trabalho. Uma nova concepção para a definição geométrica de pavimentos planos de edifícios é apresentada. A partir dos pavimentos, a estrutura do edifício, discretizada através de barras e nós, é gerada com rapidez e segurança. Ganha-se tempo em duas etapas : na aquisição de dados, com a redução do volume dos mesmos, e na etapa de conferência, quase totalmente eliminada em função das consistências automáticas proporcionadas pelos programas. Desta forma, a interpretação dos resultados torna-se mais confiável.

O projeto proposto consiste no desenvolvimento de um sistema computacional que tem a função de racionalizar a estrutura através de iterações, conservando-se o esquema

estático concebido pelo calculista. Passa pela geração da geometria das estruturas dos pavimentos, das lajes e do pórtico espacial, análise de esforços e cálculo das seções transversais com o auxílio de programas de dimensionamento. Através de critérios de cálculo, racionalizam-se as seções em função dos esforços obtidos da etapa anterior de processamento. Desta forma, pretende-se condicionar a estrutura a um padrão que a leve a um bom desempenho quanto à economia e à confiabilidade.

Observado o quadro que se apresenta, vale destacar o dinamismo do processo. Assim, o projeto deve estar em desenvolvimento contínuo, acompanhando as inovações do setor para que possa ter o desempenho desejável na automação do cálculo estrutural de edifícios de concreto armado.

Os programas são desenvolvidos em linguagem Pascal, com o auxílio de editores e compiladores Turbo Pascal, versões 3.0 e 5.0, desenvolvidos pela "Boland International" . [24] , [25]

Este trabalho divide-se em oito capítulos, dispostos logicamente e relacionados a seguir :

O segundo capítulo contém alguns aspectos relativos à segurança em estruturas de concreto armado e ao comportamento mecânico dos materiais concreto e aço.

No terceiro capítulo, apresentam-se os equacionamentos das seções transversais de concreto armado solicitadas à flexão normal simples e à flexão oblíqua composta. Descrevem-se os processos de desenvolvimento dos programas para o dimensionamento das armaduras e a racionalização das seções. Definem-se os critérios de cálculo utilizados e apresentam-se os programas responsáveis por sua realização.

O quarto capítulo descreve uma nova concepção para a definição geométrica de pavimentos planos horizontais, grelha. Esta nova concepção proporciona uma diminuição do volume da massa de dados necessária à descrição geométrica do modelo tradicional para estruturas reticuladas,

composto por barras e nós. O programa responsável pela geração dos dados adicionais para a definição do modelo é apresentado e discutido neste capítulo.

A geração de dados, a partir dos pavimentos, para a continuidade do processo passa pela definição das lajes dos pavimentos e do sistema de contraventamento da estrutura para a efetiva absorção dos efeitos das ações horizontais, como o vento, por exemplo.

O quinto capítulo contem os aspectos gerais presentes neste trabalho relativos aos elementos necessários para a geração da geometria das lajes do pavimento, bem como o programa responsável.

No sexto capítulo, apresenta-se uma visão geral do modelo tridimensional utilizado, descrevendo-se os elementos utilizados na modelagem dos elementos estruturais. O programa responsável pela síntese dos pavimentos e geração da estrutura tridimensional é apresentado e discutido neste capítulo.

O sétimo capítulo tem o objetivo de esclarecer as possíveis dúvidas com relação à montagem dos arquivos de dados e à correta utilização dos programas. Com o auxílio de exemplos simples, proporciona a visualização das características dos arquivos e programas apresentados nos itens anteriores.

O último capítulo apresenta as observações e os resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho. Propõe sugestões para a melhoria dos resultados obtidos e para a continuidade do projeto.

CAPÍTULO II

CONCRETO ARMADO

2.1 - INTRODUÇÃO

No trabalho a ser desenvolvido é necessário, para uma informação complementar, lembrar o leitor o tipo de material a ser empregado, o concreto armado, algumas de suas propriedades e hipóteses já bem estabelecidas e de uso corrente no cálculo de edifícios. Não tem a pretensão o trabalho de varrer todos os aspectos de uma estrutura de concreto armado, apenas alguns elementos necessários ao desenvolvimento da proposta.

Um aspecto importante em engenharia de estruturas é a segurança final da obra que envolve todo o processo de cálculo e execução do edifício.

A segurança em estruturas diz respeito às condições por elas reunidas de suportar, sem atingir um estado limite, imediato ou a longo prazo, todas as ações, com intensidades e combinações desfavoráveis, durante a vida útil para a qual foi projetada. Por ações, entendem-se todas as causas que produzam tensões.

A verificação da segurança tem os objetivos de garantir capacidade de carga e estabilidade suficientes, boa utilização em relação às finalidades previstas e durabilidade pertinente ao projeto.

Nesse contexto, o da verificação ou quantificação da segurança em estruturas, definem-se dois tipos de estados

limites para a determinação de suas condições reais de funcionamento :

estados limites últimos e
estados limites de utilização.

Os estados limites de utilização estão relacionados à boa utilização - deformação - e à durabilidade das estruturas - fissuração. As solicitações provenientes das cargas de utilização devem estar aquém da capacidade última das seções transversais das peças estruturais.

A estrutura encontra-se em estado limite último na medida em que perde a estabilidade, local ou globalmente, ou, num de seus pontos, um ou mais de seus materiais componentes atinge a tensão de ruptura ou uma deformação plástica excessiva. A NBR-6118, Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, define estado limite último como sendo o estado limite correspondente à ruína por ruptura do concreto comprimido, por deformação plástica excessiva da armadura tracionada ou por instabilidade de peças comprimidas.

Cada um desses temas é individualmente extenso. Restringiu-se, assim, este trabalho, à análise da seção transversal, considerando-se apenas os estados limites últimos de ruína do concreto comprimido ou deformação plástica excessiva da armadura tracionada. A análise da instabilidade em elementos estruturais esbeltos comprimidos, problema de valiosa importância, aqui não se inclui. Também os estados limites de utilização não são tratados, embora todos com grande importância dentro da definição de uma estrutura portante.

Este capítulo apresenta os diagramas de tensão-deformação do concreto e aço, bem como os domínios de deformação e as hipóteses de cálculo adotadas no equacionamento da capacidade resistente das seções transversais de concreto armado.

2.2 - ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE RUPTURA OU DEFORMAÇÃO PLÁSTICA EXCESSIVA

O estado limite último de ruptura ou deformação plástica excessiva caracteriza-se pelo esgotamento da capacidade resistente da seção transversal de concreto armado submetida a solicitações normais, por ruptura do concreto comprimido ou deformação plástica excessiva da armadura tracionada.

A ruptura por compressão do concreto ocorre na fibra mais encurtada. Em função de dificuldades na determinação da tensão de ruptura do concreto, convencionou-se, com base em ensaios laboratoriais, uma deformação última ϵ_{cu} para caracterizar o estado limite. Mesmo a fixação da deformação última está ligada a vários fatores, tais como a forma da seção transversal e a posição da linha neutra. A adoção de valores convencionais para a deformação última ϵ_{cu} simplifica o problema e está a favor da segurança.

O valor da deformação última está entre $3,50^{\circ}/\infty$ e $2,00^{\circ}/\infty$, à medida que se caminha de uma seção fletida para uma seção totalmente comprimida, isto é, do domínio 2 para o domínio 5. Na maioria dos casos, domínios 2, 3, 4 e 4a, a deformação última convencional do concreto comprimido é admitida igual a $3,50^{\circ}/\infty$. No domínio 5, $2,00^{\circ}/\infty$. Os domínios de deformação serão definidos no item 2.4, Hipóteses de Cálculo e Domínios de Deformação.

Nas peças de concreto armado, segundo a NBR-6118, convencionou-se em $10,00^{\circ}/\infty$ o alongamento último da armadura tracionada. Admite-se que com este alongamento a armadura tracionada atinge uma deformação plástica excessiva, originando uma fissuração exagerada e nociva à própria armadura. Arbitrou-se este valor considerando-se que essa deformação corresponde a uma fissuração de $10,00^{\circ}/\infty$, ou seja, a uma soma de aberturas de fissuras totalizando 1,00 mm para cada 10,00 cm de comprimento da peça, desprezando-se a deformação do concreto tracionado. Com essa fissuração, admite-se esgotada a capacidade

resistente da peça.

2.3 - DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO

2.3.1. - CONCRETO

"O diagrama $\sigma \times \epsilon$ do concreto não obedece à Lei de Hooke : o diagrama é curvo praticamente desde a origem." [15]. Na zona de deformações de tração, admite-se tensão nula para o concreto, desprezando-se uma possível resistência à tração do material.

A curva $\sigma \times \epsilon$ é influenciada por vários parâmetros, dos quais pode-se citar :

- resistência do concreto armado
- idade do concreto no carregamento
- velocidade de aplicação do carregamento
- duração do carregamento
- forma da seção transversal

O diagrama tensão-deformação deve conduzir a uma razoável concordância com os dados experimentais, em função dos vários parâmetros presentes no processo. A NBR-6118 adota o diagrama simplificado parábola-retângulo no estado limite último, representado na fig. 2.1 .

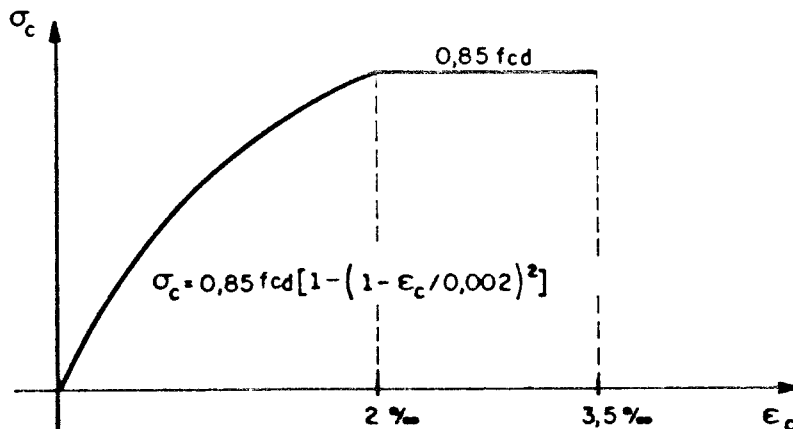


fig. 2.1 - Diagrama tensão-deformação de cálculo do concreto

No diagrama, f_{cd} é a resistência de cálculo do concreto à compressão e vale :

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

.. 2.1

em que :

f_{ck} - resistência característica do concreto à compressão

γ_c - coeficiente de minoração da resistência do concreto

Observa-se, na fig. 2.1, que a função correspondente à tensão normal de cálculo varia com relação à deformação na fibra de concreto ϵ_c através das relações (2.2) .

$$\epsilon_c \leq 0,00 \quad \sigma_{cd} = 0,00$$

$$0,00 \leq \epsilon_c \leq 2,00^\circ / \infty \quad \sigma_{cd} = 0,85f_{cd}(1 - (1 - \epsilon_c/0,002)^2)$$

$$2,00 \leq \epsilon_c \leq 3,50^\circ / \infty \quad \sigma_{cd} = 0,85f_{cd}$$

.. 2.2

em que :

σ_{cd} - tensão normal de cálculo no concreto

Portanto, σ_{cd}/f_{cd} é apenas função de ϵ_c , independentemente da resistência do concreto.

Pode-se admitir a substituição do diagrama parábola-retângulo de tensões pela distribuição retangular

com profundidade $y = 0,80x$ e tensões :

$$\sigma_{cd} = 0,85f_{cd} = 0,85f_{ck}/\gamma_c ,$$

.. 2.3

nos casos em que a largura da seção transversal, medida paralelamente à linha neutra, não diminuir desta para a borda mais comprimida , e

$$\sigma_{cd} = 0,80f_{cd} = 0,80f_{ck}/\gamma_c ,$$

.. 2.4

nos demais casos. Estes podem ocorrer em seções circulares, triangulares ou trapezoidais para determinadas direções da linha neutra ou em seções retangulares submetidas à flexão oblíqua.

em que :

x - profundidade da linha neutra medida a partir da borda mais comprimida

2.3.2 - AÇO

As tensões de cálculo na armadura são determinadas a partir de suas deformações, através do diagrama tensão deformação de cálculo para cada tipo de aço em questão. As deformações são determinadas conforme as hipóteses que apresentar-se-ão no item 2.4 .

Os aços para concreto armado, com prefixo CA, classificam-se em função de sua resistência e processo de fabricação, podendo também as barras serem classificadas de acordo com sua aderência ao concreto.

Em função da resistência, ou seja, da tensão característica de escoamento, têm-se as seguintes categorias : CA-25, CA-32, CA-40, CA-50 e CA-60 .

Segundo a aderência ao concreto, as barras podem classificar-se em lisas e de alta aderência.

De acordo com a configuração do diagrama tensão-deformação, os aços dividem-se em duas classes : classe A e classe B .

Aços Classe A

Os aços classe A, cujo processo de fabricação consiste na laminação a quente, apresentam diagrama tensão deformação caracterizado por patamar de escoamento definido. A NBR-6118 adota o diagrama bilinear de tensão-deformação para os aços classe A, típico de material elasto-plástico perfeito, conforme fig. 2.2 .

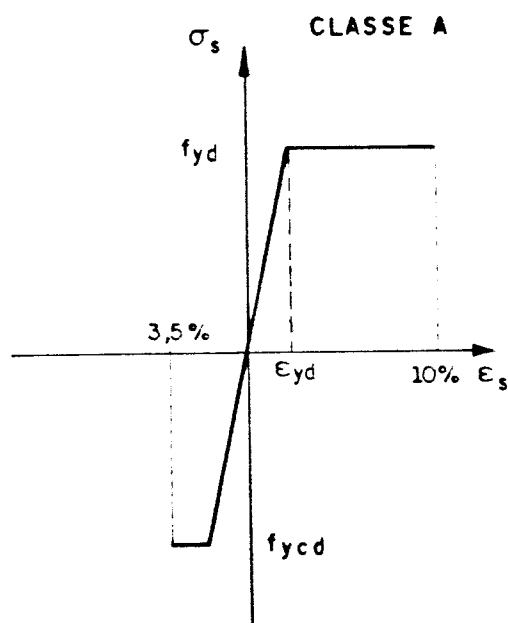


fig. 2.2 - Diagrama tensão- deformação de cálculo para aços classe A

Os limites de deformação são fixados em função do estado limite último de ruptura do concreto para o encurtamento e deformação plástica excessiva do aço para o alongamento.

Na fig. 2.2, observam-se as seguintes relações :

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$$

$$f_{ycd} = f_{yck}/\gamma_s$$

$$E_s = f_{yd}/\epsilon_{yd}$$

.. 2.5

em que :

- f_{yk} - resistência característica do aço à tração
- f_{yck} - resistência característica do aço à compressão
- γ_s - coeficiente de minoração da resistência do aço
- f_{yd} - resistência de cálculo do aço à tração
- f_{ycd} - resistência de cálculo do aço à compressão
- ϵ_{yd} - deformação específica de cálculo de início de escoamento do aço na tração
- E_s - módulo de deformação longitudinal

Para os aços classe A e B, pode-se adotar o valor constante para o módulo de deformação longitudinal E_s :

$$E_s = 21000,00 \text{ kN/cm}^2$$

Os valores das resistências características do aço à tração e à compressão são aproximadamente iguais.

Aços Classe B

Os aços classe B, encruados por deformação a frio, com tensão convencional de escoamento definida por uma deformação permanente de $2,00\%$, apresentam um diagrama

tensão-deformação sem patamar nítido de escoamento. Na falta de dados experimentais suficientes para a determinação do diagrama tensão-deformação, a NBR-6118 permite adotar-se o diagrama simplificado da fig. 2.3 .

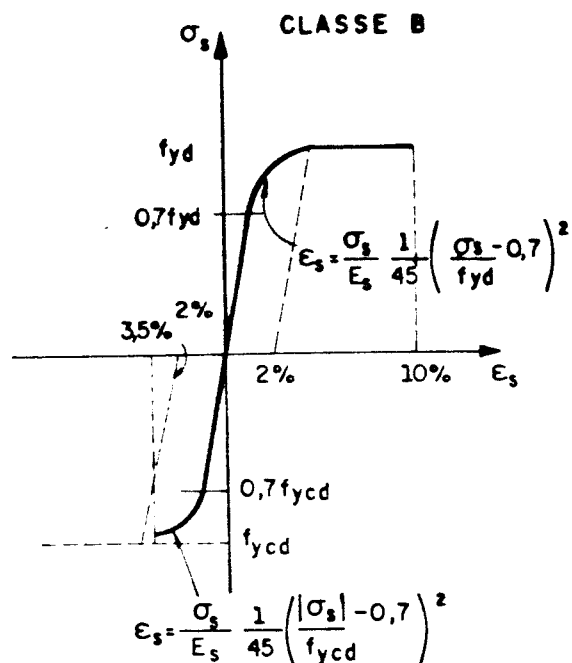


fig. 2.3 - Diagrama tensão-deformação de cálculo para aços classe B

Os limites de deformação são os mesmos dos aços classe A.

O diagrama apresenta-se em três trechos :

trecho linear,
trecho curvo e
patamar de escoamento.

Em cada trecho, definem-se as deformações e tensões :

Trecho Linear - $0 \leq \sigma_s \leq 0,70f_{yd}$

$$\epsilon_s = \sigma_s / E_s$$

.. 2.6

Trecho Curvo - $0,70f_{yd} \leq \sigma_s \leq f_{yd}$

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} + \frac{1}{45} \left[\frac{\sigma_s}{f_{yd}} - 0,70 \right]^2$$

$$\sigma_s = f_{yd} \left[0,70 - \frac{45f_{yd}}{2E_s} + \sqrt{\left[\frac{45f_{yd}}{2E_s} - 0,70 \right]^2 + (45|\varepsilon_s| - 0,49)} \right]$$

.. 2.7

Patamar de Escoamento - $\sigma_s = f_{yd}$

$$\varepsilon_{yd} \leq \varepsilon_s \leq 10,00\text{‰}$$

.. 2.8

em que :

σ_s - tensão no aço

ε_s - deformação específica no aço

Então, para indicar a classe a que pertence a categoria CA-50, leva o sufixo A ou B, CA-50A ou CA-50B, respectivamente a sua classe. Os aços CA-25 e CA-32 são de classe A e os CA-60, de classe B.

Em função de garantirem-se as características para o aço classe B por encruamento a frio, não atingidas no processo de laminação a quente, esta classe possui algumas desvantagens comparadas à classe A, não comentadas neste trabalho.

2.3.3 - COEFICIENTES DE MINORAÇÃO DA RESISTENCIA

A verificação da segurança contra os possíveis estados limites últimos da estrutura determina que os esforços resistentes devem estar acima dos esforços atuantes. Por esforços resistentes, entendem-se os

esforços que, se aplicados às estruturas, esgotam sua capacidade resistente. [13]

Em função do tipo de solicitação a que está submetida a peça - tração, compressão, flexão, flexo-compressão - devem ser atendidas todas as condições envolvidas na verificação da segurança.

Historicamente, o método das tensões admissíveis foi a primeira iniciativa na quantificação da segurança. A introdução de um único coeficiente para a minoração da tensão de ruptura do material é responsável pela verificação ou dimensionamento de uma seção transversal. Este método é alvo de muitas críticas, devido ao fato de ser determinístico, não levando, portanto, em consideração a aleatoriedade de resistências e de ações.

O conceito probabilístico de segurança fez com que os processos de verificação e dimensionamento de estruturas evoluíssem. Evoluído o conceito de verificação da segurança, o conhecimento insuficiente do comportamento estrutural em seus vários estágios limita a aplicação do método probabilístico puro que trabalha com probabilidades de ruína. Assim sendo, a NBR-6118 adota o método semi-probabilístico, um método híbrido que majora as ações e minora as resistências através de dados empíricos, baseados na tradição, associados a conceitos probabilísticos na medida do possível.

Aplicados os coeficientes às ações, com as respectivas combinações determinadas pela NBR-8681, Ações e Segurança nas Estruturas, e às tensões resistentes, tem-se a condição de cálculo em que ambas são comparadas, verificando-se, assim, as condições de segurança da peça ou estrutura.

Segundo a NBR-6118, os coeficientes de minoração das resistências do concreto e do aço, γ_c e γ_s , respectivamente, são os seguintes :

Concreto

$\gamma_c = 1,40$ em geral; pode-se reduzir para 1,30 no caso de peças moldadas em usina, executadas com cuidados rigorosos

$\gamma_c = 1,50$ no cálculo de peças em condições desfavoráveis de execução, como por exemplo más condições de transporte de concreto, adensamento manual ou concretagem prejudicada por elevada concentração de armadura

Aço

$\gamma_s = 1,15$ obedecidas as prescrições da EB-3/80, Barras e Fios de Aço Destinados a Armaduras para Concreto Armado, quanto ao controle de qualidade

$\gamma_s = 1,25$ quando não for realizado o controle de qualidade de acordo com a EB-3, permitindo-se esta situação apenas em obras de pequena importância, nas quais empregam-se os aços das categorias CA-25 e CA-32

Os coeficientes de minoração serão multiplicados por 1,20 quando a peça estiver exposta à ação prejudicial de agentes externos, tais como ácidos, álcalis, águas agressivas e temperaturas muito altas ou muito baixas.

2.4 - HIPÓTESES DE CÁLCULO E DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO

Hipóteses de Cálculo

As hipóteses de cálculo versam sobre a verificação ou o dimensionamento em estados limites de utilização ou últimos. Determinam as linhas gerais para o cálculo em seções de concreto armado submetidas a solicitações

normais. São elas :

Manutenção da seção plana

Admite-se que a seção transversal de peças lineares permanece plana durante o processo de deformação até o seu estado limite último. Com isso, a deformação em qualquer ponto da seção transversal passa a ser função linear da distância do ponto à linha neutra.

Perfeita aderência entre os materiais

Admite-se total solidariedade entre os materiais concreto e aço na seção transversal. Com essa hipótese, a barra da armadura tem a mesma deformação da fibra de concreto situada nesta posição.

Deformações convencionais últimas de cálculo

No estado limite último, convencionam-se três pontos de deformação última para a seção de concreto armado, conforme fig. 2.4 . As deformações últimas definem as possíveis configurações últimas de ruptura na seção de concreto armado.

ponto A - domínio 5 e reta b - fixa a deformação específica em $2,00^{\circ}/\infty$ na fibra de concreto situada na posição $3h/7$ a partir da borda mais comprimida. Seções inteiramente comprimidas.

ponto B - domínios 3,4 e 4a - fixa o encurtamento na fibra de concreto mais comprimida da seção em $3,50^{\circ}/\infty$. Seções parcialmente comprimidas.

ponto C - reta a e domínios 1 e 2 - fixa a deformação plástica excessiva do aço em $10,00^{\circ}/\infty$. Seções total ou predominantemente tracionadas.

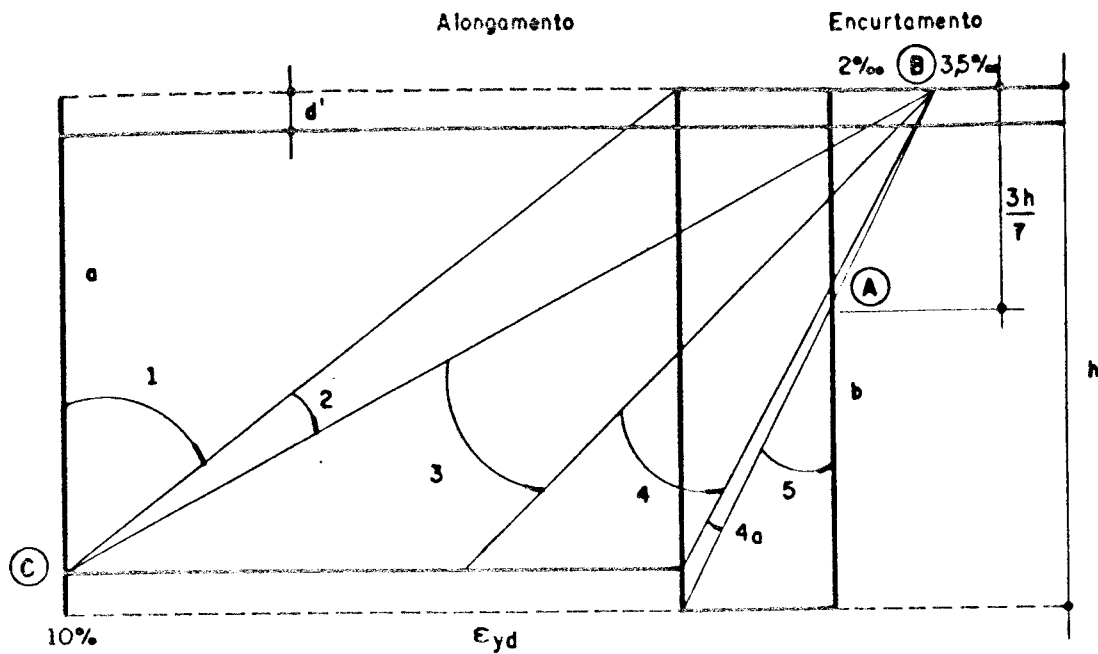


fig. 2.4 - Deformações últimas e domínios de deformação

Diagramas tensão-deformação

Os diagramas tensão-deformação são os diagramas apresentados no item 2.3.1 , Concreto.

Domínios de Deformação

Conforme os itens anteriores, para que a seção encontre-se em um estado limite último de ruptura é necessário que o plano de deformações passe por um dos três pontos de deformação última convencional. Ao longo das possíveis configurações de ruptura, definem-se seis domínios de deformação, os quais determinam perfeitamente o regime de ruptura convencional da seção transversal : deformação plástica excessiva da armadura tracionada ou ruptura do concreto comprimido.

Note-se que a ruptura convencional da seção, na prática, dá-se sempre pela ruptura do concreto comprimido.

A seguir, apresentam-se os domínios de deformação, conforme fig. 2.4 .

Domínio 1

Caracterizado pela deformação última $\epsilon_s = 10,00^\circ/\infty$.
Seção inteiramente tracionada. Inclui os casos de tração axial e de tração excêntrica com pequena excentricidade.

Domínio 2

Caracterizado pela deformação última $\epsilon_s = 10,00^\circ/\infty$.
Seção com um banzo tracionado e outro comprimido. Inclui os casos de tração excêntrica com grande excentricidade, de flexão pura e de compressão excêntrica com grande excentricidade.

Domínio 3

Caracterizado pela deformação última $\epsilon_{c1} = 3,50^\circ/\infty$.
Seção com um banzo tracionado e outro comprimido. Na situação última, limite entre os domínios 3 e 4, a deformação na armadura é a deformação específica de cálculo de início de escoamento do aço na tração ϵ_{yd} , com a ruptura convencional do concreto e o escoamento convencional do aço ocorrendo simultaneamente. Inclui os casos de tração excêntrica com grande excentricidade, de flexão pura e de compressão excêntrica com grande excentricidade.

Domínio 4

Caracterizado pela deformação última $\epsilon_{c1} = 3,50^\circ/\infty$.
Seção transversal com um banzo tracionado e outro

comprimido. Inclui apenas os casos de compressão excêntrica com grande excentricidade.

Domínio 4a

Caracterizado pela deformação última $\epsilon_{c1} = 3,50^{\circ}/\infty$. A linha neutra corta a seção entre a armadura menos comprimida e a borda da seção transversal. É um domínio de transição, com armaduras comprimidas.

Domínio 5

A deformação última no concreto é variável, sendo fixa em $2,00^{\circ}/\infty$ a $3h/7$ da borda mais comprimida. Seção inteiramente comprimida. Inclui os casos de flexo compressão com pequena excentricidade e de compressão centrada.

CAPÍTULO III

CÁLCULO AUTOMÁTICO DE SEÇÕES

3.1 - INTRODUÇÃO

Nas estruturas, os esforços solicitantes força normal, força cortante e momento fletor estão presentes simultaneamente nos diversos elementos estruturais. Os momentos fletores e forças cortantes podem atuar obliquamente nos elementos lineares, isto é, podem apresentar componentes relativas às duas direções transversais. Para materiais homogêneos, as tensões máximas podem ser facilmente calculadas para solicitações combinadas com o auxílio da Resistências dos Materiais e da Teoria da Elasticidade. Em materiais de construção heterogêneos, como o concreto armado no qual existem fissuras e armaduras em direções preferenciais, as tensões não podem ser avaliadas diretamente. Por estes motivos, o dimensionamento das peças e estruturas de concreto armado é feito, em geral, separadamente para momentos fletores, com ou sem força normal, forças cortantes e momentos torçores. As solicitações comuns são superpostas apenas onde possam tornar-se críticas.

Por dimensionamento ou racionalização, entende-se, neste trabalho, o cálculo racionalizado das dimensões necessárias à seção transversal de concreto, bem como das armaduras de aço, de modo que os esforços solicitantes sejam absorvidos com a segurança exigida. Devem também ser

verificadas as deformações e observados os detalhes construtivos referentes a cada elemento estrutural.

A partir das recomendações aprovadas em 1970 pelo Comitê Europeu do Concreto [2], o dimensionamento e a verificação de peças de concreto armado sofreram transformações profundas. Com o uso das hipóteses básicas estabelecidas muitos trabalhos foram realizados, inclusive a alteração da Norma Brasileira relativa ao cálculo de peças de concreto armado, feita em 1978 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas [1] .

Este trabalho trata apenas de solicitações normais provocadas por momento fletor e força normal. Nesse particular, trabalhos voltados para a elaboração de soluções práticas, precisas e de fácil aceitação para o calculista de concreto armado têm sido sistematicamente publicados. Com relação à aplicação das hipóteses básicas na verificação e dimensionamento de peças lineares de concreto armado sujeitas a solicitações normais, o trabalho de Cabré [11] é, sem dúvida, um dos primeiros a sugerir um esquema de cálculo bastante prático, com o uso de superfícies de interação na flexão reta ou oblíqua, descritas de forma simples e objetiva. Abacos de dimensionamento, baseados nesse trabalho, aparecem no livro "Hormigon Armado" [12], como uma ferramenta preciosa para os calculistas de concreto armado.

No Brasil, vários estudos com esses objetivos foram feitos. Destacam-se os trabalhos realizados pelos professores L. M. dos Santos [15] e P. B. Fusco [13], que, de maneira geral, fornecem aos engenheiros civis os meios para a elaboração de projetos em estruturas de concreto armado.

Este capítulo descreve os processos e critérios de cálculo utilizados no dimensionamento das seções e os respectivos programas responsáveis.

São tratadas seções retangulares ou "T" para flexão normal simples em vigas e seções retangulares para flexão oblíqua simples ou composta em pilares. Todos os elementos

estruturais, vigas e pilares, têm sua definição geométrica adequada à execução de edifícios de concreto armado.

3.2 - SOLICITAÇÕES NORMAIS

"Designam-se por solicitações normais os esforços solicitantes que produzem tensões normais nas seções transversais das peças estruturais. As solicitações normais englobam o momento fletor e a força normal.

De acordo com os princípios da Resistência dos Materiais, os esforços solicitantes são entes mecânicos referidos ao centro de gravidade da seção transversal. Nas peças de concreto estrutural, armado ou protendido, os esforços solicitantes são calculados tomando-se, como polo de redução dos esforços, o centro de gravidade da seção geométrica da peça, sem consideração da armadura." [3]

As solicitações normais podem ser do tipo compressão centrada, flexão normal simples, flexão normal composta, flexão oblíqua simples e flexão oblíqua composta em função de vários fatores.

A rigor, não existe compressão centrada, já que não se pode garantir que a carga esteja aplicada no centro de gravidade da seção transversal. Excentricidades acidentais devem ser introduzidas no cálculo para cobrirem as incertezas provenientes do ponto de aplicação das cargas e linearidade das peças. A discussão dessas excentricidades adicionais não é objeto deste trabalho.

Os principais tipos de solicitações normais que ocorrem em edifícios são a flexão normal simples e a flexão oblíqua composta. A flexão normal composta, em peças lineares, relaciona-se aos processos simplificados para a não consideração de flexão oblíqua composta no cálculo de seções transversais.

Flexão Normal Composta

É a solicitação normal, composta de momento fletor e força normal, em que a direção da linha neutra é conhecida e perpendicular ao plano de atuação do momento fletor.

Para sua ocorrência, a seção transversal deve ter um plano de simetria, inclusive a armadura, coincidente com o plano de atuação do momento fletor. Sua utilização em edifícios está relacionada à escassez de ferramentas de cálculo para a consideração da flexão oblíqua em pilares.

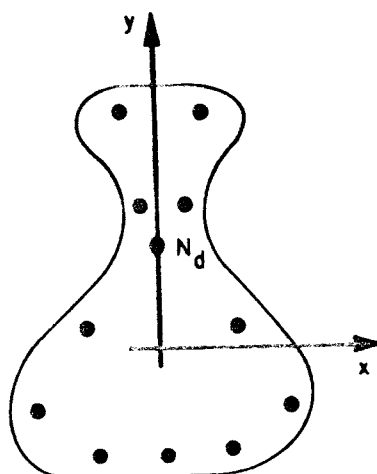


fig. 3.1 - Flexão normal composta

A flexão normal simples é um caso particular da flexão normal composta, em que a força normal é nula. Sua ocorrência em edifícios encontra-se em todas as vigas da estrutura. O dimensionamento de peças estruturais para este tipo de solicitação normal é o mais freqüente.

Flexão Oblíqua Composta

É a solicitação normal, composta de momento fletor e força normal, em que não se conhece, a priori, a direção da linha neutra.

São várias as situações em que este tipo de solicitação normal ocorre :

- em seções que não apresentam plano de simetria
- em seções com armaduras assimétricas

em seções simétricas quanto à forma e à distribuição de armaduras, em que o plano de atuação do momento fletor não coincide com o plano de simetria da seção

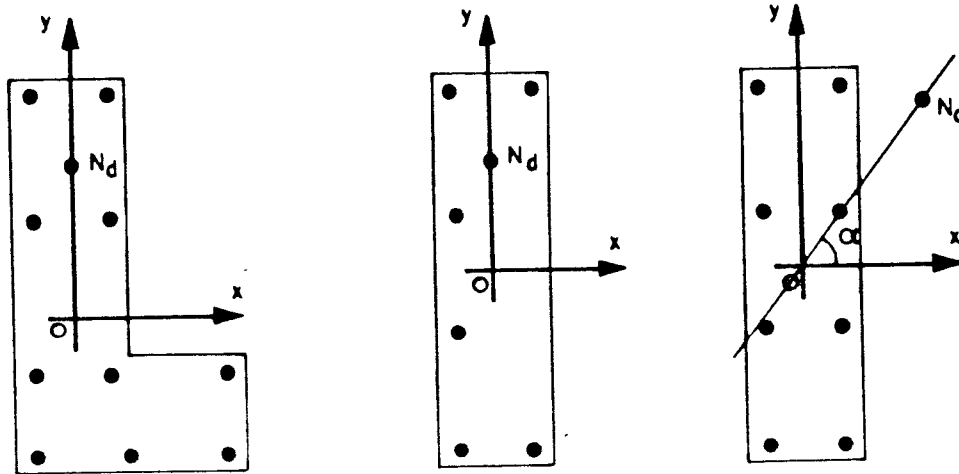


fig. 3.2 - Flexão oblíqua composta

Em edifícios, sem dúvida, este é o caso mais freqüente em pilares, já que a consideração de excentricidades acidentais previstas em norma leva todas as seções a estarem submetidas à flexão oblíqua composta.

A flexão oblíqua simples é um caso particular da flexão oblíqua composta em que a força normal é nula. Sua ocorrência em edifícios limita-se, basicamente, à presença de vigas com carregamento lateral.

3.3 - VIGA : RACIONALIZAÇÃO DE SEÇÕES

3.3.1 - INTRODUÇÃO

O dimensionamento e a verificação de seções submetidas à flexão normal simples constituem a operação mais rotineira do calculista de concreto armado.

Para um momento fletor calculado, seção e armaduras devem ser determinadas de forma a garantir a segurança desejada contra a ruptura da peça através do dimensionamento. O dimensionamento, para o caso em que as

dimensões da seção transversal estejam fixadas, consiste somente na determinação das áreas para as armaduras de aço e na verificação das tensões e respectivas deformações no concreto. Além disso, em ambos os casos, observações construtivas como espaçamentos mínimos entre barras em função de seus diâmetros e dos agregados devem ser respeitados, bem como limitações na abertura de fissuras e estados de deformação excessiva.

Na verificação de seções, as dimensões e as armaduras são fixas e o objetivo é determinar-se o valor do momento fletor resistente proporcionado pela seção transversal e compará-lo ao atuante. A seguir, apresenta-se o processo para o dimensionamento de seções transversais de vigas de edifícios submetidas à flexão normal simples; seções cuja forma é retangular ou "T".

3.3.2 - CONVENÇÕES

Notação Empregada : Seção Retangular

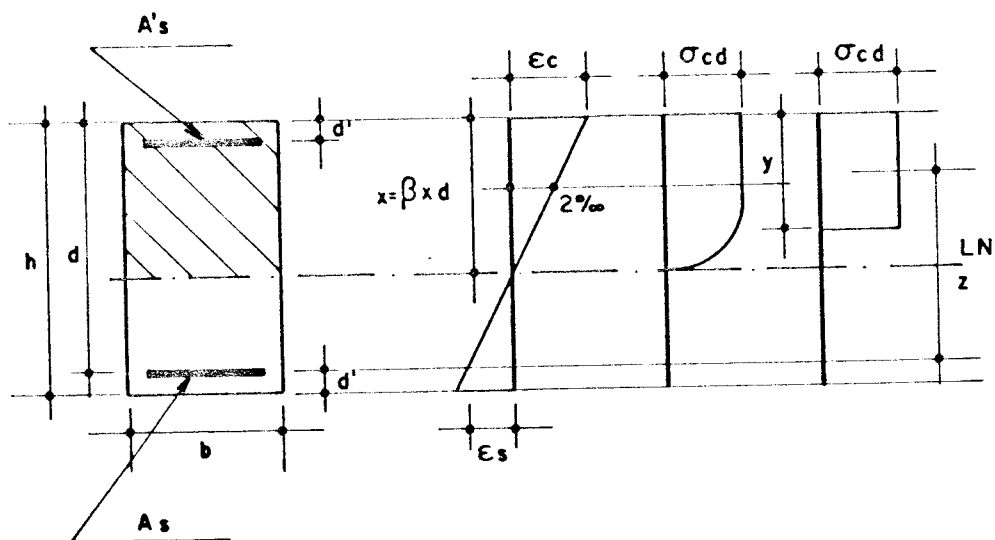


fig. 3.3 - Notação empregada : seção retangular

- b - largura da seção
- h - altura da seção

- d' - cobrimento da armadura
 d - altura útil
 A_s - área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada
 A'_s - área da seção transversal da armadura longitudinal comprimida
 M_k - momento fletor de projeto
 M_d - momento fletor de cálculo
 ϵ_c - deformação última da fibra de concreto mais comprimida
 ϵ_s - deformação da armadura tracionada
 ϵ'_s - deformação da armadura comprimida
 f_{ck} - resistência característica do concreto à compressão
 f_{cd} - resistência de cálculo do concreto à compressão
 σ_{cd} - tensão normal de compressão de cálculo no concreto
 β_x - posição adimensional da linha neutra
 x - posição real da linha neutra (diagrama parábola-retângulo de tensões)
 y - posição da linha neutra (diag. retang. de tensões)
 z - braço de alavanca

Notação Empregada : Seção "T"

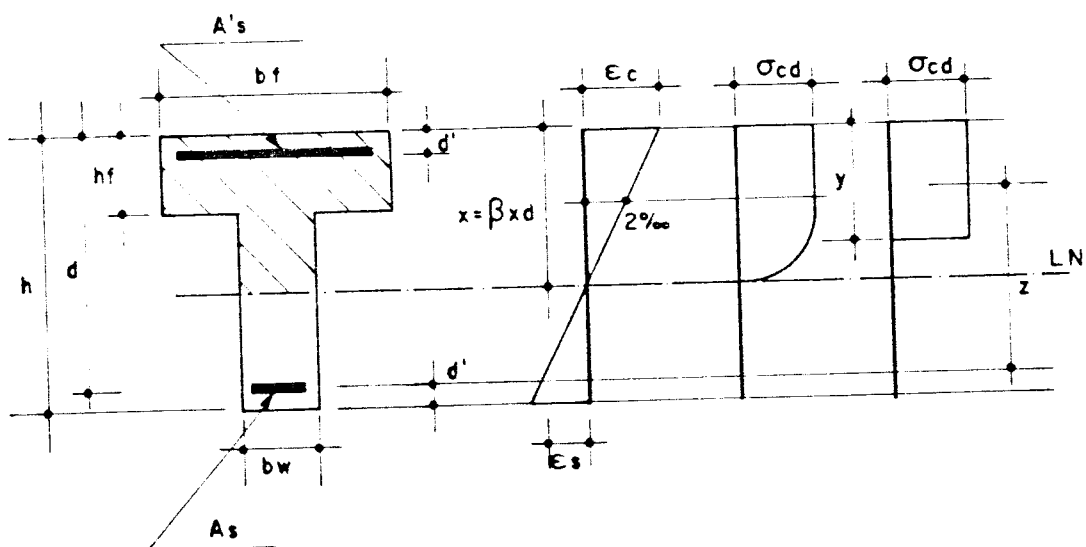


fig. 3.4 - Notação empregada - seção "T"

- b_f - largura da mesa
- h_f - altura da mesa
- b_v - largura da alma
- h - altura da seção

As notações apresentadas e as convenções adotadas são as regularmente encontradas na literatura, dispensando-se maiores detalhes. Outras notações e convenções serão apresentadas no decorrer do capítulo, à medida que forem necessárias.

3.3.3 - EQUACIONAMENTO

O dimensionamento de seções transversais de concreto armado está baseado em três tipos de equações : equilíbrio, compatibilidade e equações constitutivas.

Diz-se que a seção encontra-se em equilíbrio quando os esforços resistentes, contrapostos às solicitações atuantes, formam, em conjunto, um sistema equivalente a zero, isto é, os esforços resistentes são iguais aos esforços atuantes.

As equações de compatibilidade são aplicadas sob a hipótese de BERNOULLI-NAVIER, em que as deformações são consideradas compatíveis entre si quando se distribuem linearmente ao longo da altura da seção.

Finalmente, as equações constitutivas são as que relacionam as tensões com as deformações e vice-versa, em função dos diagramas tensão-deformação dos diversos materiais que compõem a seção, conforme o Capítulo II.

Equações de Equilíbrio

Existem apenas duas equações de equilíbrio :

- equilíbrio das forças normais e
- equilíbrio dos momentos fletores.

$$0 = R_{cc} - R_s + R'_s$$

$$M_d = M_{cd} + R'_s d$$

.. 3.1

em que :

R_{cc} - resultante no concreto comprimido
 R_s - resultante na armadura longitudinal tracionada
 R'_s - resultante na armadura longitudinal comprimida
 M_{cd} - momento resultante do concreto comprimido, em relação à armadura longitudinal tracionada

Nas expressões (3.1), o número de incógnitas é maior que o número de equações. Deve-se, portanto, fixar variáveis a fim de tornar possível a resolução do problema. A largura b é naturalmente escolhida em função de determinações arquitetônicas e construtivas a que estão submetidas as estruturas de concreto armado em edifícios. A posição da linha neutra x é fixada em razão de relações que levam ao total aproveitamento da capacidade dos materiais presentes na seção transversal ou critérios econômicos. Para uma relação qualquer entre a altura útil d e a altura da seção h , há infinitas soluções em função da posição da linha neutra x fixada. Alguns critérios adequados para a fixação da posição da linha neutra x serão apresentados adiante.

Observando-se a distribuição simplificada de tensões, ou seja, retangular, apresentam-se os modelos para o equacionamento da seção retangular e seção "T" a seguir :

Seção Retangular

$$0 = 0,68bd\beta_x f_{cd} - A_s \sigma_s + A'_s \sigma'_s$$

$$M_d = 0,68bd^2\beta_x (1 - 0,4\beta_x) f_{cd} + A'_s \sigma'_s d$$

.. 3.2

Seção "T"

$$0 = 0,85 \left[b_f h_f + b_v (0,8\beta_x d - h_f) \right] f_{cd} - A_s \sigma_s + A'_s \sigma'_s$$

$$M_d = 0,85 \left[b_f h_f (d - h_f/2) + b_v (0,8\beta_x d - h_f) (d - (h_f/2 + 0,4\beta_x d)) \right] f_{cd} + A'_s \sigma'_s d$$

.. 3.3

Lembrando-se que :

$$\sigma_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c ; \quad y = 0,8x ; \quad \beta_x = x/d ;$$

.. 3.4

Equações de Compatibilidade

As equações de compatibilidade fixam relações entre as deformações existentes na seção de concreto armado. A linha neutra é o ponto de partida para o equacionamento onde a deformação vale zero. Através de simples relações de triângulos, conforme fig. 3.5 , definem-se as seguintes relações de compatibilidade de deformações :

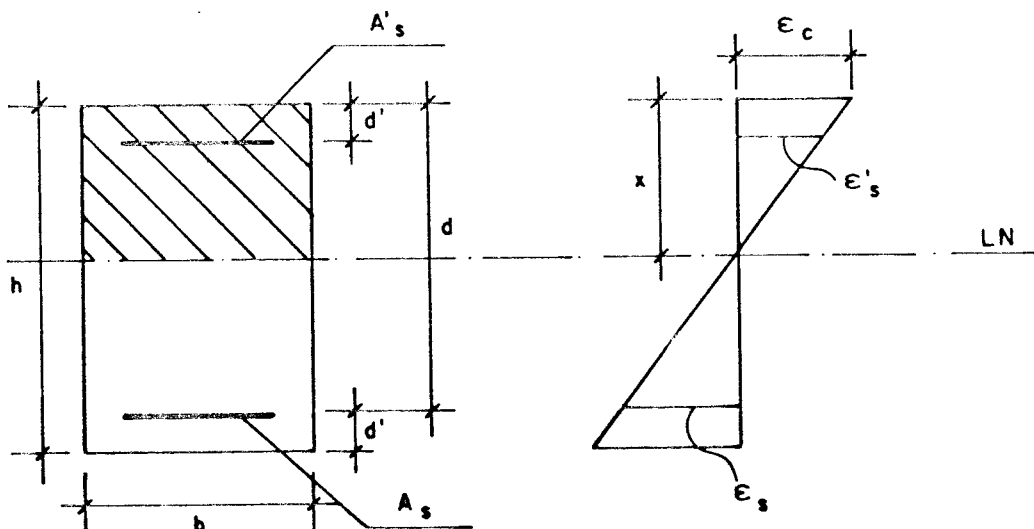


fig. 3.5 - Deformações

$$\beta_x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s}$$

$$\epsilon_s = \frac{1 - \beta_x}{\beta_x} \epsilon_c$$

$$\epsilon'_s = \frac{\beta_x - d'/d}{\beta_x} \epsilon_c$$

.. 3.5

Estas relações são válidas tanto para seções retangulares como para seções "T", desde que solicitadas à flexão normal simples.

3.3.4 - CRITÉRIOS DE CÁLCULO

Os critérios de cálculo introduzidos neste trabalho têm o objetivo de simplificar o equacionamento do problema, observando-se a possibilidade de adequação do dimensionamento à experiência de cada calculista. Os requisitos básicos para a aplicação dos critérios são a pré-determinação da largura b em seções retangulares e as dimensões b_v , b_f e h_f em seções "T". A seguir, apresentam-se os critérios propostos por este trabalho para as referidas seções transversais.

Seção Retangular

Para a determinação da altura útil da seção transversal d , determinada previamente sua largura b , fixa-se a posição adimensional da linha neutra β_x na posição limite entre os domínios de deformação 3 e 4.

$$\beta_{x34} = \frac{3,5}{3,5 + \epsilon_{y d}}$$

.. 3.6

em que :

ϵ_{yd} - deformação específica de cálculo de início de escoamento do aço na tração

Para o caso em que não há presença de armadura longitudinal de compressão, a partir das expressões (3.2), a altura útil e a área da armadura da seção podem ser calculadas através das expressões (3.7).

$$d = \sqrt{\frac{M_d}{0,68\beta_{x34}(1 - 0,4\beta_{x34})f_{cd}}}$$

$$A_s = 0,68bd\beta_{x34}f_{cd}/f_{yd}$$

.. 3.7

Em vigas contínuas de edifícios de concreto armado, nos apoios intermediários, ocorrem picos de momentos fletores negativos. Para um melhor aproveitamento da seção de concreto, pode-se determinar a utilização de armadura dupla nas regiões dos apoios. Fixada a mesma posição adimensional para a linha neutra $\beta_x = \beta_{x34}$, um coeficiente, cc, determina a participação do concreto na absorção dos esforços solicitantes, atribuindo-lhe uma parcela do esforço total de acordo com a experiência do calculista. As expressões (3.8), a seguir, apresentam algebricamente a explicação acima.

$$d = \sqrt{\frac{M_d/cc}{0,68\beta_{x34}(1 - 0,4\beta_{x34})f_{cd}}}$$

$$A'_s = \frac{(cc - 1)}{cc} M_d/(\sigma'_s d)$$

$$A_s = (0,68bd\beta_{x34}f_{cd} + A'_s\sigma'_s)/f_{yd}$$

.. 3.8

em que :

cc - coeficiente de cálculo

A tensão na armadura longitudinal comprimida σ'_s é calculada a partir da deformação ϵ'_s , expressão (3.5), e da classe do aço, A ou B.

Em função do alojamento da armadura longitudinal tracionada, o valor máximo de cc proposto neste trabalho para seções retangulares é 1,50 .

Para as demais seções do tramo da viga em que o momento fletor solicitante é menor que aquele resistido pelo concreto comprimido com a fixação da posição adimensional da linha neutra $\beta_x = \beta_{x34}$, com armadura simples portanto, basta determinar-se a posição da linha neutra x e calcular a área da armadura longitudinal tracionada correspondente.

$$M_d = 0,68bx(d - 0,4x)f_{cd}$$

$$\frac{M_d}{0,68bf_{cd}} = dx - 0,4x^2$$

$$x = \frac{d - \sqrt{\Delta}}{0,8} ; \quad \Delta = d^2 - \frac{M_d}{0,425bf_{cd}}$$

$$A_s = 0,68bxf_{cd}/f_{yd}$$

.. 3.9

Seção "T"

Para seções "T", a fixação da posição adimensional da linha neutra na posição limite entre os domínios de deformação 3 e 4 pode acarretar uma incompatibilidade da seção com o alojamento da armadura longitudinal tracionada. Deve ser observada a relação entre as

dimensões fixas da seção transversal, ou seja, a largura da alma b_v , a largura b_f e a altura h_f da mesa, a fim de determinar-se uma relação entre elas e a posição adimensional da linha neutra β_x a fixar, conforme a fig. 3.6 .

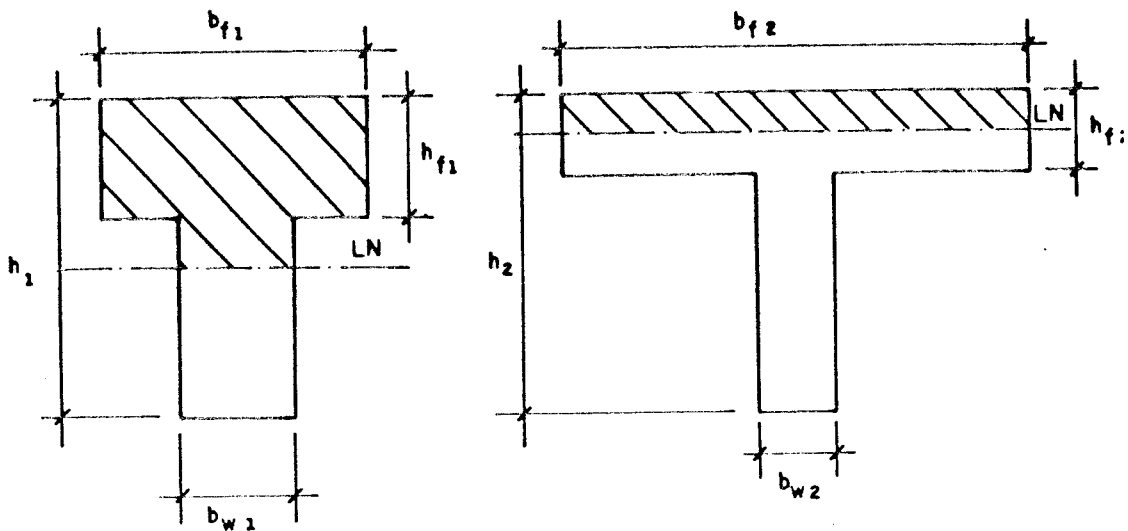


fig. 3.6 - Relações $b_v \times b_f \times h_f$

Fixada a posição adimensional da linha neutra β_x , um procedimento análogo ao tomado para o equacionamento da seção retangular é válido para seção "T". Para armadura simples, a partir das expressões (3.3), tem-se :

$$\beta_x(0,8 - 0,32\beta_x)d^2 + (h_f/b_v)(b_f - b_v)d - k = 0$$

$$k = \frac{2M_d + 0,85h_f^2(b_f - b_v)f_{cd}}{1,70b_v f_{cd}}$$

ou seja :

$$Ad^2 + Bd + C = 0$$

$$d = \frac{-B + \sqrt{\Delta}}{2A} ; \quad \Delta = B^2 - 4AC$$

$$A_{\epsilon} = 0,85 \left[b_f h_f + b_v (0,8\beta_x d - h_f) \right] f_{cd} / f_{yd} \quad \dots 3.10$$

Para a fixação do coeficiente de cálculo cc, também devem ser observadas as dimensões relativas da seção. As incógnitas são calculadas através das expressões (3.11) .

$$\beta_x (0,8 - 0,32\beta_x) d^2 + (h_f/b_v)(b_f - b_v)d - k = 0$$

$$k = \frac{2M_d/cc + 0,85h_f^2(b_f - b_v)f_{cd}}{1,70b_v f_{cd}}$$

ou seja :

$$Ad^2 + Bd + C = 0$$

$$d = \frac{-B + \sqrt{\Delta}}{2A} ; \quad \Delta = B^2 - 4AC$$

$$A'_{\epsilon} = \frac{(cc - 1)}{cc} M_d / (\sigma'_{\epsilon} d)$$

$$A_{\epsilon} = \left\{ 0,85 \left[b_f h_f + b_v (0,8\beta_x d - h_f) \right] f_{cd} + A'_{\epsilon} \sigma'_{\epsilon} \right\} / f_{yd}$$

...3.11

Para as demais seções do tramo da viga, tem-se :

$$0,32x^2 - 0,8dx + h_f/2(2d - h_f) + k = 0$$

$$k = \frac{M_d - 0,85b_f h_f (d - h_f/2) f_{cd}}{0,85b_v f_{cd}}$$

ou seja :

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

$$x = \frac{-B + \sqrt{\Delta}}{2A} ; \quad \Delta = B^2 - 4AC$$

$$A_s = 0,85 \left[b_f h_f + b_v (0,8x - h_f) \right] f_{cd} / f_{yd}$$

..3.12

As relações entre as dimensões da seção transversal e a posição adimensional da linha neutra β_x e o coeficiente de cálculo α estão ainda em fase de estudos, não sendo apresentadas neste trabalho.

3.3.5 - PROCESSO DE CÁLCULO

Os objetivos são determinarem-se a altura da seção de concreto que conduza a peça a resistir as solicitações segundo os critérios de cálculo propostos acima, e as respectivas áreas das armaduras longitudinais tracionada e comprimida.

Após a identificação da seção transversal quanto a sua forma, retangular ou "T", através de suas dimensões e do sinal do momento fletor, tem início o processo de cálculo. Esse processo consiste na determinação dos esforços limites para seção de concreto e o enquadramento da mesma segundo as três possibilidades acima descritas : armadura simples ou armadura dupla com alteração da altura da seção, e armadura simples sem alteração da altura da seção, ou seja, dimensionamento da seção e da armadura, e dimensionamento apenas da armadura. Determinada a condição de dimensionamento, o cálculo das dimensões e áreas das armaduras é feito diretamente conforme as expressões acima apresentadas.

3.4 - PROGRAMA VIGA

O Programa VIGA é responsável pelo dimensionamento da armadura e racionalização de seções retangulares ou seções "T" submetidas à flexão normal simples em vigas de pavimentos de edifícios de concreto armado.

3.4.1 - ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

O Programa VIGA é composto por uma única unidade de processamento responsável por :

Leitura de dados,
Processamento numérico e
Impressão de resultados.

A entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer. Não há consistência de dados.

O processamento numérico envolve o processo de determinação dos esforços limites correspondentes à seção transversal em questão e, posteriormente, a racionalização da própria seção e o dimensionamento da armadura de flexão. Não há geração de dados auxiliares e o processamento é totalmente feito ao nível da memória do micro-computador.

Os resultados são gravados em arquivo formatado, à medida que são processados.

3.4.2 - ENTRADA DE DADOS

Como comentado no item anterior , a entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer.

O arquivo de dados contém os seguintes itens :

Cabeçalho :

Contem as informações necessárias à especificação do projeto, cliente, materiais e seção transversal. Possui as seguintes variáveis :

Projeto : especificação do projeto
Cliente : identificação do cliente
Pavimento : especificação do pavimento
fck : resistência característica do concreto à compressão
fyk : resistência característica do aço à tração
aço : classe do aço

Definição das vigas :

Os vigas são definidas através de nomes começados obrigatoriamente pela letra "V". Para cada viga são fornecidas suas barras e dimensões, base, altura e cobrimento da armadura e, a cada seção, o momento fletor de projeto M_k em um total de onze seções por tramo de viga.

V* - nome da viga
barra - número da barra que representa o tramo da viga
b - base
h - altura
d' - cobrimento da armadura
 M_k - momento fletor de projeto

FIM :

Este item é o delimitador de arquivos. Deve ser a última instrução contida no arquivo a fim de determinar o término do fornecimento de dados para o processamento de

vigas.

A seguir, apresenta-se a forma do arquivo de dados.

```
Projeto
Cliente
Pavimento
fck fyk aço
V*
barra
b h d'
Mk (0)
.
.
Mk (10)
.
.
barra
b h d'
Mk (0)
.
.
Mk (10)
V*
.
.
FIM
```

3.4.3 - SAÍDA DE RESULTADOS

Como resultado do processamento, o Programa VIGA fornece um arquivo formatado contendo as informações de entrada e as armaduras resultantes do processamento.

No Capítulo VII, Exemplos, o arquivo formatado será apresentado em sua forma original e com as explicações necessárias.

3.4.4 - LIMITES DO PROGRAMA

O processamento é feito à medida que a leitura do arquivo de dados é efetuada. Portanto, não há limites para o número de vigas e barras por viga no programa.

3.5 - PILAR : RACIONALIZAÇÃO DE SEÇÕES

3.5.1 - INTRODUÇÃO

O dimensionamento de armaduras em peças lineares de concreto armado com seção retangular solicitadas à flexão oblíqua composta, em seu caso mais geral de solicitação, teve um avanço significativo com os trabalhos de Cabré [11] e Montoya [12], em que é sistematizada a construção de ábacos adimensionais de interação. A partir da escolha do tipo de aço utilizado e da disposição das barras na seção transversal, o dimensionamento pode ser feito com o auxílio de tais ábacos, rápida e seguramente.

Com o surgimento dos micro-computadores no final dos anos setenta, o uso de ábacos e tabelas por profissionais de engenharia tende a desaparecer. A elaboração de programas que permitam cálculos muito mais eficientes do ponto de vista da escolha da solução, rapidez e segurança nos valores obtidos reforça esta tendência.

No caso do dimensionamento de pilares de edifícios, a tendência atual é a da elaboração de sistemas computacionais que permitam o cálculo completo dos pilares, seguido da construção, via traçador gráfico, dos desenhos e das tabelas finais do projeto.

Assim, com o objetivo de obter-se um algoritmo que possibilite o dimensionamento de seções retangulares solicitadas à flexão oblíqua composta para uso individual ou em sistemas computacionais mais completos, é proposto um processo de cálculo para a resolução do problema. O processo proposto passa por quatro etapas até chegar-se ao programa final de racionalização e dimensionamento da

armadura da seção transversal da peça.

A primeira etapa consiste na elaboração do Programa PILAR1 (item 3.5.3), em que as equações básicas do problema são resolvidas. Através de um processo iterativo, aproxima-se a solução do sistema não linear formado pelas equações de equilíbrio de força e de momentos. De maneira orientada, procura-se obter a taxa mecânica da armadura que equilibre o sistema para uma seção transversal com disposição de armadura previamente definida. Como sub-produto do equacionamento e do processo de cálculo aprovados, são construídos ábacos de flexão.

A utilização do micro-computador ainda apresenta resistência por parte de alguns profissionais. Portanto, é de valioso interesse a construção de ábacos de interação para aqueles que não se abituaram às máquinas. É de responsabilidade dos Programas PILAR2 e PILAR3 (item 3.5.5) a construção das tabelas com os pontos das curvas de interação e a codificação destas em ábacos, respectivamente. Esses ábacos possuem uma característica diferente dos ábacos até então apresentados : a relação cobertura/altura para as diferentes direções pode variar. Com isto, seções retangulares podem ser melhor relacionadas aos respectivos ábacos. É importante notar que esses parâmetros adimensionais, cobertura/altura e cobertura/largura, são necessários para a definição da taxa mecânica da armadura. Sem eles, os resultados obtidos ficam prejudicados.

O terceiro passo é a escolha criteriosa de ábacos que representem a parcela de seções utilizadas em edifícios, e o equacionamento desses ábacos. Com o sistema já resolvido pelos programas anteriores, o Programa PILAR4 (item 3.5.7) fornece, rapidamente, a taxa mecânica da armadura para seções com uma armadura padronizada, regularmente distribuída ao longo do perímetro do estribo.

Com a viabilização do processo, em termos de tempo de processamento proporcionado pelo equacionamento dos ábacos de flexão, a quarta etapa, racionalização e

dimensionamento da armadura da seção transversal, exige critérios de cálculo para sua efetivação. O Programa PILAR5 (item 3.5.9) promove uma adequação da seção aos esforços a que está submetida através desses critérios de cálculo e dos ábacos de flexão equacionados.

Através de um programa de análise, os esforços são determinados e com um processo iterativo a racionalização das seções do edifício podem ser rapidamente executadas.

A seguir, é descrito o processo para elaboração do programa de racionalização de seções submetidas à flexão oblíqua composta.

3.5.2 - DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA - EQUACIONAMENTO EXATO

3.5.2.1 - CONVENÇÕES

Notação Empregada

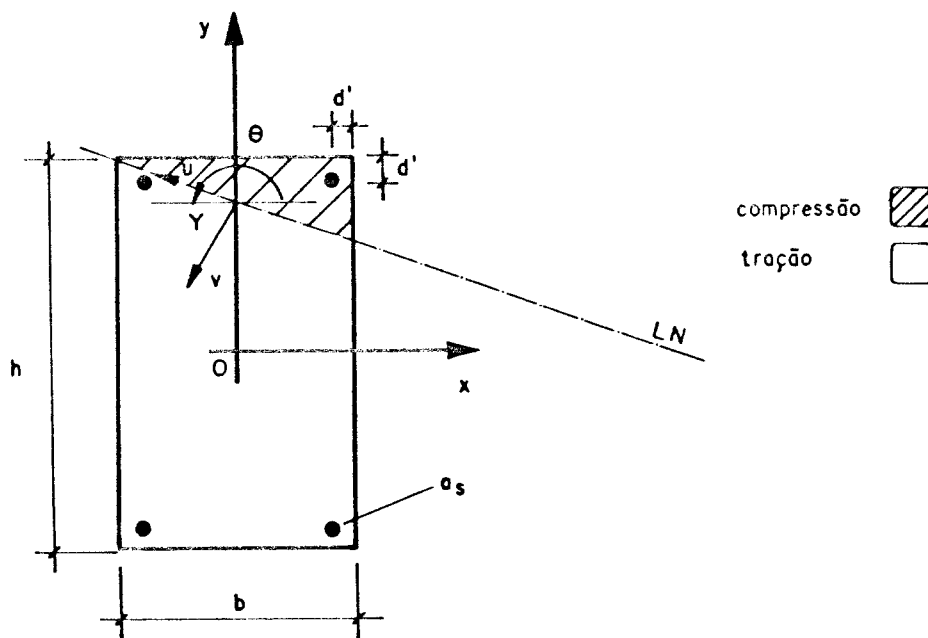


fig. 3.7 - Notação empregada

b - largura da seção
 h - altura da seção
 h' - altura projetada da seção
 d' - cobrimento da armadura
 a_s - área de uma barra de aço
 $N_{d,ext}$ - força normal de cálculo externa
 $M_{xd,ext}$ - momento fletor de cálculo, segundo x , externo
 $M_{yd,ext}$ - momento fletor de cálculo, segundo y , externo
 $\nu_{d,ext}$ - força normal reduzida de cálculo externa
 $\mu_{xd,ext}$ - momento fletor reduzido de cálculo, segundo x , externo
 $\mu_{yd,ext}$ - momento fletor reduzido de cálculo, segundo y , externo
 O_{xy} - sistema coordenado cartesiano de referência
 O'_{uv} - sistema coordenado cartesiano auxiliar
 Y - profundidade da linha neutra
 θ - inclinação da linha neutra
 α - relação entre μ_x e μ_y
 ξ - posição adimensional

Nas convenções adotadas relativas ao equacionamento, procuram-se a simplificação no desenvolvimento matemático, a compatibilização de sinais nas condições de equilíbrio de força e de momentos e, principalmente, facilidades na entrada de dados. As convenções dizem respeito aos sistemas de coordenadas, às condições de carregamento e à distribuição de armadura adotada.

Sistemas de Coordenadas

O sistema O_{xy} , sistema coordenado cartesiano global de referência, com centro O , no centro de gravidade da seção de concreto e dextrorso. O sistema O'_{uv} , sistema coordenado cartesiano auxiliar, com centro O' , em $(0, Y)$ do sistema O_{xy} , em que Y é a profundidade da linha neutra, girado de um ângulo θ , referente à inclinação da linha neutra, também dextrorso, conforme a fig. 3.8.

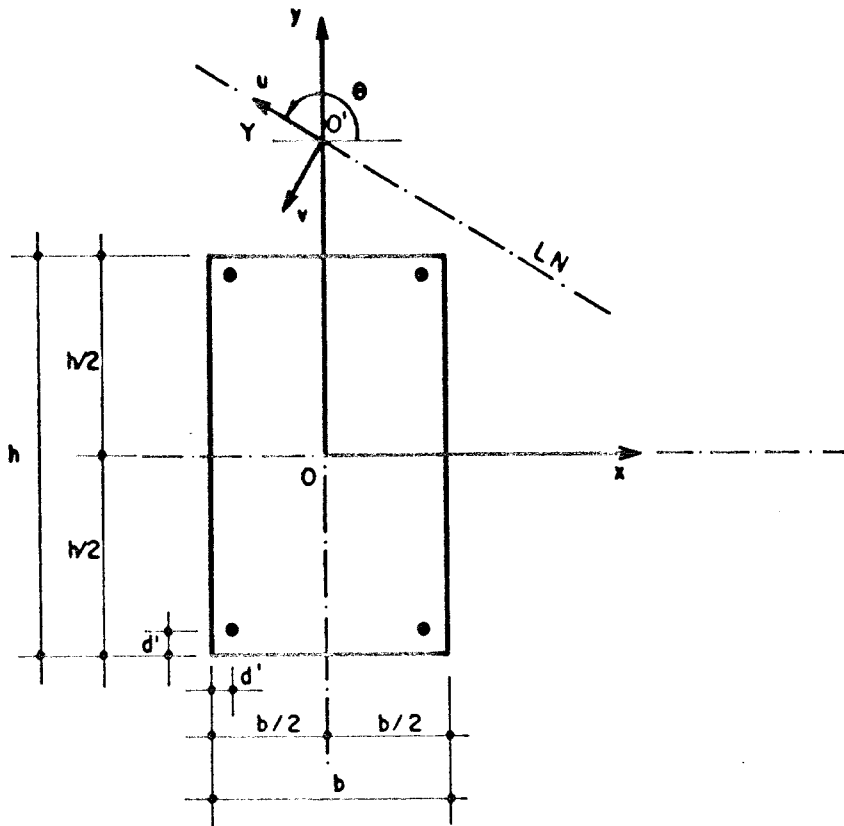


fig. 3.8 - Sistemas de coordenadas

Condições de Carregamento

As condições de carregamento estão definidas de maneira que, quantitativamente, levam a região situada no primeiro quadrante do sistema O_{xy} a ser a menos tracionada. Isto equivale a dizer que os momentos solicitantes sempre causam tensão de compressão neste quadrante, independentemente do esforço normal.

Para facilidade da entrada de dados, têm-se as seguintes convenções para os esforços solicitantes :

- força normal : positiva de compressão;
- momentos fletores : positivos, sempre

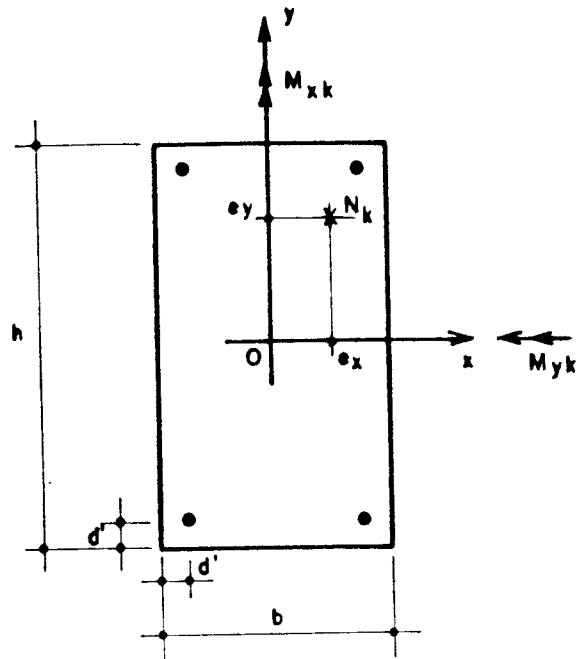


fig. 3.9 - Força normal de compressão

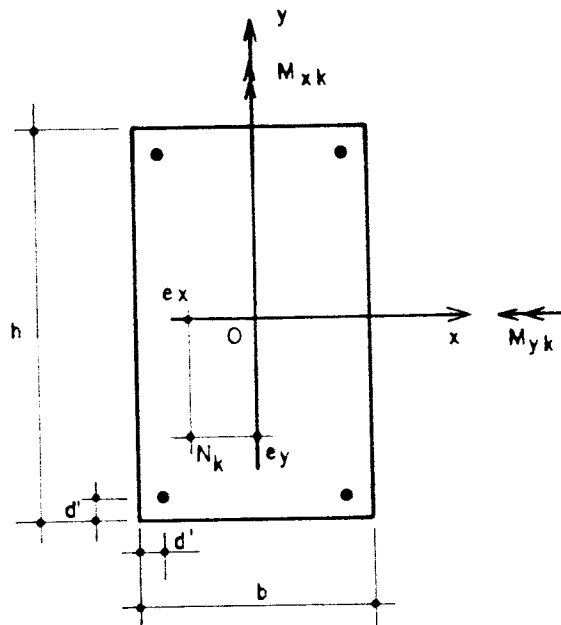


fig. 3.10 - Força normal de tração

Distribuição da Armadura

A distribuição da armadura adotada leva à simetria

das barras com relação às faces opostas, isto é, o mesmo número de barras por face a cada direção. No equacionamento, a contribuição da armadura é considerada barra a barra. As coordenadas dos pontos são referentes ao sistema O_{xy} , numerados a partir do terceiro quadrante, em sentido anti-horário, conforme a fig. 3.11.

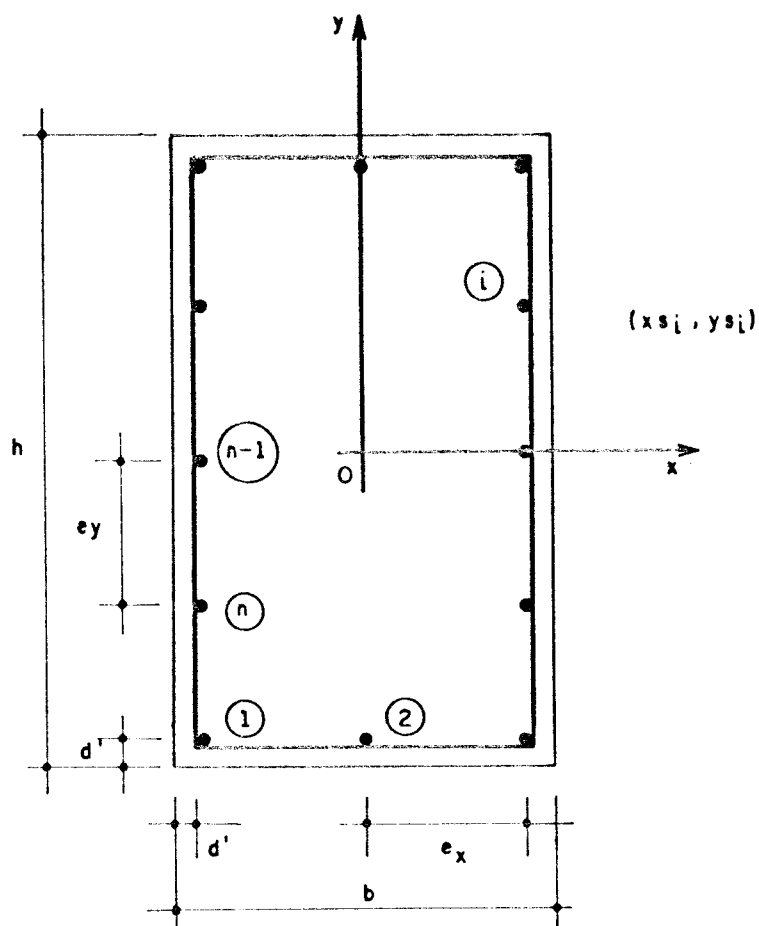


fig. 3.11 - Distribuição da armadura

Demais notações e convenções necessárias para a definição do problema serão apresentadas no decorrer do capítulo.

3.5.2.2 - EQUACIONAMENTO

As equações básicas envolvidas no dimensionamento de seções de concreto armado impõem o equilíbrio entre as

solicitações e os esforços internos e a compatibilidade de deformações, definidas linearmente a partir da linha neutra.

Equações de Equilíbrio

Para uma seção retangular de concreto armado, como representada na fig. 3.12, pode-se escrever as seguintes equações de equilíbrio :

$$N_{d,ext} = \int_{Acc} \sigma_{cd} dA + \sum_{i=1}^{n_s} a s_i \sigma_{s_i d}$$

$$M_{xd,ext} = \int_{Acc} \sigma_{cd} x dA + \sum_{i=1}^{n_s} a s_i \sigma_{s_i d} x s_i$$

$$M_{yd,ext} = \int_{Acc} \sigma_{cd} y dA + \sum_{i=1}^{n_s} a s_i \sigma_{s_i d} y s_i$$

.. 3.13

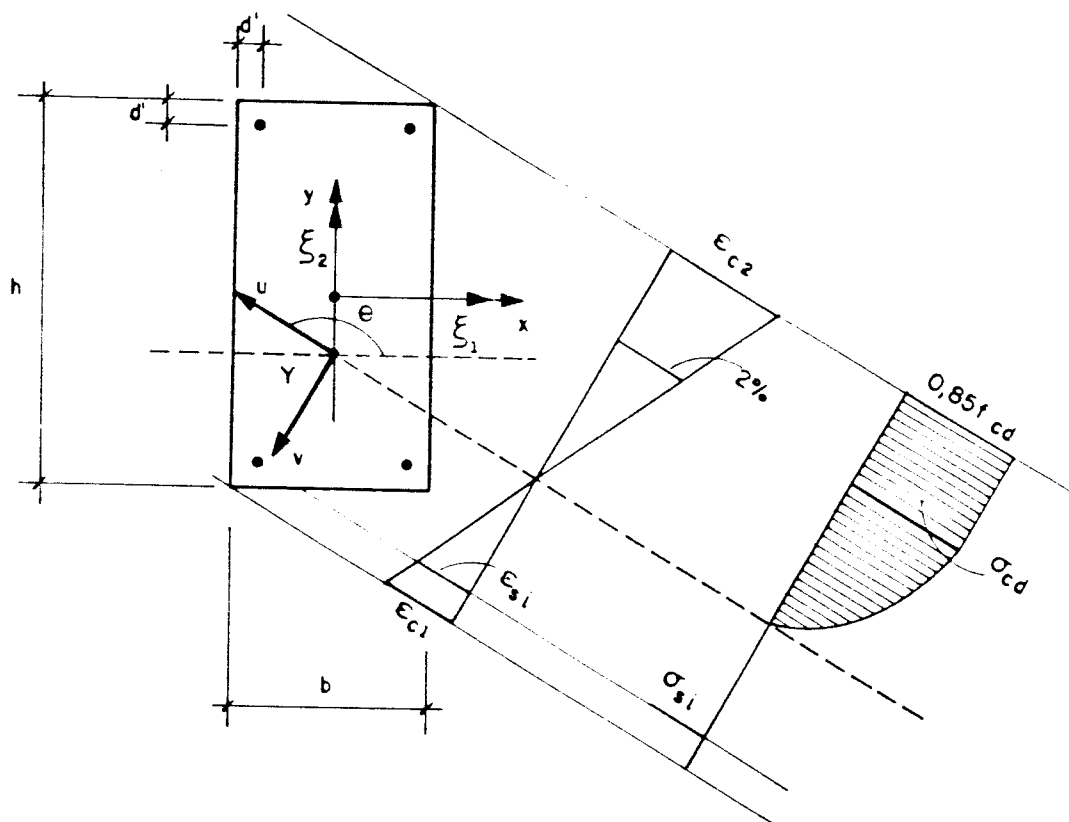


fig. 3.12 - Seção retangular - tensões e deformações

em que :

A_{cc} - área de concreto comprimido
 σ_{cd} - tensão de cálculo para o concreto
 (diagrama parábola-retângulo de tensões)
 x, y - coordenadas do ponto da seção considerada
 ns - número de barras da armadura
 $\sigma_{s_{id}}$ - tensão na barra i da armadura
 xs_i, ys_i - coordenadas da barra i da armadura

Considerando-se essa geometria particular e com o auxílio de coordenadas adimensionais (ξ_1, ξ_2) , tais que :

$$\xi_1 = 2x/b \qquad \xi_2 = 2y/h \qquad \dots 3.14$$

obtem-se :

$$\begin{aligned}
 N_{d,ext} &= bh/4 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \sigma_{cd}(\xi_1, \xi_2) d\xi_1 d\xi_2 + \sum_{i=1}^{ns} as_i \sigma_{s_{id}} \\
 M_{xd,ext} &= b^2 h/8 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \sigma_{cd}(\xi_1, \xi_2) \xi_1 d\xi_1 d\xi_2 + b/2 \sum_{i=1}^{ns} as_i \sigma_{s_{id}} \xi_{s_{1i}} \\
 M_{yd,ext} &= bh^2/8 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \sigma_{cd}(\xi_1, \xi_2) \xi_2 d\xi_1 d\xi_2 + h/2 \sum_{i=1}^{ns} as_i \sigma_{s_{id}} \xi_{s_{2i}}
 \end{aligned}
 \qquad \dots 3.15$$

As integrais indicadas nas equações (3.15) podem ser calculadas numericamente, para uma certa linha neutra escolhida, com auxílio do processo de Gauss. Assim, obtem-se :

$$\begin{aligned}
 N_{d,ext} &= bh/4 \sum_{k=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} \left[\sigma_{cd}(\xi_1, \xi_2) \right]_{jk} + \sum_{i=1}^{ns} as_i \sigma_{s_{id}} \\
 M_{xd,ext} &= b^2 h/8 \sum_{k=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} \left[\sigma_{cd}(\xi_1, \xi_2) \xi_1 \right]_{jk} \omega_j \omega_k + b/2 \sum_{i=1}^{ns} as_i \sigma_{s_{id}} \xi_{s_{1i}} \\
 M_{yd,ext} &= bh^2/8 \sum_{k=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} \left[\sigma_{cd}(\xi_1, \xi_2) \xi_2 \right]_{jk} \omega_j \omega_k + h/2 \sum_{i=1}^{ns} as_i \sigma_{s_{id}} \xi_{s_{2i}}
 \end{aligned}
 \qquad \dots 3.16$$

em que :

n_g - número de pontos de Gauss

ξ_1, ξ_2 - posição adimensional do ponto considerado

ω_j, ω_k - pesos do processo de Gauss utilizado

A somatória é feita sobre todo o domínio, conforme qualquer processo gausseano, com aproximação tanto melhor quanto maior o número de pontos utilizados. Utilizando-se (4x4) pontos de Gauss (tab. 3.1), observou-se uma boa aproximação para o cálculo numérico desse tipo de integral.

Na tab. 3.1, ξ representa a posição do ponto, em termos adimensionais, com origem no centro geométrico do retângulo; ω é o correspondente peso de Gauss utilizado.

tab. 3.1 - Pesos de Gauss
4 e 6 pontos de interação

4 pontos de Gauss		6 pontos de Gauss	
ξ_j	ω_j	ξ_j	ω_j
0,33998104	0,65214515	0,23861918	0,46791393
0,86113631	0,34785484	0,66120938	0,36076157
-0,33998104	0,65214515	0,93246951	0,17132449
-0,86113631	0,34785484	-0,23861918	0,46791393
		-0,66120938	0,36076157
		-0,93246951	0,17132449

Equações de Compatibilidade

No equacionamento de uma seção de concreto armado, além do equilíbrio entre os esforços resistentes e solicitantes, é necessário impor a compatibilização de deformações. Essencialmente, tais condições são impostas pelas hipóteses de manutenção da forma plana para a seção

transversal e iguais deformações para concreto e aço em posições equidistantes da linha neutra.

Para a obtenção das equações de compatibilidade, o plano de deformações é definido pelo sistema cartesiano de coordenadas auxiliar O'_{uv} (fig. 3.12). Este sistema está relacionado com o sistema coordenado cartesiano de referência O_{xy} através da seguinte transformação linear :

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \text{sen}\theta \\ -\text{sen}\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} x \\ y - Y \end{Bmatrix} \quad \dots 3.17$$

A partir desse sistema de coordenadas O'_{uv} , uma simples relação linear define a deformação em todos os pontos da seção transversal.

Os domínios de deformação no estágio limite último de ruptura ou deformação plástica excessiva são agrupados em três regiões de deformação, conforme Cap. II, e repetidos aqui por clareza.

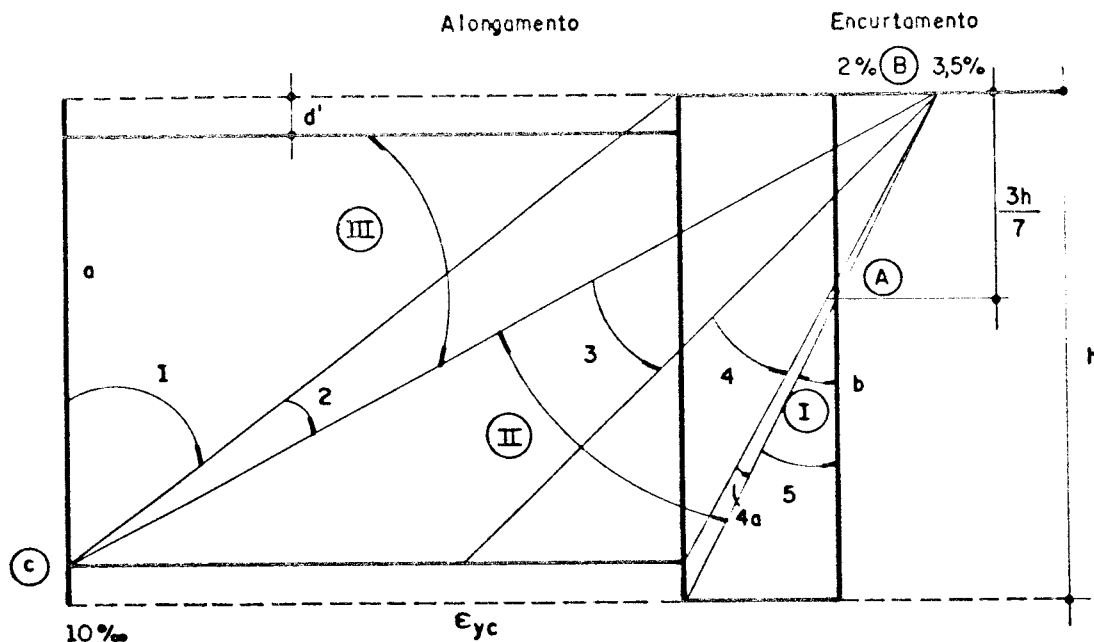


fig. 3.13 - Regiões de deformação

Região I : reta b e domínio 5; diagramas de deformação passam pelo ponto A

Região II : domínios 4a, 4 e 3; diagramas de deformação passam pelo ponto B

Região III : domínios 1 e 2 e reta a; diagramas de deformação passam pelo ponto C

Utilizando-se a transformação (3.17), a equação da deformação em um ponto qualquer da peça tem a forma linear apresentada a seguir :

$$\epsilon = \beta v$$

.. 3.18

em que :

ϵ - deformação

β - coeficiente de deformação

v - ordenada do ponto em O'_{uv}

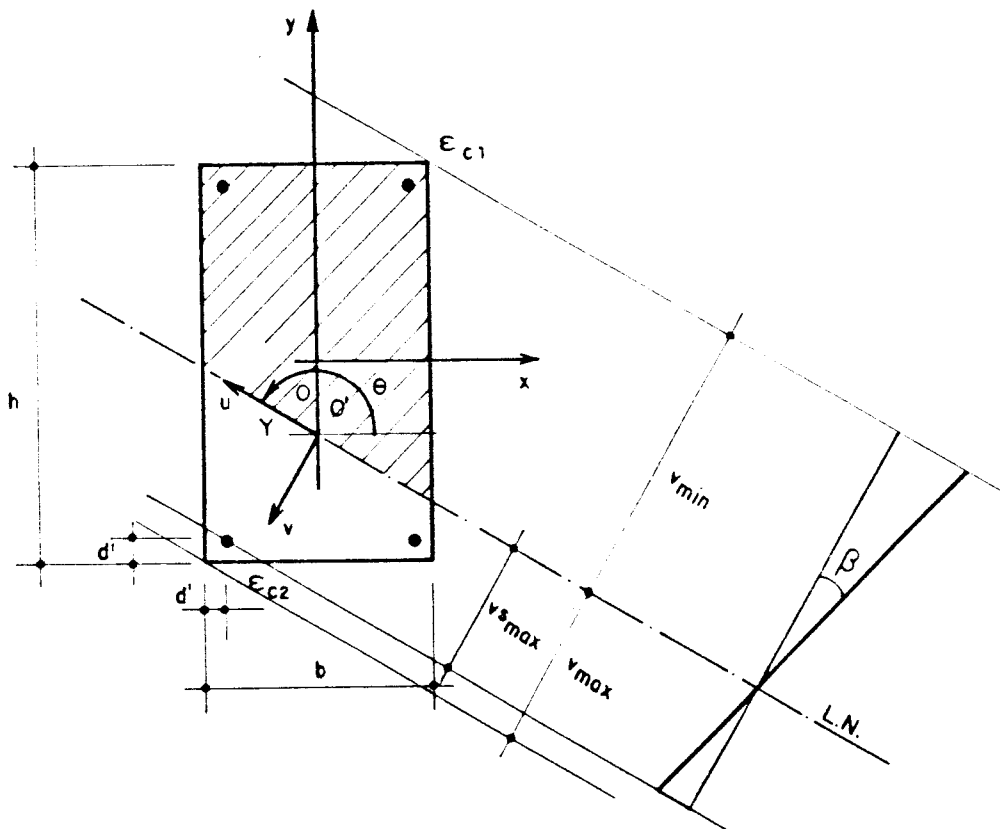


fig. 3.14 - Coeficiente de deformação

Definidas a posição Y e a inclinação θ da linha neutra, para cada região de deformação, o coeficiente de deformação β é facilmente determinado. Na fig. 3.14, o coeficiente de deformação β vale :

$$\beta = \epsilon_{cs} / v_{\min} \quad \dots 3.19$$

3.5.2.3 - PROCESSO DE CÁLCULO

O objetivo é determinarem-se a posição Y e a inclinação θ da linha neutra que equilibram os esforços resistentes e solicitantes de acordo com as condições últimas de deformação da seção transversal, e a taxa mecânica ω da armadura necessária.

O sistema (3.13) passa a ser representado sob forma adimensional :

$$\begin{aligned} v_{d,ext} &= v_c + \omega v_s \\ \mu_{xd,ext} &= \mu_{xc} + \omega \mu_{xs} \\ \mu_{yd,ext} &= \mu_{yc} + \omega \mu_{ys} \end{aligned} \quad \dots 3.20$$

em que :

$$v_{d,ext} = \frac{N_{d,ext}}{A_c f_{cd}}; \quad v_c = \frac{N_c}{A_c f_{cd}}; \quad v_s = \frac{N_s}{A_s f_{yd}};$$

$$\mu_{xd,ext} = \frac{M_{xd,ext}}{A_c f_{cd} b}; \quad \mu_{xc} = \frac{M_{xc}}{A_c f_{cd} b}; \quad \mu_{xs} = \frac{M_{xs}}{A_s f_{yd} b};$$

$$\mu_{yd,ext} = \frac{M_{yd,ext}}{A_c f_{cd} h}; \quad \mu_{yc} = \frac{M_{yc}}{A_c f_{cd} h}; \quad \mu_{ys} = \frac{M_{ys}}{A_s f_{yd} h};$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad ; \quad A_c = bh \quad ; \quad A_s = \text{área de aço};$$

.. 3.21

Com a adimensionalização das equações de equilíbrio, as dificuldades provocadas pelas unidades utilizadas são bastante minimizadas e as equações tornam-se adequadas ao processo de cálculo proposto.

O processo de cálculo consiste na determinação do intervalo que contém a solução e em sua aproximação. Na primeira etapa, determinação do intervalo, fixa-se a inclinação θ da linha neutra nos extremos do seu intervalo, ou seja, eixos vertical θ_v , e horizontal θ_h .

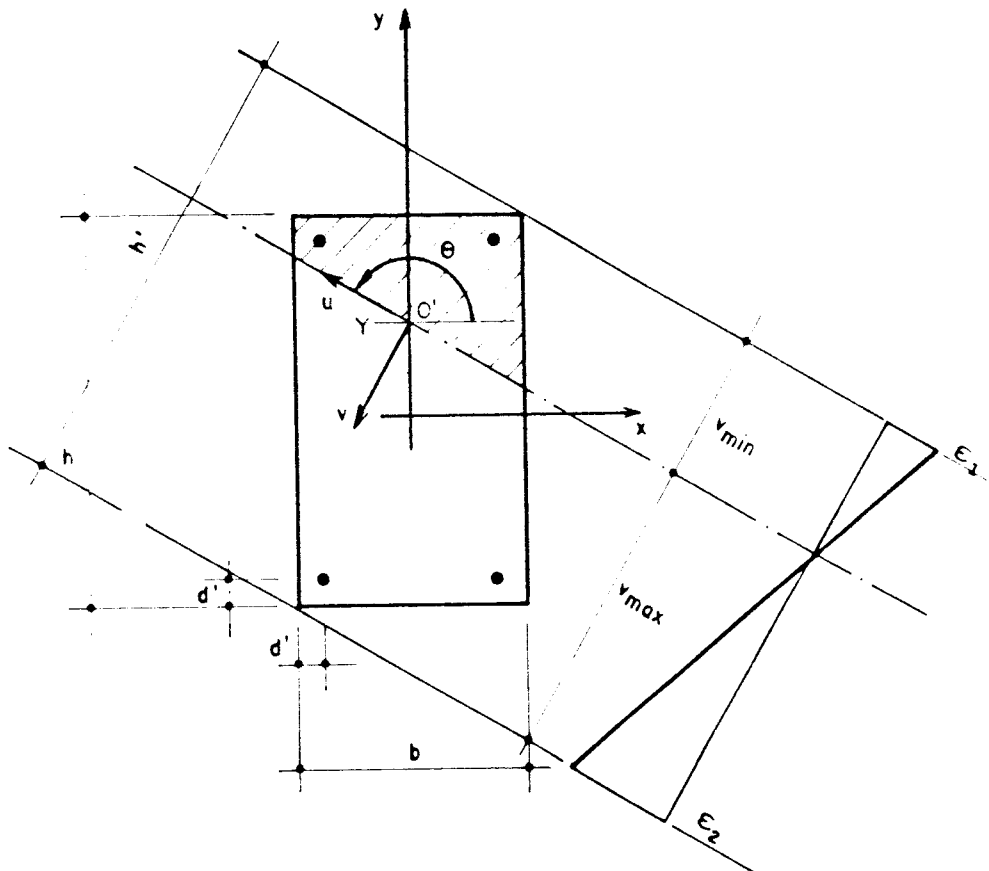


fig. 3.15 - Profundidade da linha neutra limite entre os domínios 3 e 4

Fixada a inclinação θ da linha neutra, as deformações referentes ao limite entre os domínios 3 e 4 são também fixadas. Isto equivale a dizer que, para a fibra de concreto mais comprimida, a deformação vale $3,50\text{‰}$ de compressão, e na barra mais tracionada, ϵ_{yd} de tração. Dessa forma, divide-se o lugar geométrico das profundidades da linha neutra Y , eixo y , em duas semi-retas. Os limites para os intervalos de Y são :

$$\begin{aligned} \text{intervalo inferior} &: (Y = -\infty , Y = Y_{34}) \\ \text{intervalo superior} &: (Y = Y_{34} , Y = +\infty) \end{aligned}$$

Pode-se, a partir da fig. 3.15, escrever a seguinte relação :

$$\frac{v_{\min}}{v_{\max}} = \frac{+ 0,0035}{-\epsilon_{yd}} = k \quad \dots 3.22$$

Usando-se a transformação (3.17) e a relação (3.22), obtém-se a equação que determina a posição Y da linha neutra em função de k , θ e dos pontos extremos da seção.

$$Y = \frac{\left[kx_{\max} - x_{\min} \right] \operatorname{tg}\theta + \left[y_{\min} - y_{\max} \right]}{\left[1 - k \right]} \quad \dots 3.23$$

em que :

$$\begin{aligned} x_{\min} &= b/2; & x_{\max} &= (-b + 2d')/2; \\ y_{\min} &= h/2; & y_{\max} &= (-h + 2d')/2; \end{aligned}$$

Para cada posição de linha neutra fixada, determinam-se as resultantes internas e os extremos do intervalo, verificando-se as relações a seguir :

$$\nu_{v,+\infty} \leq \nu_{d,ext} \leq \nu_{h,94} \quad \text{OU} \quad \nu_{h,94} \leq \nu_{d,ext} \leq \nu_{v,-\infty}$$

$$\mu_{xv,+\infty} \leq \mu_{xd,ext} \leq \mu_{xh,94} \quad \text{OU} \quad \mu_{xh,94} \leq \mu_{xd,ext} \leq \mu_{xv,-\infty}$$

$$\mu_{yv,+\infty} \leq \mu_{yd,ext} \leq \mu_{yh,94} \quad \text{OU} \quad \mu_{yh,94} \leq \mu_{yd,ext} \leq \mu_{yv,-\infty}$$

.. 3.24

em que :

- $\nu_{v,+\infty}$: f. normal reduz. de cálculo para θ_v e $Y = +\infty$
- $\nu_{h,94}$: f. normal reduz. de cálculo para θ_h e $Y = Y_{94}$
- $\nu_{v,-\infty}$: f. normal reduz. de cálculo para θ_v e $Y = -\infty$

condições idêntidas para os momentos fletores

Determina-se, então, o intervalo, a região de interesse, em que a aproximação da solução toma lugar no processo de obtenção da equação da linha neutra.

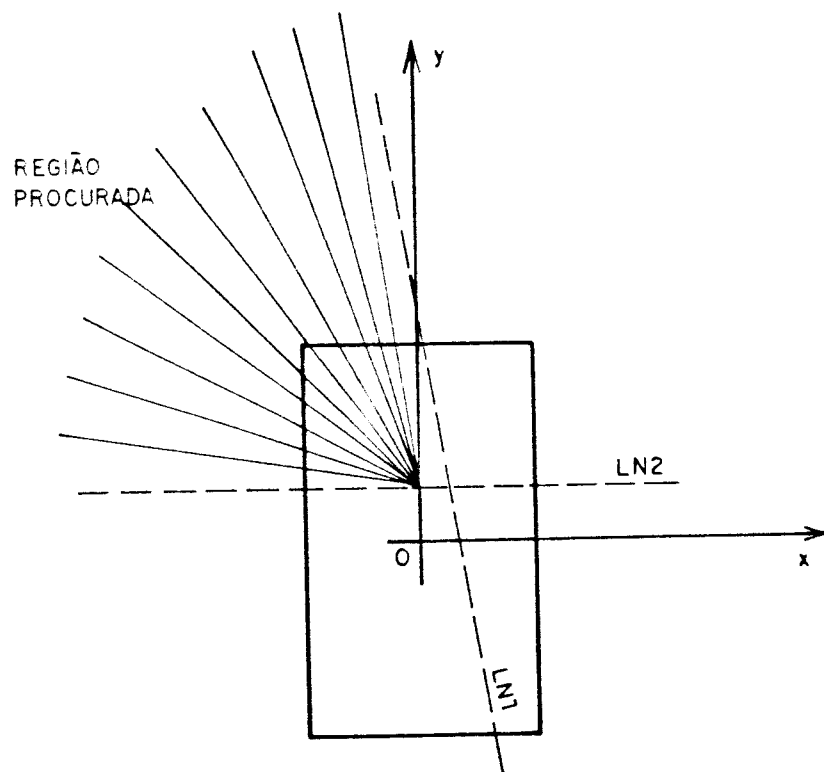


fig.3.16 - Intervalo da solução do sistema

A aproximação orientada da solução consiste no estreitamento do intervalo inicial determinado anteriormente, através de interpolação linear e eliminação dos extremos dos intervalos resultantes.

A partir dos valores iniciais de Y , θ , $\nu_{d,ext}$, etc. é proposto um processo linear de aproximação para Y , com a forma a seguir :

$$Y = Y_1 + \left[\frac{Y_2 - Y_1}{\nu_2 - \nu_1} \right] \left[\nu_{d,ext} - \nu_1 \right] \quad \dots 3.25$$

em que :

Y_1, Y_2, ν_1, ν_2 - valores dos extremos do intervalo
 Y - valor determinado pela interpolação

A inclinação θ da linha neutra é aproximada em função da relação $\alpha_{d,ext}$ entre os momentos fletores externos reduzidos de cálculo.

$$\alpha_{d,ext} = \frac{\mu_{x d, ext}}{\mu_{y d, ext}} \quad \dots 3.26$$

Assim, tem-se :

$$\theta = \theta_1 + \left[\frac{\theta_2 - \theta_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \right] \left[\alpha_{d,ext} - \alpha_1 \right] \quad \dots 3.27$$

em que :

$\theta_1, \theta_2, \alpha_1, \alpha_2$ - valores dos extremos do intervalo
 θ - valor determinado pela interpolação

A fig. 3.17 representa, graficamente, o processo

linear de aproximação para a solução para variáveis genéricas x e y .

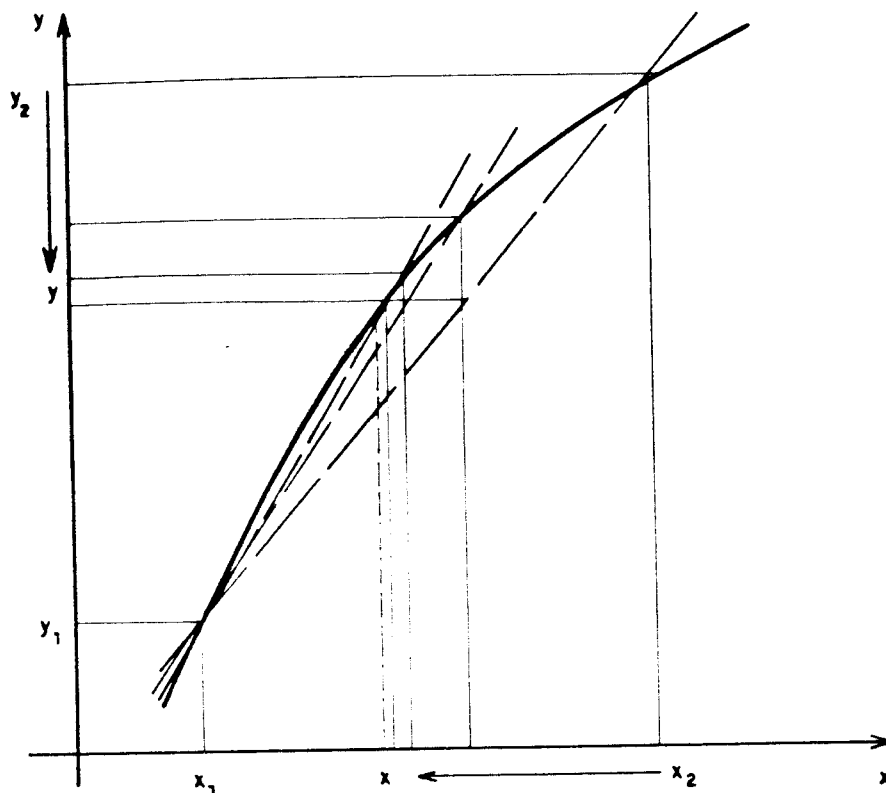


fig. 3.17 - Aproximação linear

3.5.3 - PROGRAMA PILAR1

O Programa PILAR1 é o primeiro dos programas do processo de racionalização de seções e dimensionamento da armadura para pilares. Responsável pela resolução do sistema não linear (3.20), determina a posição da linha neutra, os esforços resistentes e a taxa mecânica ω da armadura. Dá subsídios à continuidade do processo de desenvolvimento do programa de racionalização de seções de concreto armado submetidas à flexão oblíqua composta.

3.5.3.1 - ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

O Programa PILAR1 é composto por uma única unidade de processamento responsável por :

Leitura de dados,
Processamento numérico e
Impressão de resultados.

A entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer. Não há consistência de dados.

O processamento numérico envolve o processo de determinação do intervalo e aproximação da solução. Não há geração de dados auxiliares e o processamento é totalmente feito ao nível da memória do micro-computador.

Os resultados são gravados em arquivo formatado, à medida que são processados.

3.5.3.2 - ENTRADA DE DADOS

Como comentado no item anterior, a entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer.

O arquivo de dados contém os seguintes itens :

Cabeçalho :

Contém as informações necessárias à especificação do projeto, cliente, materiais e seção transversal. Possui as seguintes variáveis :

Projeto : especificação do projeto
Cliente : identificação do cliente
fck : resistência característica do concreto à compressão
fyk : resistência característica do aço à tração
b, h, d' : seção transversal
Nbarx, Nbary : número de barras na direção x e y, respectivamente

Definição dos pilares :

Os pilares são definidos através de nomes começados obrigatoriamente pela letra "P". A cada seção é fornecido um terno de solicitações (Nk Mxk Myk) até um valor final igual a (0,00 0,00 0,00) . O número de seções é igual ao número de ternos de solicitações fornecidos.

P* - nome do pilar

Nk - força normal característica de projeto

Mxk - momento fletor característico de projeto,
segundo x

Myk - momento fletor característico de projeto,
segundo y

FIM :

Este item possui o mesmo significado do item 3.4.2 .

A seguir, apresenta-se a forma do arquivo de dados.

Projeto

Cliente

fck fyk

b h d' Nbarx Nbary

P*

Nk Mxk Myk

.

.

0.00 0.00 0.00

P*

Nk Mxk Myk

.

.

0.00 0.00 0.00

FIM

3.5.3.3 - SAÍDA DE RESULTADOS

Como resultado do processamento, o Programa PILAR1 fornece um arquivo formatado contendo as informações de entrada e as armaduras resultantes do processamento.

No Capítulo VII, Exemplos, o arquivo formatado será apresentado em sua forma original e com as explicações necessárias.

3.5.3.4 - LIMITES DO PROGRAMA

O processamento é feito à medida que a leitura do arquivo de dados é efetuada. Portanto, não há limites para o número de pilares e seções por pilar no programa.

O número máximo de barras por seção é 100.

3.5.4 - ABACOS DE INTERAÇÃO

3.5.4.1 - CONVENÇÕES

Notação Empregada

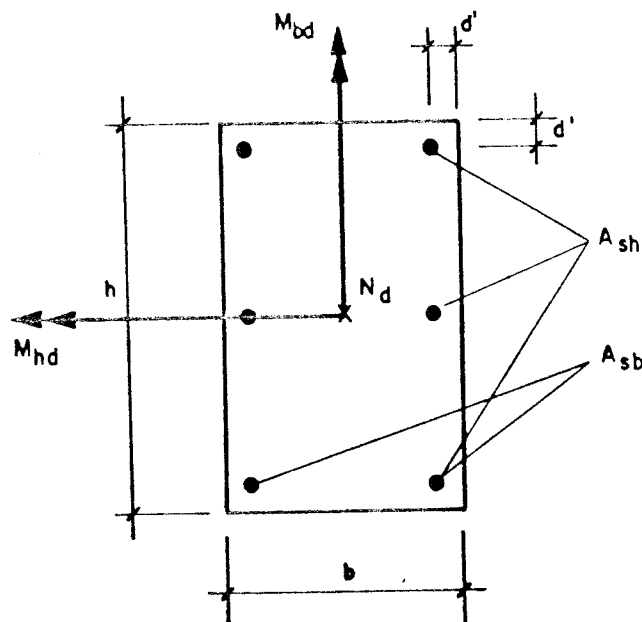


fig. 3.18 - Notação empregada

- b - largura da seção
 h - altura da seção
 d' - cobrimento da armadura
 As_b - número de barras ao longo de uma face na direção da largura
 As_h - número de barras ao longo de uma face na direção da altura
 N_d - força normal de cálculo
 M_{bd} - momento fletor de cálculo com plano de ação na direção da largura
 M_{hd} - momento fletor de cálculo com plano de ação na direção da altura
 $\nu_d, \mu_{bd}, \mu_{hd}$ - solicitações reduzidas de cálculo
 ω - taxa mecânica da armadura
 ρ - taxa geométrica da armadura

Nos ábacos de interação gerados neste trabalho, somente a força normal de compressão foi considerada, em virtude de ser a responsável pela maioria das situações de carregamento presentes em edifícios de concreto armado. Portanto, o carregamento presente é sempre flexo-compressão.

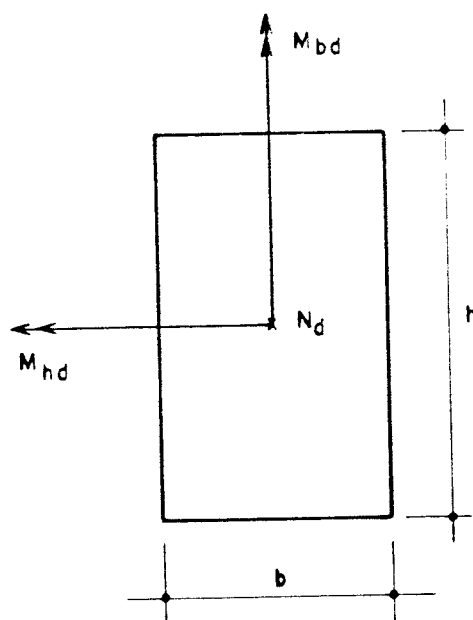


fig. 3.19 - Carregamento - flexo-compressão

3.5.4.2 - EQUACIONAMENTO

As equações básicas envolvidas na geração de ábacos são as mesmas equações descritas no item 3.5.2.2 : equações de equilíbrio entre as solicitações externas e os esforços internos e a compatibilização de deformações.

A resolução numérica para a integral sobre o concreto comprimido envolve (6x6) pontos de Gauss, portanto, mais pontos que anteriormente empregado e, conseqüentemente, com melhor precisão. A tab. (3.1) apresenta as posições e os pesos dos pontos de Gauss utilizados no processo.

3.5.4.3 - PROCESSO DE CÁLCULO

O objetivo, agora, é determinar-se a curva de iso-armadura, ou seja, o lugar geométrico dos pontos que contêm a mesma taxa mecânica ω da armadura, para uma força normal de cálculo fixada e momentos fletores variáveis.

É conveniente observar-se que a seção transversal, juntamente com a distribuição de armadura, foram previamente estabelecidas.

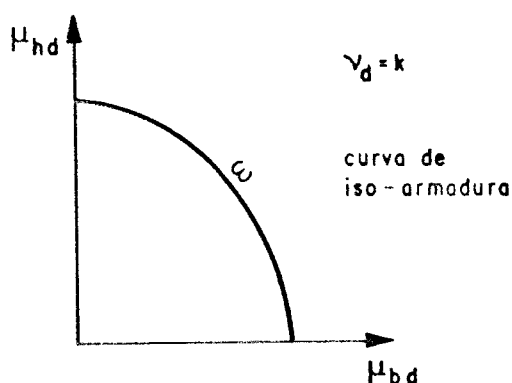


fig. 3.20 - Curva de iso-armadura

No processo de cálculo anterior, na equação da linha neutra, não havia nenhum parâmetro determinado. A profundidade Y e a inclinação θ eram incógnitas. A taxa

mecânica ω era um sub-produto da solução do sistema não linear (3.20), apresentado novamente a seguir.

$$\nu_{d,ext} = \nu_c + \omega \nu_s$$

$$\mu_{xd,ext} = \mu_{xc} + \omega \mu_{xs}$$

$$\mu_{yd,ext} = \mu_{yc} + \omega \mu_{ys}$$

.. 3.20

Agora, têm-se fixadas a força normal de cálculo ν_d , um dos quadrantes dos ábacos de interação, a inclinação θ da linha neutra, que está relacionada com o parâmetro $\alpha = \mu_x/\mu_y$ e a taxa mecânica ω da armadura, que determina a área de aço necessária à resistência dos esforços solicitantes. Basta, portanto, determinar-se a posição Y da linha neutra.

O processo de determinação de Y é idêntico ao descrito anteriormente. Com a profundidade Y da linha neutra determinada, o sub-produto do processo, agora, são os momentos fletores reduzidos de cálculo. Variando-se a inclinação θ da linha neutra, determinam-se os pontos necessários para o traçado da curva de iso-armadura.

3.5.5 - PROGRAMAS PILAR2 E PILAR3

Os Programas PILAR2 e PILAR3 são responsáveis pela geração das curvas de iso-armadura e traçado dos ábacos de interação para o dimensionamento de seções de concreto armado solicitadas à flexão oblíqua composta.

3.5.5.1 - ESTRUTURAÇÃO DOS PROGRAMAS

O Programa PILAR2 é composto por uma única unidade de processamento, responsável por :

Leitura de dados,

Processamento numérico e
Impressão de resultados.

A entrada de dados é feita através de vídeo, com verificação de dados posterior à entrada.

O processamento numérico envolve o processo de determinação do intervalo e aproximação da solução. Não há geração de dados auxiliares e o processamento é totalmente feito ao nível da memória do micro-computador.

Os resultados são gravados em arquivo formatado, à medida que são processados.

O Programa PILAR3 é composto por uma única unidade de processamento, responsável por :

Leitura de dados e
Traçado do ábaco de interação.

A entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, gerado pelo Programa PILAR2. Não há consistência de dados.

3.5.5.2 - ENTRADA DE DADOS

Para o Programa PILAR2, os dados são fornecidos através de vídeo, com as seguintes informações :

Nome do Ábaco
Relação cobertura/altura
Relação cobertura/largura
Classe do aço
Número de barras ao longo da altura
Número de barras ao longo da largura
Nome do arquivo de saída

Para o Programa PILAR3, os dados são fornecidos através de arquivo formatado, gerado pelo Programa PILAR2,

que será apresentado no Capítulo VII, Exemplos, com as explicações necessárias.

3.5.5.3 - SAÍDA DE RESULTADOS

Como resultado do processamento, o Programa PILAR2 fornece um arquivo formatado contendo os pontos das curvas de iso-armadura. O Programa PILAR3 transforma as tabelas geradas pelo programa anterior em ábacos de interação. Um exemplo será apresentado no Capítulo VII, Exemplos.

3.5.5.4 - LIMITES DOS PROGRAMAS

O processamento é feito à medida que a leitura do arquivo de dados é efetuada. Portanto, não há limites para os programas.

3.5.6 - DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA : ARMADURA PADRÃO

3.5.6.1 - EQUACIONAMENTO

Com o sistema (3.20) resolvido pelos programas anteriores através da geração dos ábacos de interação, basta equacionarem-se as curvas de iso-armadura em função dos dados de entrada : seção transversal, distribuição da armadura e terno de solicitações.

O termo "armadura padrão" diz respeito a uma distribuição regular de armadura ao longo do perímetro do estribo. Em função da observação de ábacos de interação obtidos através dos programas anteriores, afirma-se, neste trabalho, que esta distribuição de armadura cobre as necessidades devidas ao cálculo de seções solicitadas à flexão oblíqua composta em edifícios de concreto armado.

Pelo Método Venezuelano, as curvas de iso-armadura são aproximadas através de uma reta, com a equação em sua forma segmentária, em função dos momentos fletores reduzidos de cálculo, como representado na fig. 3.21 .

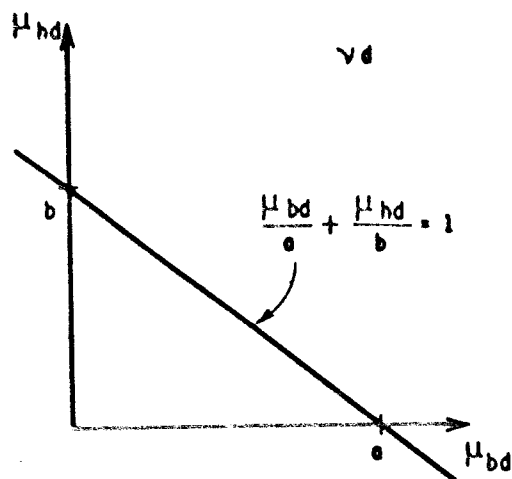


fig. 3.21 - Representação do Método Venezuelano

Em função das características da seção transversal e da distribuição da armadura, este processo torna-se bastante impreciso diante das necessidades de cálculo que se fazem necessárias em edifícios de concreto armado.

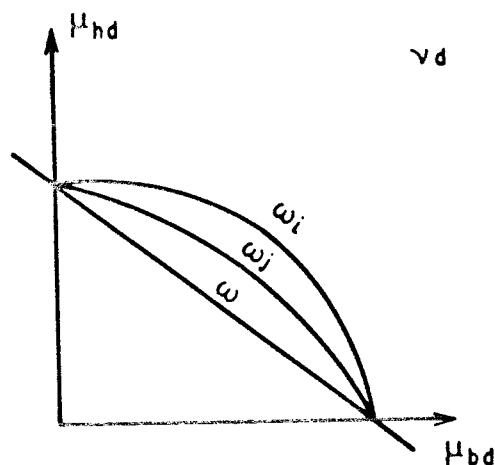


fig. 3.22 - Imprecisão do Método Venezuelano

Neste trabalho, propõe-se o equacionamento das curvas de iso-armadura através de um polinômio do segundo grau, que resulta numa melhor aproximação comparado ao Método Venezuelano. O polinômio proposto tem a forma apresentada na expressão (3.28).

$$0 = ax_1^2 + 2bx_1x_2 + cx_2^2 + 2dx_1 + 2ex_2 + f \quad \dots 3.28$$

em que :

- x_1, x_2 : μ_{bd} , μ_{hd} , respectivamente
- a, b, c, d, e : parâmetros determinados através dos ábacos, com o auxílio de um sistema auxiliar
- f : a própria taxa mecânica ω da armadura

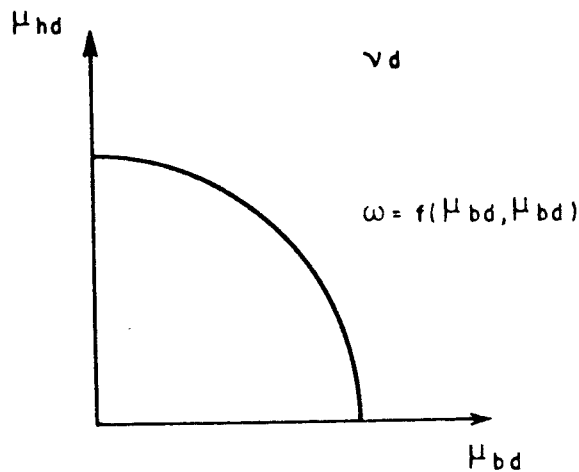


fig. 3.23 - Equacionamento da curva de iso-armadura

Também através da observação dos ábacos, verifica-se a equidistância entre as curvas de iso-armadura.

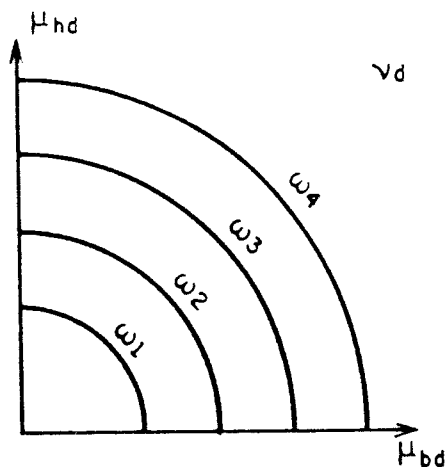


fig. 3.24 - Equidistância entre as curvas de iso-armadura

Praticamente não há variação de distância entre as curvas. Isto determina uma variação linear da taxa mecânica ω com uma direção qualquer, definida pela relação entre os momentos fletores reduzidos de cálculo.

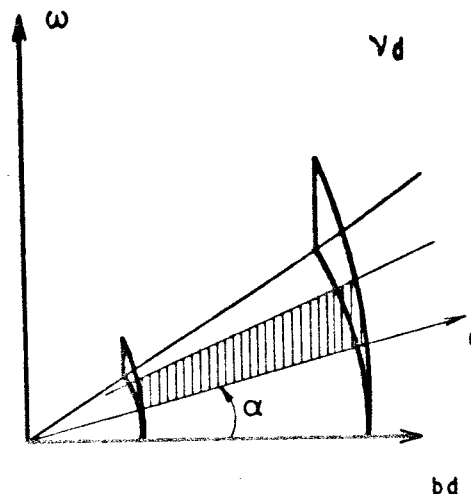


fig. 3.25 - Direção definida pela relação de momentos

em que :

$$\alpha = \text{arc tg} (\mu_{hd} / \mu_{bd}) \quad \dots 3.29$$

Para o ábaco em questão, mais precisamente, o quadrante em questão, o equacionamento de duas curvas de iso-armadura faz-se necessário. Com a relação de momentos e a hipótese de variação linear para a taxa mecânica ω ao longo de uma direção qualquer no plano (O, μ_{bd}, μ_{hd}) , basta uma simples interpolação linear sobre as curvas equacionadas.

$$\omega = \omega_1 + \left[\frac{\omega_2 - \omega_1}{r_2 - r_1} \right] (r - r_1) \quad \dots 3.30$$

em que as distâncias r_i são medidas entre a origem do

plano $(0, \mu_{bd}, \mu_{hd})$, o ponto (μ_{bd}, μ_{hd}) e as curvas, equacionáveis através das relações (3.28) e (3.29)

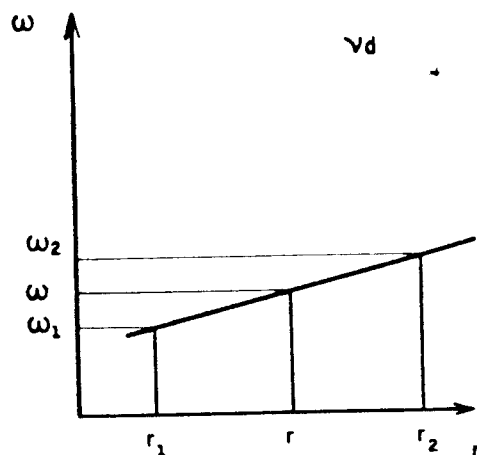


fig. 3.26 - Taxa mecânica ω : interpolação linear

3.5.6.2 - PROCESSO DE CÁLCULO

O objetivo é determinar-se o valor da taxa mecânica ω que equilibra a seção. O processo de cálculo consiste no enquadramento da seção transversal com relação aos ábacos previamente equacionados e o cálculo da taxa mecânica ω através de sucessivas interpolações lineares.

Os ábacos equacionados contêm combinações dentre as seguintes relações comprimento/altura e comprimento/largura: 0,03, 0,10, 0,15, 0,20 e 0,25 . Estas relações são as mais usuais em seções retangulares de pilares para edifícios de concreto armado. Por exemplo, para um pilar cuja seção transversal é definida pelas seguintes dimensões :

$$b = 0,20 \text{ m}$$

$$h = 1,20 \text{ m}$$

$$d' = 0,04 \text{ m}$$

A relação d'/h vale 0,033 e a relação d'/b vale 0,20, perfeitamente dentro do intervalo de relações previstas pelos ábacos equacionados.

Enquadrada a seção transversal dentre os ábacos disponíveis, a interpolação dá-se em função das relações cobrimento/altura e cobrimento/largura, cuja forma geral é apresentada abaixo :

$$\omega = \omega_1 + \left[\frac{\omega_2 - \omega_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \right] (\varphi - \varphi_1)$$

.. 3.31

em que :

φ : relação cobrimento/altura ou cobrimento/largura

φ_1, φ_2 : valores dos extremos do intervalo

3.5.7 - PROGRAMA PILAR4

O Programa PILAR4 é o quarto programa do processo de racionalização de seções e dimensionamento da armadura para pilares. Responsável pelo cálculo da taxa mecânica ω através do uso das representações polinomiais das superfícies de interação, viabiliza o processo em termos de velocidade de processamento.

3.5.7.1 - ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

O Programa PILAR4 é composto por uma única unidade de processamento responsável por :

Leitura e consistência de dados,
Processamento numérico e
Impressão de resultados.

A entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer. As consistências são apresentadas em vídeo, à medida que é feita a leitura do arquivo.

O processamento numérico envolve o processo de enquadramento da seção transversal e a interpolação linear para o cálculo da taxa mecânica ω da armadura. Não há geração de dados auxiliares e o processamento é totalmente feito ao nível da memória do micro-computador.

Os resultados são gravados em arquivos formatados, à medida que são processados.

3.5.7.2 - CONSISTÊNCIA DE DADOS

Em função da quantidade de informações envolvida no arquivo de dados, é de extrema importância uma boa consistência.

A consistência de dados promovida pelo Programa PILAR4 está vinculada às duas etapas do dimensionamento dos tramos dos pilares : ao processo de aquisição de dados com a montagem do arquivo através de digitação e, à análise dos resultados obtidos após o processamento do arquivo.

Através da leitura do arquivo de dados, informações como índice de esbeltez, número total de pilares, tramos e linhas do arquivo podem ser examinadas pelo usuário rapidamente em vídeo, antes do processamento propriamente dito das informações contidas no arquivo. Posteriormente, através de nova leitura do arquivo de dados, tem lugar o processamento numérico, em que nova lista de informações pode ser examinada pelo usuário, tais como : taxa geométrica ρ da armadura, esforços de segunda ordem, etc..

Este procedimento cria condições de rapidamente serem modificadas as seções que não se enquadrem na Norma NBR-6118, quanto ao índice de esbeltez ou à taxa geométrica ρ da armadura, por exemplo.

3.5.7.3 - ENTRADA DE DADOS

Como comentado no item anterior , a entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um

editor de textos qualquer.

Em edifícios de concreto armado, os tramos dos pilares podem ser analisados apenas em duas seções, se os momentos atuantes nas extremidades dos tramos forem considerados os mesmos. Observando-se esta situação, duas diferentes formas de leitura do arquivo de dados são definidas : uma para a situação em que os momentos que atuam nas extremidades dos tramos dos pilares forem considerados iguais, cálculo em duas seções, e outra quando não o forem, cálculo em três seções : duas extremidades e a seção intermediária. As solicitações de cálculo são determinadas conforme prescrições da NBR-6118.

Além disso, são introduzidos multiplicadores de excentricidades para a adequação ao cotidiano do escritório usuário do programa. A excentricidade acidental mínima de 2,00 cm pode ser considerada muito conservadora por parte de um escritório de cálculo. Pode-se, então, reduzi-la através de um multiplicador qualquer, menor que 1,00 .

O arquivo de dados contem os seguintes itens :

Cabeçalho :

Contem as informações necessárias à especificação do projeto, cliente, número de seções e multiplicadores de excentricidades. Possui as seguintes variáveis :

Projeto	: especificação do projeto
Cliente	: identificação do cliente
nsec	: número de seções para cálculo
fck	: resistência característica do concreto à compressão
Le	: comprimento de flambagem
Mmi	: multiplicador de excentricidade inicial
Mma	: multiplicador de excentricidade acidental
Mm2	: multiplicador de excentricidade de 2ª ordem

Mmc : multiplicador de excentricidade adicional
devida à fluência

Definição dos pilares :

Os pilares são definidos através de nomes começados obrigatoriamente pela letra "P". A cada seção é fornecido um terno de solicitações (N_k, M_{xk}, M_{yk}) até que um novo pilar seja definido. O número de tramos é igual ao número de ternos de solicitações fornecidos.

P* - nome do pilar

b, h, d' - seção transversal

N_k - força normal característica de projeto

M_{xk} - momento fletor característico de projeto,
segundo x

M_{yk} - momento fletor característico de projeto,
segundo y

FIM :

Este item possui o mesmo significado do item 3.4.2 .

A seguir, apresentam-se as formas dos arquivo de dados possíveis para o dimensionamento da armadura. No primeiro, duas seções são analisadas e, no segundo, três seções são tomadas em análise.

Arquivo 01 : duas seções

Projeto

Cliente

$n_{sec}, f_{ck}, L_e, M_{mi}, M_{ma}, M_{m2}, M_{mc},$

P*

$b, h, d',$

$N_k, M_{xk}, M_{yk}, \underline{L_e, b, h, d', f_{ck}},$

.
P*
b,h,d',
Nk,Mxk,Myk,Le,b,h,d',fck,

.
.
FIM

Arquivo 02 : três seções

Projeto
Cliente
nsec,fck,Le,Mmi,Mma,Mm2,Mmc,
P*
b,h,d',
Nk,Mxk_{sup},Myk_{sup},Mxk_{inf},Myk_{inf},Le,b,h,d',fck,

.
.
P*
b,h,d',
Nk,Mxk_{sup},Myk_{sup},Mxk_{inf},Myk_{inf},Le,b,h,d',fck,

.
.
FIM

Uma característica que deve ser ressaltada quanto ao arquivo de dados é o campo de validade das variáveis. Em função da economia de dados de entrada, os dados são armazenados em memória e, quando omitidos, são tomados iguais aos anteriormente definidos. A seguir, definem-se os campos de validade das variáveis do arquivo de dados.

- variáveis definidas no cabeçalho : válidas em todo o arquivo

- variáveis definidas na definição dos pilares :

- seção : válida ao longo dos tramos do pilar em

questão

- solicitações : válidas somente no tramo em que estão definidas

- variáveis grifadas com traço duplo : válidas somente no tramo em que estão definidas. Se omitidas, vale a variável definida no cabeçalho

- variáveis grifadas com traço simples : válidas a partir do tramo em que estão definidas, somente para o pilar em questão. Se omitidas, vale a variável definida anteriormente

O esquema apresentado para a montagem do arquivo de dados mostra-se bastante eficiente na aquisição de dados para o dimensionamento de seções submetidas à flexão oblíqua composta, em pilares de edifícios altos de concreto armado. As mudanças de comprimento de flambagem, seções e resistência do concreto são facilmente definidas através desse esquema de entrada de dados.

Vale lembrar que não há dados referentes ao aço, já que este programa está definido através do equacionamento de ábacos, em que a resistência e o tipo de aço estão determinados.

3.5.7.4 - SAÍDA DE RESULTADOS

Como resultado do processamento, o Programa PILAR4 fornece arquivos formatados contendo as informações de entrada e as armaduras resultantes do processamento.

No Capítulo VII, Exemplos, os arquivos formatados serão apresentados em sua forma original e com as explicações necessárias.

3.5.7.5 - LIMITES DO PROGRAMA

O processamento é feito à medida que a leitura do arquivo de dados é efetuada. Portanto, não há limites para o número de pilares e tramos por pilar no programa.

3.5.8 - RACIONALIZAÇÃO DE SEÇÕES

3.5.8.1 - EQUACIONAMENTO

A rotina de cálculo é a mesma apresentada no Programa PILAR4, ou seja, baseia-se no equacionamento de ábacos de interação. O equacionamento desenvolvido neste item diz respeito simplesmente à seção de concreto.

As incógnitas envolvidas no processo são em maior número que as equações determinadas pelas condições de equilíbrio e compatibilidade de deformações apresentadas anteriormente. Assim sendo, para possibilitar-se o equacionamento deve haver, a priori, a fixação de algumas variáveis do processo.

A largura da seção de concreto e o cobrimento da armadura geralmente são fatores monitorados por condições arquitetônicas e normas, sendo, portanto, as variáveis naturalmente escolhidas para serem antecipadamente definidas. Através da experiência de cada calculista, a taxa geométrica ρ da armadura é a outra variável fixada. Restam, portanto, a determinação da altura h da seção de concreto e da taxa mecânica ω da armadura.

tab. 3.2 - Taxa mecânica ω da armadura

$$\gamma_c = 1,4; \quad \gamma_f = 1,15; \quad f_{yk} = 50,00 \text{ kN/cm}^2$$

$\rho \times 100$ f_{ck}	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
1,8	0,676	0,744	0,812	0,879	0,947	1,014
2,1	0,580	0,638	0,696	0,754	0,812	0,870
2,4	0,507	0,558	0,609	0,659	0,710	0,761

A tab. (3.2) apresenta valores para a taxa mecânica ω em função da resistência característica à compressão f_{ck} do concreto e da taxa geométrica ρ da armadura, observados os coeficientes de minoração das resistências e a resistência

característica à tração do aço. A forma da equação que relaciona as variáveis é apresentada na expressão (3.32) .

$$\omega = K \frac{\rho}{f_{ck}} \quad \dots 3.32$$

em que :

K : relação entre os coeficientes de minoração das resistências e a resistência característica à tração do aço

Portanto, falta apenas determinar a altura h da seção de concreto, que pode ser equacionada em função da força normal reduzida de cálculo ou dos momentos fletores reduzidos de cálculo, como mostrado a seguir :

- equacionamento em função da força normal reduzida de cálculo :

$$\nu_d = \frac{N_d}{bhf_{cd}} \quad \therefore \quad h_{\nu} = \frac{N_d}{\nu_d bf_{cd}} \quad \dots 3.33$$

- equacionamento em função dos momentos fletores reduzidos de cálculo :

$$\mu_{xd} + \mu_{yd} = k; \quad \mu_{xd} = \frac{M_{xd}}{bhf_{cd}b}; \quad \mu_{yd} = \frac{M_{yd}}{bhf_{cd}h};$$

$$kb^2 f_{cd} h^2 - M_{xd} h - M_{yd} b = 0 \quad \therefore$$

$$h_{\mu} = \frac{M_{xd} + \sqrt{\Delta}}{2kb^2 f_{cd}}; \quad \Delta = M_{xd}^2 + 4kb^3 f_{cd} M_{yd} \quad \dots 3.34$$

em que a constante k será definida posteriormente

3.5.8.2 - CRITÉRIOS DE CÁLCULO

O principal objetivo do equacionamento dos problemas tratados neste trabalho é o de possibilitar uma abertura ao calculista para impor a sua experiência e o seu cotidiano no dimensionamento de seções de peças lineares de concreto armado.

Os critérios de cálculo aqui apresentados simplesmente propõem o enquadramento da seção em um intervalo de solicitações, observando-se as condições últimas de ruptura do concreto e de deformação plástica excessiva do aço. A solicitação força normal é analisada separadamente dos esforços momentos fletores. Estes são analisados em conjunto, através da soma escalar de suas componentes. Ao final das duas análises, força normal e momentos fletores, toma-se a situação mais crítica para a seção.

$$\nu_1 \leq \nu_d \leq \nu_2$$

$$\mu_1 \leq \mu_{xd} + \mu_{yd} \leq \mu_2$$

.. 3.35

Através da observação do comportamento dos ábacos para as taxas máximas definidas pela NBR-6118, são propostos os seguintes valores para os limites dos intervalos de esforços :

$$0,80 \leq \nu_d \leq 1,20$$

$$0,50 \leq \mu_{xd} + \mu_{yd} \leq 0,60$$

.. 3.36

3.5.8.3 - PROCESSO DE CÁLCULO

O objetivo é determinarem-se a altura h para a seção de concreto que conduza à resistência das solicitações, segundo os critérios de cálculo propostos acima, e a respectiva taxa mecânica ω da armadura.

O processo de cálculo consiste na aproximação orientada, idêntica à descrita no item 3.5.2.3, cuja equação geral é apresentada a seguir :

$$h = h_1 + \left[\frac{h_2 - h_1}{\omega_2 - \omega_1} \right] \left[\omega - \omega_1 \right] \quad \dots 3.37$$

em que :

h : altura da seção transversal

h_1, h_2 : valores dos extremos do intervalo

O intervalo é definido pelos limites fixados pelos critérios de cálculo. A taxa mecânica ω da armadura é determinada através da fixação da taxa geométrica ρ da armadura através da expressão (3.32). A aproximação é feita através da eliminação dos extremos dos intervalos, com interpolação linear para as variáveis.

3.5.9 - PROGRAMA PILAR5

O Programa PILAR5 é o último dos programas do processo de racionalização de seções e dimensionamento da armadura para pilares. Responsável pela determinação da seção de concreto definida através dos critérios acima, procura obter sua adequação aos esforços atuantes, perante o cálculo.

3.5.9.1 - ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

O Programa PILARS é composto por uma única unidade de processamento responsável por :

Leitura de dados,
Processamento numérico e
Impressão de resultados.

A entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer. Não há consistência de dados.

O processamento numérico envolve o processo de enquadramento da seção e aproximação da solução. Não há geração de dados auxiliares e o processamento é totalmente feito ao nível da memória do micro-computador.

Os resultados são gravados em arquivo formatado, à medida que são processados.

3.5.9.2 - ENTRADA DE DADOS

Como comentado no item anterior , a entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer.

O arquivo de dados contem os seguintes itens :

Cabeçalho :

Contem as informações necessárias à especificação do projeto, cliente, materiais e taxa geométrica ρ da armadura. Possui as seguintes variáveis :

Projeto : especificação do projeto
Cliente : identificação do cliente
fck : resistência característica do concreto à compressão
rota : taxa geométrica ρ da armadura definida

como ótima para a seção do pilar

Definição dos pilares :

Os pilares são definidos através de nomes começados obrigatoriamente pela letra "P". A cada seção são fornecidos a largura, o cobrimento e um terno de solicitações (Nk Mxk Myk) até um valor final igual a (0,00 0,00 0,00 0,00 0,00) . O número de seções é igual ao número de ternos de solicitações fornecidos.

P* : nome do pilar

b : largura do pilar

d' : cobrimento da armadura

Nk : força normal característica de projeto

Mxk : momento fletor característico de projeto, segundo x

Myk : momento fletor característico de projeto, segundo y

FIM :

Este item possui o mesmo significado do item 3.4.2 .

A seguir, apresenta-se a forma do arquivo de dados.

Projeto

Cliente

fck

rotm

P*

b d' Nk Mxk Myk

.

.

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

P*

b d' Nk Mxk Myk

.
.
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

FIM

3.5.9.3 - SAÍDA DE RESULTADOS

Como resultado do processamento, o Programa PILAR5 fornece um arquivo formatado contendo as informações de entrada, a altura da seção e as armaduras resultantes do processamento.

No Capítulo VII, Exemplos, o arquivo formatado será apresentado em sua forma original e com as explicações necessárias.

3.5.9.4 - LIMITES DO PROGRAMA

O processamento é feito à medida que a leitura do arquivo de dados é efetuada. Portanto, não há limites para o número de pilares e seções por pilar no programa.

CAPÍTULO IV

GERAÇÃO DE GRELHAS

4.1 - INTRODUÇÃO

Para a análise de sistemas estruturais de edifícios, faz-se uso de modelos estáticos, os quais devem proporcionar a máxima representatividade das características reais das estruturas sob carregamentos determinados.

Em estruturas usuais de edifícios de concreto armado, modelos de estruturas reticuladas são utilizados em larga escala e possibilitam a representação de sistemas estruturais através de barras e nós.

Para pavimentos planos, a estrutura portante é chamada grelha, composta de vigas que se cruzam e com o recebimento de ações não coplanares. No plano vertical, as estruturas planas que recebem solicitações coplanares são chamadas pórticos planos. Ambos os sistemas estruturais podem ser definidos por modelos reticulados que lhes conferem boa representatividade sob os aspectos da determinação de esforços e deslocamentos.

Além dos sistemas estruturais grelha e pórtico plano, o pórtico espacial, que representa a estrutura do edifício de forma tridimensional, será tratado no Capítulo VI.

Para a efetivação da análise das estruturas de pavimentos ou pórticos é necessária a criação de uma massa de dados sujeita a erros, modificações e quase sempre com volume muito grande. Estes aspectos geram um custo

determinante dentro do processo de análise e cálculo de estruturas no tocante a prazos e confiabilidade.

Em função dessas limitações, pretende-se obter uma nova forma de definição da geometria de estruturas reticuladas que venha a favor da confiabilidade e rapidez no tratamento da massa de dados necessária. Para isto, elaborou-se um conjunto de três programas independentes que tratam com segurança e rapidez a geração de dados para grelhas, lajes e pórticos espaciais. Em função da grelha são definidas as lajes e os pavimentos que formam os níveis do pórtico espacial.

Minimiza-se o volume de dados e promove-se uma maior flexibilização na correção dos mesmos através de uma nova concepção da geometria. São efetuadas gerações de vários arquivos diminuindo o tempo de conferência, fazendo que haja uma rapidez muito grande no andamento do projeto.

Este capítulo descreve o modelo proposto e o programa gerador dos dados necessários à continuidade do processo.

4.2 - GERAÇÃO DE GRELHAS

Para a estrutura apresentada na fig. 4.1, são descritas as duas concepções para sua definição geométrica: o modelo plano tradicional e o modelo proposto.

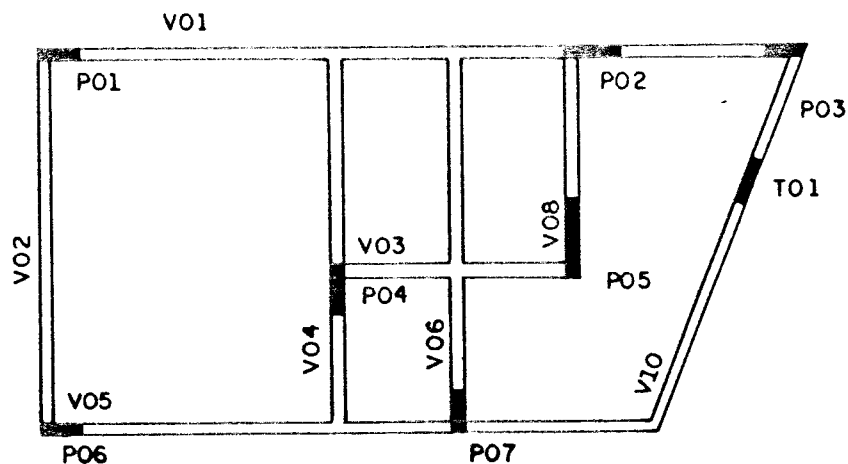


fig. 4.1 - Estrutura de pavimento

4.2.1 - MODELO PLANO TRADICIONAL

Para a análise matricial de estruturas reticuladas, os modelos estáticos são concebidos através de barras e nós como mostrado na fig. 4.2 . As convenções utilizadas são as usualmente empregadas na prática de escritórios. Os pontos indicam os nós e as setas, os sentidos das barras.

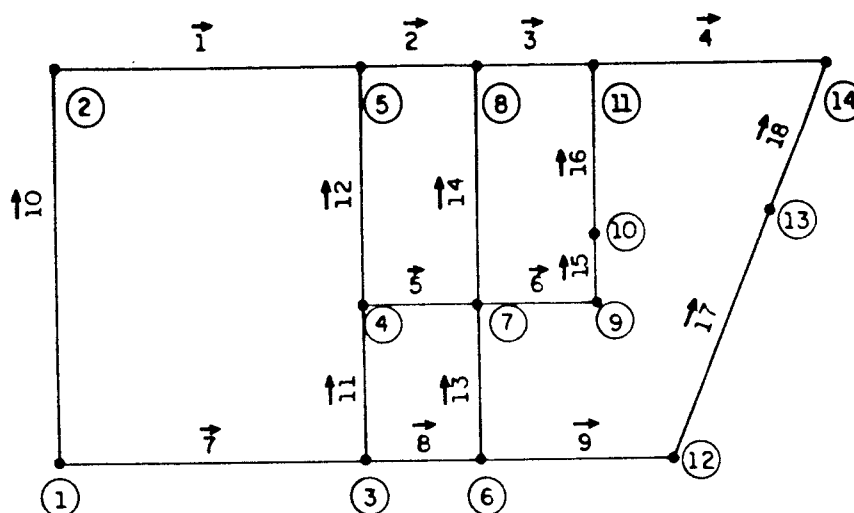


fig. 4.2 - Modelo plano tradicional
barras e nós

Observa-se que há necessidade de uma grande quantidade de dados, barras e nós, para a definição geométrica do modelo. Isto determina um maior custo operacional na entrada de dados e na conferência desses mesmos dados. Com outra concepção para a definição geométrica, através de um programa, os dados necessários são gerados automaticamente.

4.2.2 - MODELO PROPOSTO

O modelo proposto compõe-se basicamente de dois tipos de elementos : elemento viga e elemento pilar.

Dados complementares são necessários para a definição destes elementos. Como no modelo plano tradicional, nós,

restrições, materiais, propriedades e rótulas determinam as condições estáticas da estrutura.

É importante ainda considerar que a estrutura tridimensional é definida ao nível dos pavimentos nesta etapa.

Elementos Viga e Pilar

Os elementos viga são as próprias vigas do pavimento, com especificação idêntica à forma. Sua definição está em função de barras que determinam direção, propriedade, incidência nodal e participação no modelo tridimensional, as barras formadoras iniciais.

Os elementos pilar, com especificação idêntica ao pavimento, são definidos por nós, os quais não têm dimensão e estão definidos segundo coordenadas de um sistema plano de coordenadas. Cada elemento pilar pode ser definido por um ou mais nós em função de suas dimensões e características.

A fig. 4.3 apresenta esta nova concepção de definição geométrica da estrutura.

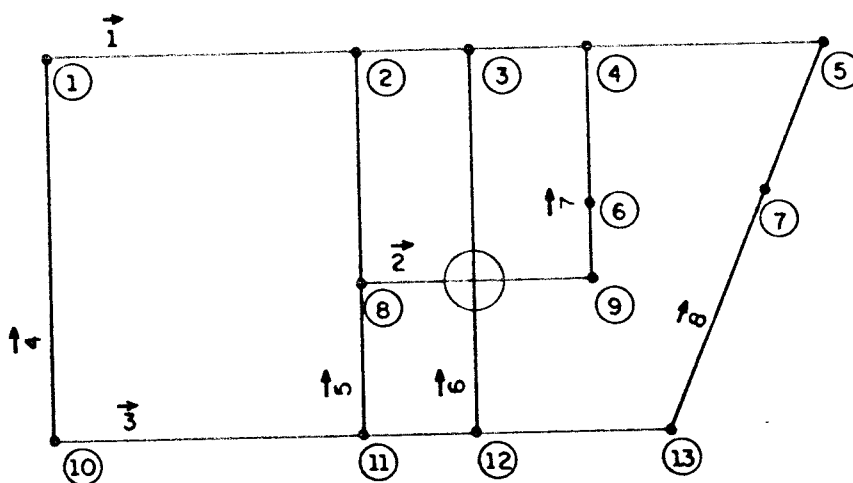


fig. 4.3 - Modelo proposto
vigas e pilares

Observa-se uma sensível redução no volume de dados,

principalmente no que se refere às barras e também aos nós de cruzamentos entre vigas. Dessa forma, além das vantagens já comentadas, proporciona-se uma maior clareza ao modelo, tornando-o mais simples e objetivo.

O Programa GPLUS (item 4.3) promove a geração dos dados complementares, barras e nós, a fim de que um programa de análise de continuidade ao processamento, ou seja, funciona como um pré-processador de arquivos.

As barras complementares, utilizadas na análise matricial, são definidas em função das barras formadoras iniciais, dos nós existentes e dos cruzamentos entre vigas.

A definição da ordem de numeração das barras complementares está relacionada à ordem de entrada das vigas, independentemente da numeração dada as suas barras formadoras iniciais. Por exemplo, para um pavimento cujas vigas têm a numeração V01 a V20, esquece-se de numerar a viga V15 inicialmente. O número de sua barra formadora inicial será, portanto, 20, mas a numeração de suas barras formadoras finais obedecerá à ordem de entrada da viga V15. No Capítulo VII, Exemplos, será melhor entendida esta explicação.

Nós e Restrições

Observando-se a definição dos elementos viga e pilar, conclui-se que os nós são utilizados nas seguintes determinações :

elementos viga

- início e fim do elemento
- mudança de direção
- mudança de propriedade
- participação no modelo tridimensional
- cálculo de deslocamentos

elementos pilar

- definição do elemento

restrição nodal

Tendo-se em vista estes aspectos, os nós devem ser definidos previamente pelo usuário a fim de que possam ser determinados corretamente todos os elementos do modelo.

As restrições nodais são definidas em função da condição estática dos pilares em absorver os momentos provenientes da grelha, de acordo com a NBR-6118, Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado.

A numeração nodal e a incidência das barras podem determinar uma maior ou menor banda para a matriz de rigidez global da estrutura em função das características do pavimento : dimensão preferencial, estreitamento da malha de vigas da grelha em uma região, etc. . Assim, a numeração nodal deve ter em vista estes aspectos.

O Programa GPLUS (item 4.3) promove uma renumeração nodal concomitantemente à geração dos nós de cruzamentos entre vigas, com três opções de saída, em que uma das quais melhor adapta-se às características acima descritas:

numeração nodal da esquerda para a direita

numeração nodal de baixo para cima

numeração nodal inicial

As três opções podem ser melhor visualizadas nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6.

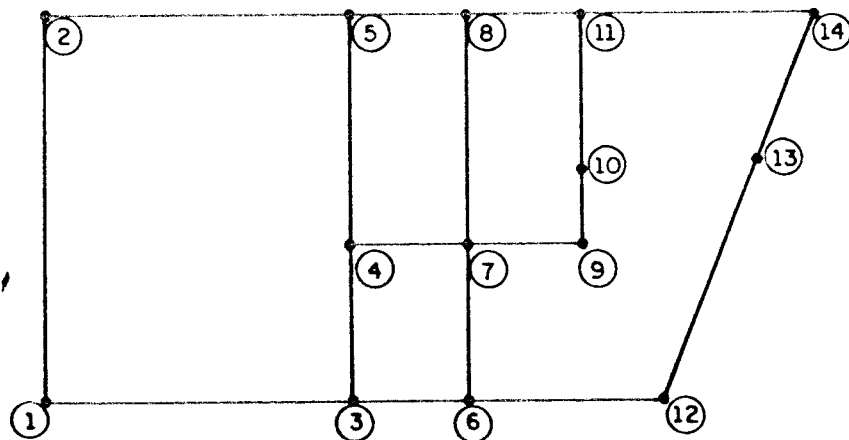


fig. 4.4 - Numeração da esquerda para a direita

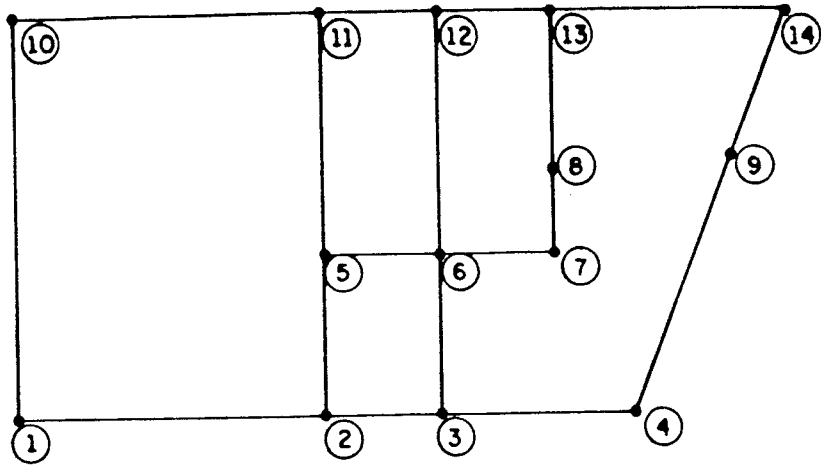


fig. 4.5 - Numeração de baixo para cima

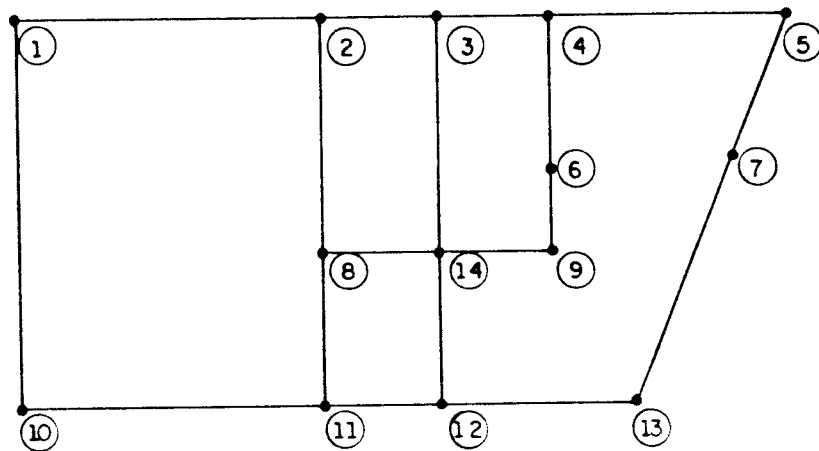


fig. 4.6 - Numeração inicial

Por numeração orientada da esquerda para a direita, entende-se que o nó $i+1$ está acima e à direita do nó i .

Materiais, Propriedades e Rótulas

São dados complementares, utilizados na definição dos elementos viga e pilar. Determinam as condições geométricas e estáticas das barras que compõem o modelo.

Modelo Tridimensional

"Nos edifícios correntes não é recomendável que todos

os pilares participem do sistema estrutural que se admite como responsável pela estabilidade global da estrutura e pela resistência às ações horizontais atuantes. Caso isso fosse admitido, o projeto em geral seria excessivamente trabalhoso, com resultados reais de precisão duvidosa, em virtude da complexidade das estruturas assim consideradas." [13].

Em virtude do que foi exposto acima, fica a critério do calculista decidir sobre a participação ou não de elementos viga e pilar no sistema de contraventamento do edifício. O Programa GPLUS (item 4.3) permite tal decisão através de indicadores no arquivo de dados.

Devem ser observados vigas e pilares que tenham participação efetiva no sistema de contraventamento a fim de evitarem-se gastos desnecessários com o cálculo de esforços desses elementos. Não obstante, com a evolução dos métodos de análise numérica de estruturas, situações de relativa complexidade são analisadas com precisão, possibilitando maior segurança ao calculista e economia da estrutura.

Em função do modelo inicial (grelha), já descrito, e do modelo tridimensional que será descrito no Capítulo VI, Geração da Estrutura Tridimensional do Edifício, monta-se um arquivo com as características básicas do pavimento para posterior geração da estrutura tridimensional do edifício pelo Programa PPLUS (Cap. VI, item 6.3).

Para ilustrar este procedimento, a seqüência de figuras a seguir mostra a evolução do modelo inicial, grelha, até o modelo final, pórtico tridimensional.

A fig. 4.7a mostra a escolha dos elementos do contraventamento e a fig. 4.7b mostra a evolução do modelo em um trecho específico de pavimento.

As barras retiradas pouco representam em ganho de rigidez ou redistribuição de esforços na estrutura, já que não participam diretamente de qualquer painel de contraventamento (pórtico plano).

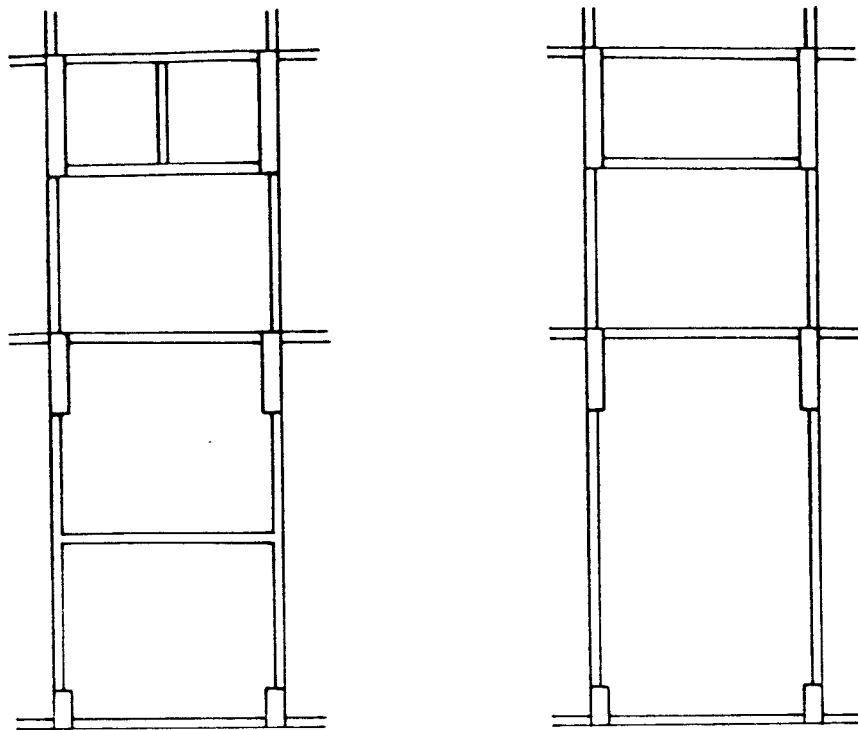


fig. 4.7a - Escolha de elementos

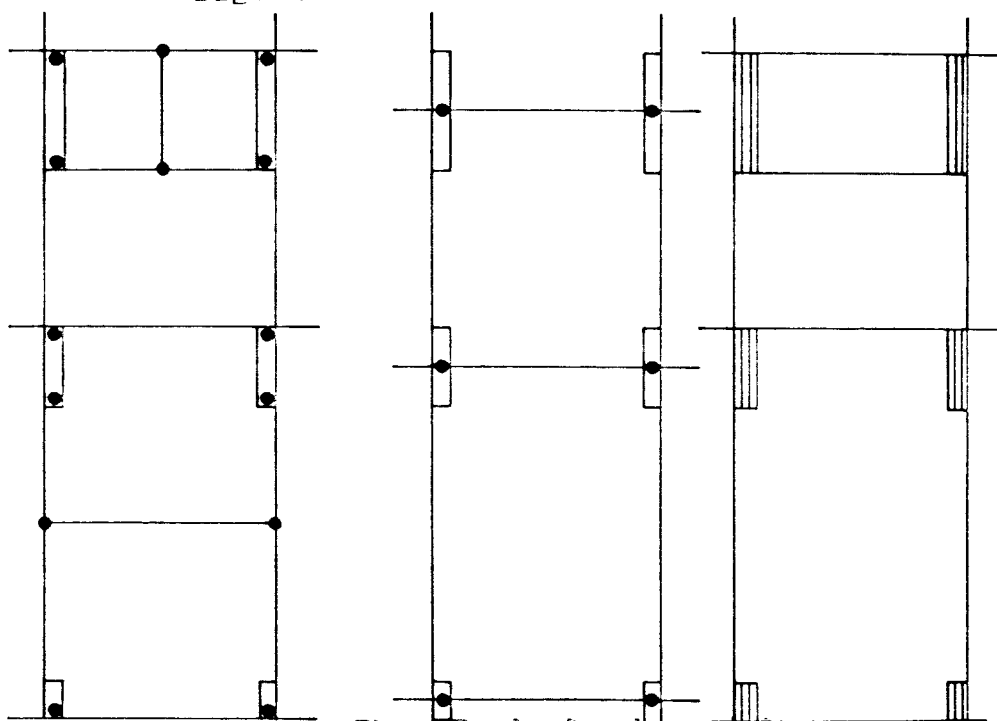


fig. 4.7b - Evolução do modelo

Em função da complexidade de cada pavimento, a escolha de elementos viga que participam da estrutura de contraventamento recai em situações diversas. O Programa GPLUS (item 4.3) prevê várias situações, as quais são

apresentadas a partir das figuras 4.8a e 4.8b .

Nas referidas figuras, os trechos em negrito são os trechos dos elementos viga que pertencerão ao modelo do pórtico tridimensional. A fig. 4.8a mostra as situações previstas e a fig. 4.8b , as situações não previstas.

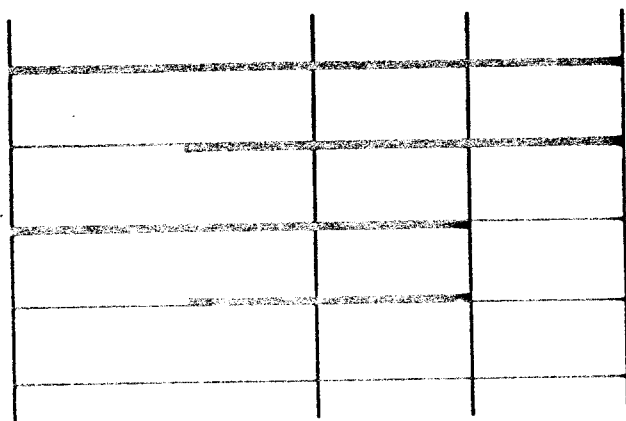


fig. 4.8a - Situações previstas
escolha de elementos viga para o contraventamento



fig. 4.8b - Situações não previstas
escolha de elementos viga para o contraventamento

Características de numeração e definição dos elementos viga e pilar serão vistos nos próximos itens relativos ao programa responsável pela montagem dos arquivos.

4.3 - PROGRAMA GPLUS

O Programa GPLUS é o primeiro dos programas de geração de geometria para edifícios. Responsável pela leitura e consistência de dados, geração de arquivos para uso comum dos demais programas e criação de arquivos finais para a análise da estrutura em outros programas, reúne todas as condições necessária para a continuidade do processamento.

4.3.1 - ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

O Programa GPLUS está disposto em três unidades básicas de processamento :

Leitura e consistência de dados,
Geração dos dados da geometria e
Impressão de resultados.

Leitura e consistência de dados :

Esta unidade consiste em um interpretador de dados, em que, com o auxílio de palavras chave que delimitam blocos de dados, lê, interpreta e faz as consistências necessárias à continuidade do processamento.

A leitura é feita de um arquivo de dados formatado, editado por um editor de textos qualquer, com alocação dinâmica de memória. Vetores e listas lineares temporários auxiliares gerados para a análise e consistência de dados são alocados dinamicamente na memória, sendo descartados posteriormente.

Geração dos dados da geometria :

Esta unidade é responsável pela criação de vetores e listas lineares, os quais contêm as informações necessárias à geração dos arquivos de uso comum dos demais

programas do conjunto.

Todas as informações estão alocadas dinamicamente na memória do micro-computador através da técnica de ponteiros, proporcionada pela linguagem Pascal, evitando-se, assim, acesso a disco, que limita em muito a velocidade de processamento.

Impressão de resultados :

Nesta unidade todos os dados obtidos a partir da leitura e geração são gravados em arquivos formatados e não formatados, relativamente a sua função : arquivos finais e arquivos lidos pelos demais programas do conjunto

Os arquivos formatados obedecem a uma formatação compatível com os programas de análise a que serão submetidos. Apesar de um maior custo computacional ser necessário para a criação de arquivos formatados, é interessante o fato de haver acesso, por parte do usuário, a esses arquivos, possibilitando rápidas correções que podem evitar novos processamentos.

Os arquivos não formatados são os arquivos de uso comum dos demais programas. São arquivos padronizados que ainda estão em processo de transformação, não justificando consultas ou correções. Apenas fazem a transferência de dados no ambiente.

4.3.2 - ESTRUTURAS DE DADOS

Todas as estruturas de dados, sejam dados de entrada, variáveis internas ou dados de saída, são estruturas estruturadas tipo "Record", proporcionadas pela linguagem Pascal.

A definição da geometria do pavimento é feita através de elementos viga e de elementos pilar. Dados auxiliares que dizem respeito aos nós, coordenadas e restrições nodais, materiais, seções transversais e rótulas também são necessários.

Na definição dos elementos viga são necessárias as seguintes informações, já organizadas em campos do Registro Viga :

VIGA

barra

nó inicial

nó final

propriedade da seção geométrica

índice de dimensionamento

participação na estrutura tridimensional

em que :

- nó inicial e nó final : determinam a incidência das barras

- propriedade da seção geométrica : determina o número do registro de propriedades (dimensões, material, etc.) a que pertence a barra. Estes dados estão armazenados em outro registro : registro de propriedades

- índice de dimensionamento : determina a participação da barra no arquivo que será gerado para o dimensionamento das vigas

- participação na estrutura tridimensional : determina a participação da barra no arquivo que será gerado para a análise da estrutura tridimensional submetida a carregamento lateral devido à ação do vento, por exemplo

Na definição dos elementos pilar são necessárias as seguintes informações, já organizadas em campos do Registro Pilar :

PILAR

nó

participação na estrutura tridimensional

participação no diafragma

em que :

- nó : determina o número do nó que define o pilar
- participação na estrutura tridimensional :
determina a participação do pilar no arquivo que será gerado para a análise da estrutura tridimensional submetida a carregamento lateral devido à ação do vento, por exemplo
- participação no diafragma : determina a participação do pilar no diafragma rígido na altura do pavimento para análise da estrutura tridimensional

Como dados auxiliares, têm-se :

NÓ

coordenada x
coordenada y
restrição nodal

em que :

- coordenadas x, y : coordenadas cartesianas
- restrição nodal : restrição do deslocamento nodal correspondente

MATERIAL

E
G
gam

em que :

- E : módulo de elasticidade longitudinal
- G : módulo de elasticidade transversal
- gam : peso específico

PROPRIEDADE

material
base
altura
cobrimento
índice de torção

em que :

- **material** : determina número do registro do material relativo à propriedade
- **base e altura** : dimensões da seção transversal retangular
- **cobrimento** : cobrimento da armadura
- **índice de torção** : determina a relação entre o momento de inércia à torção real da seção transversal e o momento efetivo no modelo

RÓTULA

barra
rótula

em que :

- **barra** : determina a barra que se deseja rotular
- **rótula** : determina a liberação de vínculo

Além dos dados apresentados neste item, outros dados serão apresentados no item 4.3.5 , Entrada de Dados.

4.3.3 - GERAÇÃO DE DADOS

Mesmo sendo sensivelmente diminuída a massa de dados, é de extrema importância a geração de dados que apresentem características semelhantes. Possibilita-se, assim, um maior aproveitamento da linha de informação do arquivo de dados, levando-se, em última análise, a uma diminuição

ainda maior do custo operacional da entrada de dados para geração da geometria da estrutura.

Dentro de um único bloco de dados podem haver entrada individual e entrada por geração. Permite-se, com isso, uma maior agilidade no processo de aquisição de dados.

Pontos nodais :

Os pontos nodais podem ser fornecidos em sistema de coordenadas cartesianas e em sistema de coordenadas polares, bastando observar uma mudança no bloco de dados.

Para a definição de um mesmo pavimento, pode haver sistemas e referenciais internos diferentes. O programa promove uma redução a um sistema de coordenadas cartesianas global através de translações e rotações de coordenadas. A definição de cada sub-sistema é determinada no início de cada bloco de dados referentes aos nós.

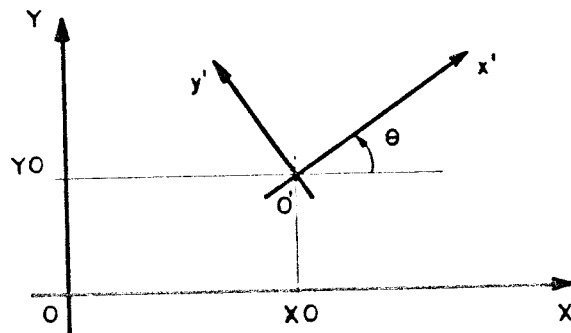


fig. 4.9 - Determinação de sub-sistemas

Para pontos nodais fornecidos em coordenadas cartesianas, há três possibilidades de entrada de dados :

- entrada individual
- geração linear
- geração em malha

Para pontos nodais fornecidos em coordenadas polares, há duas possibilidades de entrada de dados :

entrada individual
geração curvilínea

Apresentam-se, nas figuras 4.10 , os esquemas de entrada de dados para melhor visualização.

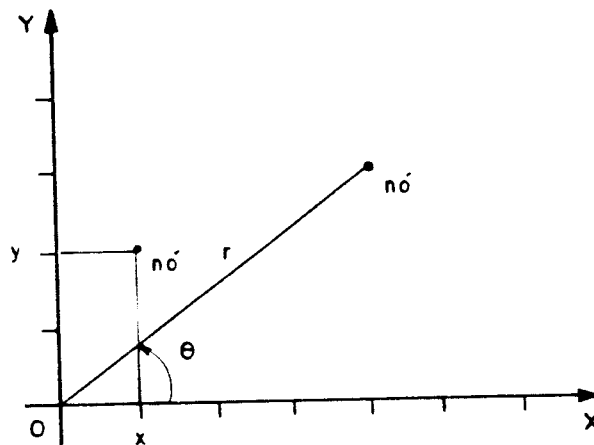


fig. 4.10a - Entrada individual de pontos nodais sistema de coordenadas cartesiano e polar

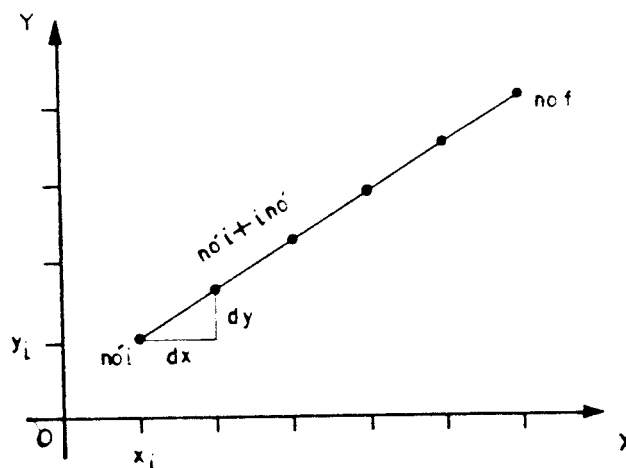


fig. 4.10b - Geração linear de pontos nodais sistema de coordenadas cartesiano

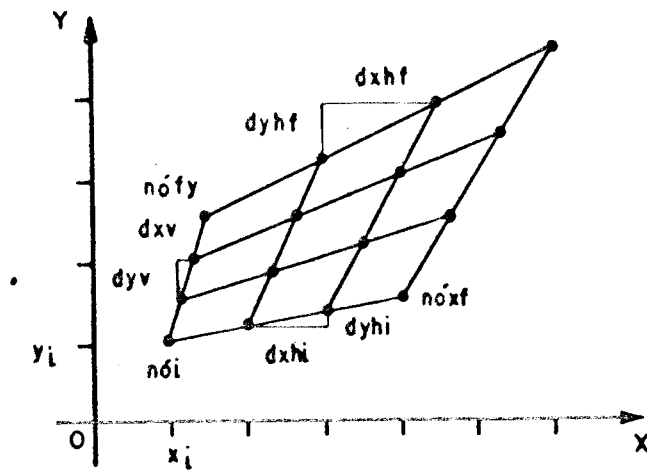


fig. 4.10c - Geração em malha de pontos nodais sistema de coordenadas cartesiano

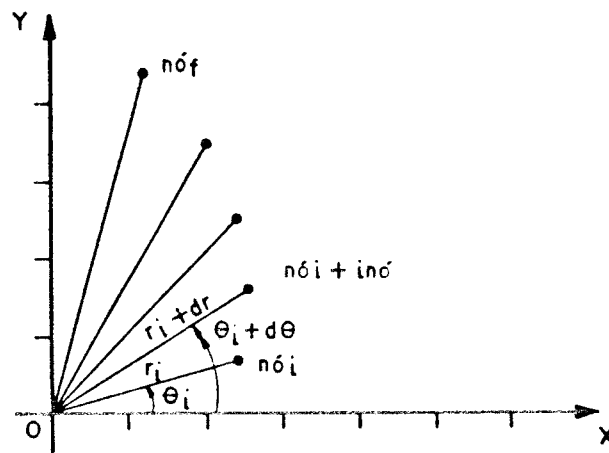


fig. 4.10d - Geração curvilínea de pontos nodais sistema de coordenadas polares

A formatação de entrada será apresentada no item 4.2.3.5 , Entrada de Dados.

Elementos Viga e Barras :

As barras são as unidades formadoras dos elementos viga. Como comentado anteriormente no item 4.2.2. , a necessidade de determinar-se um elemento viga por uma ou mais barras está em função de vários fatores : mudança de direção, mudança de propriedade, participação no modelo tridimensional, etc. .

Dois blocos de dados são possíveis para a entrada dos elementos viga : um para vigas de eixo reto e outro para vigas de eixo curvo, discretizadas em tramos retilíneos. Para cada bloco de dados, há três possibilidades de entrada :

- entrada individual
- geração de barras
- geração de vigas e/ou barras

Apresentam-se, nas figuras 4.11 , os esquemas de entrada de dados para melhor visualização. Na fig. 4.11d, as mudanças de propriedade são representadas pelas diferentes espessuras das barras que compõem os elementos viga.

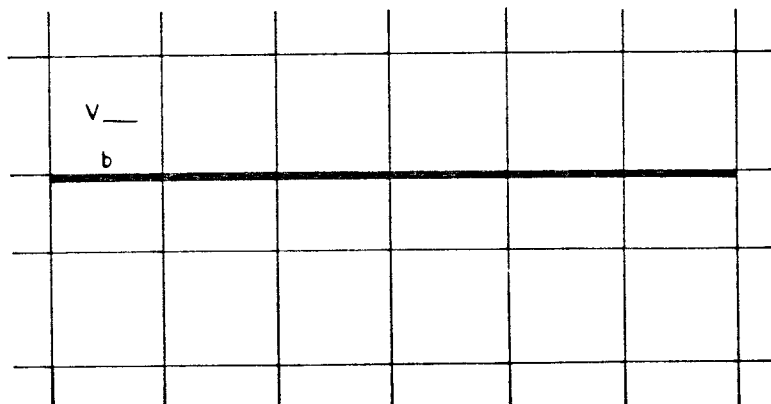


fig. 4.11a - Entrada individual de elementos viga
elementos de eixo reto

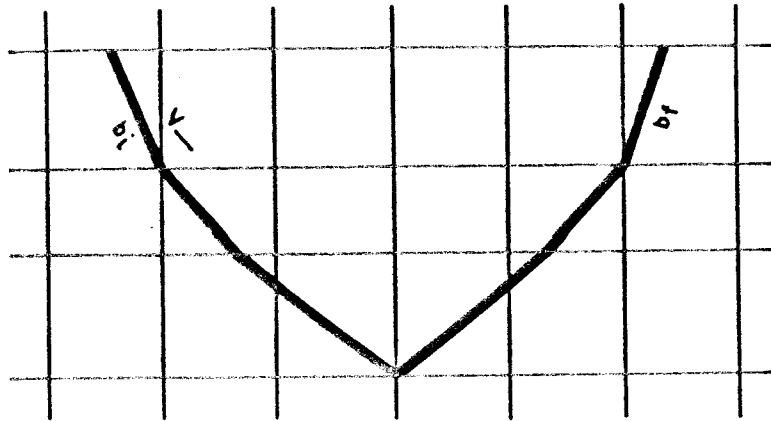


fig. 4.11b - Geração de barras em elementos viga
elementos de eixo curvo

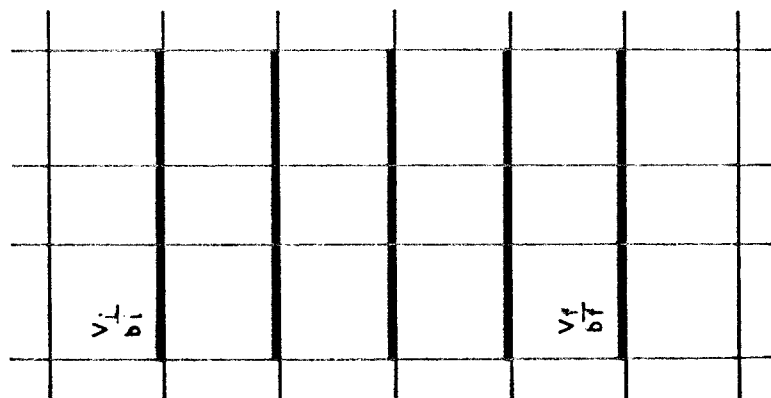


fig. 4.11c - Geração de barras e elementos viga
elementos de eixo reto - única propriedade

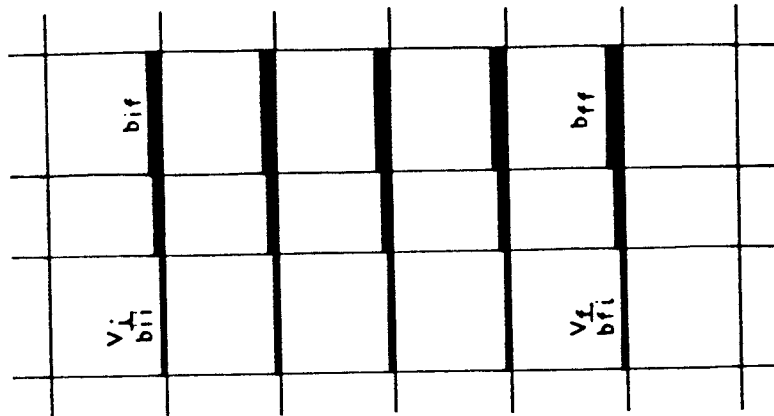


fig. 4.11d - Geração de barras e elementos viga
elementos de eixo reto - várias propriedades

A formatação de entrada será apresentada no item 4.3.5 , Entrada de Dados.

Rótulas :

Situações diversas de projeto levam a uma modelagem de sistemas estruturais em que é necessário retirar um ou mais vínculos de determinados elementos, para que possa, o modelo, melhor representar a situação real que se apresenta. Descontinuidades entre vigas provocadas por alterações de nível em pavimentos ou inversões de posição com relação à laje devem estar previstas com a eliminação do esforço momento fletor.

Deve-se, portanto, rotular as barras a fim de que se elimine este esforço. Há duas possibilidades de entrada de dados para especificar tal característica :

- entrada individual
- geração de rótulas

Apresentam-se, nas figuras 4.12 , os esquemas de

entrada de dados para melhor visualização.

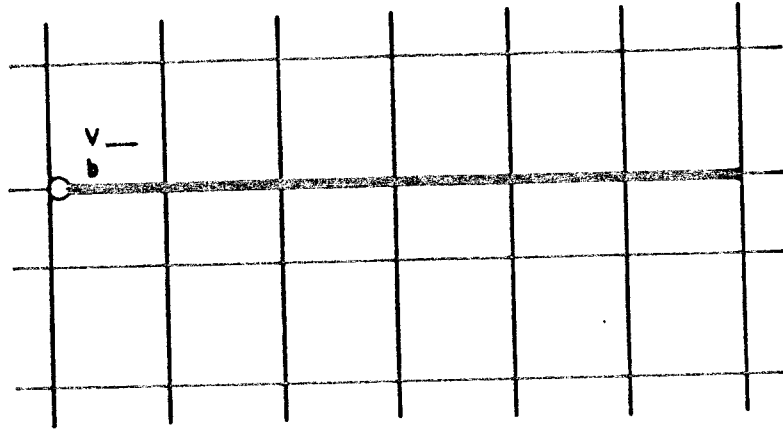


fig. 4.12a - Entrada individual de rótulas
rótula inicial

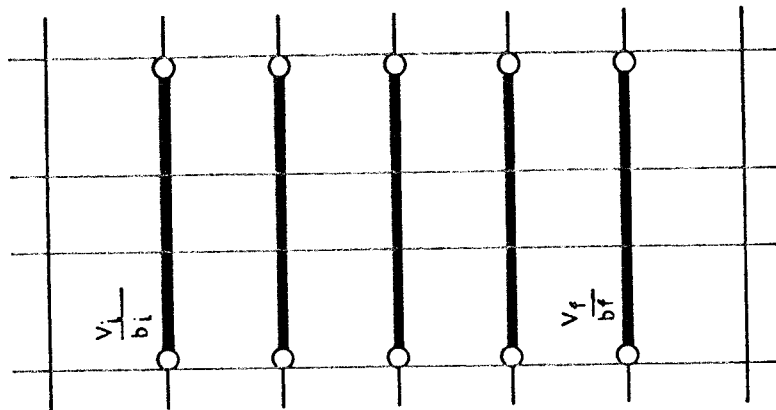


fig. 4.12b - Geração de rótulas
rótulas inicial e final

A formatação de entrada será apresentada no item 4.3.5 , Entrada de Dados.

4.3.4 - CONSISTÊNCIA DE DADOS

Três partes essenciais compõem um bom aplicativo :

entrada de dados
processamento e transformação de objetos
saída de resultados

A saída de resultados deve proporcionar um bom aspecto visual e aproveitamento adequado do formulário padrão a fim de possibilitar conforto na consulta dos resultados por parte do usuário e economia, respectivamente.

O processamento de objetos tem por finalidade a obtenção de resultados, e requer rapidez e segurança.

O processo de entrada de dados deve proporcionar simplificação na montagem de arquivos por parte do usuário, bom aspecto visual do arquivo final de entrada a fim de que erros possam ser facilmente encontrados e uma verificação dos dados feita pelo próprio aplicativo, minimizando os possíveis erros já na sua entrada.

Para tanto, algumas consistências foram criadas no que concerne a possíveis erros cometidos pelo usuário, a saber :

- capacitação do programa : acusa elementos que ultrapassam os limites do programa quanto a sua definição

- indefinição de elementos : acusa elementos que não estão definidos - exemplo : descontinuidade na numeração nodal

- redefinição de elementos : acusa elementos redefinidos

- erros de geração : acusa erros de geração, tais como : limites incorretos, incremento incorreto, etc.

O resultado da consistência pode ser observado em vídeo ou consultado em arquivo, conforme opção inicial escolhida pelo usuário.

4.3.5 - ENTRADA DE DADOS

Como comentado anteriormente no item 4.3.1 , a entrada de dados é feita através de um arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer.

Com o auxílio de palavras chave, o usuário define os blocos de dados que contêm informações específicas de cada elemento ou dos dados auxiliares. Gerações e entradas individuais podem ser efetuadas no mesmo bloco de dados.

O arquivo de dados contém os seguintes itens :

Cabeçalho :

Contem as informações necessárias quanto à especificação do projeto, cliente, pavimento, concreto, aço e à participação do pavimento no modelo tridimensional gerado posteriormente. Possui as seguintes variáveis :

Projeto : especificação do projeto
Cliente : identificação do cliente
Pavimento : especificação do pavimento
fck : resistência característica do concreto à compressão
fyk : resistência característica do aço à tração
Chv : participação do pavimento na geração do modelo tridimensional

Blocos de dados :

Informam ao interpretador de dados a forma de leitura seguinte do arquivo em função da definição de cada elemento ou dado auxiliar. São possíveis oito blocos de dados e um delimitador de arquivos, a saber :

NR - nós em coordenadas cartesianas
NP - nós em coordenadas polares

MT - características dos materiais
PR - propriedades geométricas das seções transversais
VR - elementos viga com eixo reto
VC - elementos viga com eixo curvo
RT - rótulas
PI - elementos pilar
FN - final de arquivo

Para cada bloco de dados, há variáveis específicas, definidas a seguir :

Blocos NR e NP - NÓ :

XO,YO,TETA0 - origem (em coordenadas cartesianas) e ângulo de rotação dos sub-sistemas

nó - número do nó para entrada individual

nói,nóf - números dos nós inicial e final para geração linear

nói,nófx,nófy - números dos nós inicial, final na direção x e final na direção y para geração em malha

incnó - incremento de numeração nodal para geração linear

incnóx,incnóy - incrementos de numeração nodal para a direções x e y, respectivamente, para geração em malha

x,y,r,teta - coordenadas do nó, em sistema cartesiano e polar, respectivamente

xi,yi,ri,tetai - coordenadas do nó inicial para gerações linear, em malha e curvilínea

dx,dy,dr,dteta - incrementos de coordenadas para gerações linear e curvilínea

dxv,dyv - incrementos de coordenadas na linha "mais vertical" para geração em malha

dxhi,dyhi - incrementos de coordenadas na linha inicial "mais horizontal" para geração em malha

dxhf,dyhf - incrementos de coordenadas na linha final "mais horizontal" para geração em malha

Bloco MT :

mat - número do material
E - módulo de elasticidade longitudinal
G - módulo de elasticidade transversal
gam - peso específico

Bloco PR :

prop - número da propriedade
mat - número do material
b - largura da seção transversal (retangular)
h - altura da seção transversal (retangular)
dl - cobrimento da armadura
torç - índice de torção

Blocos VR e VC - VIGA :

V* - nome do elemento viga
V*i, V*f - nomes dos elementos viga inicial e final para geração
incvig - incremento da numeração do nome da viga para geração
bar - número da barra para entrada individual
bari, barf - números das barras inicial e final para geração com apenas uma propriedade
barii, barfi - números das barras inicial e final com mesma propriedade dentro do conjunto de elementos viga
nóii, nófi - números dos nós inicial e final da barra inicial a viga inicial, respectivamente
incnóii, incnófi - incrementos dos nós inicial e final da barra inicial da viga inicial
prop, propi - número da propriedade para entrada individual e geração, respectivamente
dim - índice de dimensionamento
vnt - índice de participação no modelo tridimensional

Bloco RT :

bar - número da barra para entrada individual
bari, barf - números das barras inicial e final para
geração
incbar - incremento da numeração das barras para
geração
rot - definição da rótula

Bloco PI :

P* - nome do pilar
vnt - índice de participação no modelo tridimensional
dfg - índice de participação no diafragma rígido
nóp - número do nó pertencente ao elemento pilar
res - restrição nodal

FN :

Este item é o delimitador de arquivos. Deve ser a última instrução contida no arquivo a fim de determinar o término do fornecimento de dados para geração da geometria do pavimento.

Para uma melhor padronização da entrada de dados, alguns dos itens anteriores têm seus dados relacionados a uma convenção. Apresentam-se, a seguir, os itens e as convenções a que estão subordinados.

Chv - participação do pavimento no modelo tridimensional

0 - não participa
1 - participa

rot - definição de rótula em extremidades de barras

A barra possui duas extremidades : inicial e final, conforme sua incidência nodal.

- 0 - extremidade não rotulada
- 1 - extremidade rotulada

Para simplificação da entrada, tem-se para a variável *rot* os seguintes valores :

- 1 - 1 0
- 2 - 0 1
- 3 - 1 1

res - restrições aos deslocamentos nodais

Os deslocamentos possíveis para os nós no plano do pavimento são :

translação, segundo a direção x,
translação, segundo a direção y e
rotação, ao redor do eixo vertical.

- 0 - deslocamento livre
- 1 - deslocamento impedido

Para simplificação da entrada, tem-se para a variável *res* os seguintes valores :

- 1 - 1 0 0
- 2 - 1 1 0
- 3 - 1 0 1
- 4 - 1 1 1
- 5 - 0 1 0
- 6 - 0 0 1
- 7 - 0 1 1

vnt - participação no modelo tridimensional

0 - não participa

1 - participa

dfg - participação do pilar no diafragma rígido

0 - não participa

1 - participa

A seguir, apresenta-se a forma mais geral do arquivo de dados, com variações de geração e blocos de dados. As palavras chave são apresentadas em **negrito** para sua melhor visualização.

Projeto

Cliente

Pavimento

fck

fyk

Chv

NR

XO, YO, TETAO,

.

.

nó, x, y,

.

.

nó_i, nó_f, incnó_i, xi, dx, yi, dy,

.

.

nó_i, nó_{fx}, incnó_x, nó_{fy}, incnó_y, xi, yi, dxv, dxh, dxhi, dyhi, dxhf, dyhf,

.

.

NP

XO, YO, TETAO,

.

.

nó, r, teta,

.
.
nói,nóf,incnó,ri,dr,tetai,dteta,

.
.
MT

.
.
mat,E,G,gam,

.
.
PR

.
.
prop,mat,b,h,dl,torc,

.
.
VR

V*

.
.
bar,nói,nóf,prop,dim,vnt,

.
.
bari,barf,incbar,nóii,incnóii,nófi,incnófi,prop,dim,vnt,

.
.
V*i,V*f,incvig,

.
.
barii,barfi,incbar,nóii,incnóii,nófi,incnófi,propj,dim,vnt,

.
.
VC

V*

```

bar,nói,nóf,prop,dim,vnt,
.
.
bari,barf,incbar,nóii,incnóii,nófi,incnófi,prop,dim,vnt,
.
.
V*i,V*f,incvig,
.
.
barii,barfi,incbar,nóii,incnóii,nófi,incnófi,propj,dim,vnt,
.
.
RT
.
.
bar,rot,
.
.
bari,barf,incbar,rot,
.
.
PI
P*,vnt,dfg,
.
.
nóp,res,
.
.
FN

```

A ordem da entrada de dados apresentada no arquivo é rígida. Determina uma seqüência lógica de fornecimento dos elementos para a definição da geometria da estrutura e consistência de dados.

Os blocos que naturalmente não sejam necessários à definição do modelo simplesmente deixam de fazer parte do arquivo de dados. Por exemplo, não havendo necessidade de

definir-se um sistema de coordenadas polares para a determinação das coordenadas dos pontos nodais, o bloco NP é eliminado do arquivo de dados.

4.3.6 - SAÍDA DE RESULTADOS

Como resultado do processamento, o Programa GPLUS fornece arquivos formatados para análise dos esforços do pavimento e arquivos não formatados para continuidade da geração de dados para a geometria do edifício.

No Capítulo VII, Exemplos, os arquivos formatados serão apresentados com sua formatação original e com as explicações necessárias.

4.3.7 - LIMITES DO PROGRAMA

Em função de um ganho de velocidade, as variáveis são alocadas dinamicamente em vetores e listas lineares na memória. Para a alocação de vetores, é necessária a fixação de dimensões, as quais não são um fator determinante da capacidade do programa junto às estruturas correntes.

A seguir, apresentam-se os valores fixados para o número de elementos da estrutura.

número de nós : 1000
número de barras : 1500
número de materiais : 10
número de propriedades : 100

Os elementos viga e pilar são alocados em listas lineares, sendo limitados, portanto, pela quantidade restante de memória.

CAPÍTULO V

GERAÇÃO DE LAJES

5.1 - INTRODUÇÃO

Nos pavimentos em que não existam vigas e as lajes são diretamente responsáveis pela transferência das cargas aos pilares, a análise de esforços deve ser mais cuidadosa. As lajes são chamadas lajes cogumelo e podem ser modeladas através de elementos finitos, o que não é assunto deste trabalho.

Em pavimentos de edifícios em que o sistema estrutural resistente às cargas verticais é a grelha, as lajes podem ser tratadas como elementos estruturais independentes, observando-se apenas sua definição geométrica e condições de vinculação com as lajes vizinhas. Sua função é recolher as cargas e transferi-las para as vigas sobre as quais se apoiam, e estas, para os pilares. O cálculo de esforços nas lajes é imediato, podendo ser aplicado qualquer método - Método das Charneiras Plásticas, ou tabelas - Tabelas de Bares.

O cálculo integrado de pavimentos exige o carregamento da grelha diretamente do cálculo de reações das lajes. Para isto, é necessário um arquivo que contenha a definição de todas as lajes quanto a sua geometria, condições de vinculação, carregamento e as barras sobre as quais se apoiam seus lados.

Este capítulo descreve a forma de caracterização das

lajes e o programa responsável pela montagem do arquivo de dados para a definição geométrica das lajes do pavimento.

5.2 - GERAÇÃO DE LAJES

Para pavimentos em grelha, as vigas e os pilares são modelados com o auxílio de barras e nós. No capítulo anterior, definiu-se o modelo para a representação da grelha.

Na fig. 5.1, observa-se a forma de um pavimento em que estão definidos: vigas, pilares, lajes e vazios, ou seja, ausência de lajes.

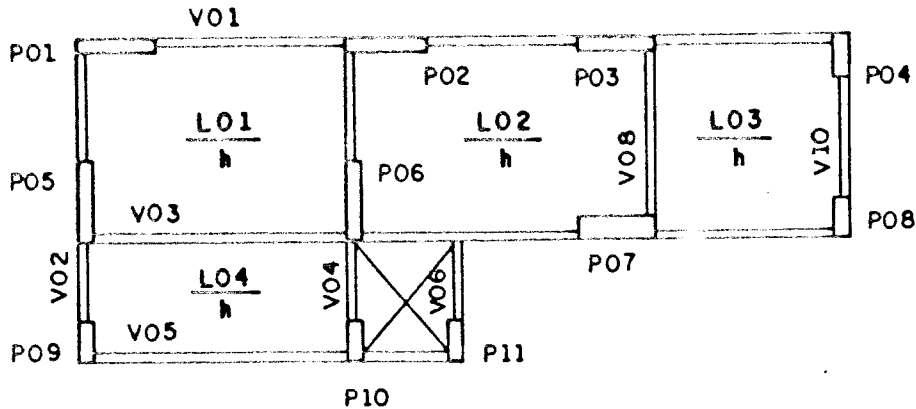


fig. 5.1 - Forma do pavimento vigas, pilares, lajes e "buracos"

Com a estrutura do pavimento modelada através de barras e nós, fig. 5.2, é necessário a definição das lajes que o compõem.

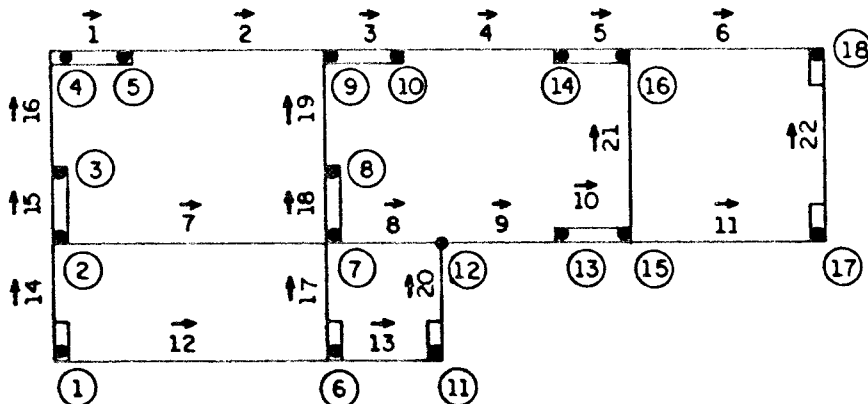


fig. 5.2 - Modelo do pavimento

Em função dos dados gerados pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3), a definição das lajes quanto a sua geometria é feita pelo Programa LPLUS (item 5.3) .

A fig. 5.3 representa as lajes do pavimento. As convenções que representam as condições de vinculação das lajes encontradas na figura são as freqüentemente utilizadas na literatura : apoio e engaste.

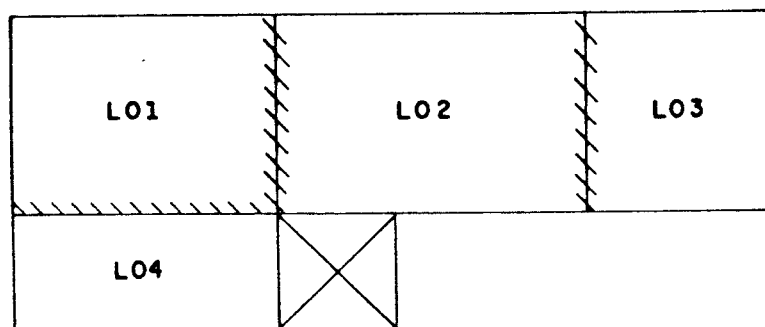


fig. 5.3 - Lajes do pavimento

5.2.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS LAJES

A caracterização das lajes deve ser feita em função de sua geometria, condições de vinculação e carregamento.

Por geometria, entende-se as dimensões em planta da laje, sua espessura e o cobrimento da armadura. As condições de vinculação devem ser definidas através da observação do painel formado pelo conjunto de todas as lajes. Isto possibilita a determinação de continuidade ou não da laje em relação às lajes adjacentes. Devem ser observados, entre outros fatores, os níveis relativos, espessuras, condições de carregamento e uma possível configuração de giro dos apoios com a elástica do conjunto.

A definição do carregamento deve estar de acordo com a Norma NBR-6118, Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado.

Além destes dados relativos à laje como elemento isolado no pavimento, deve-se definir as barras de apoio

para cada lado da laje. Com o cálculo das reações de apoio das lajes, estas barras são automaticamente carregadas.

Como exemplo, analisa-se a laje L01 do pavimento representado na fig. 5.1 .

A espessura e o cobrimento da armadura são definidos previamente pelo calculista como resultado de pré-dimensionamento e observação das dimensões mínimas determinadas pela NBR-6118. Definido o sistema de coordenadas, determinam-se os comprimentos relativos às direções x e y. A fig. 5.4 representa a definição geométrica da laje L01.

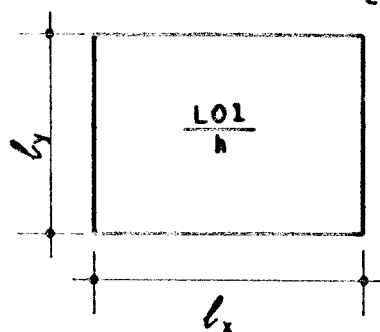


fig. 5.4 - Definição geométrica

O lado esquerdo e o lado superior da laje L01 não possuem continuidade com nenhuma outra laje, pois estão localizados nas laterais do pavimento. Isto determina a condição de vinculação como apoio simples para estes lados.

Os lados direito e inferior possuem continuidade com as lajes L02 e L04, respectivamente, como observado na fig. 5.1 .

Sendo as espessuras, cotas e condições de carregamento idênticas para todas as lajes, analisa-se a rigidez relativa para a definição da condição de vinculação desses lados com as demais lajes.

As lajes L01 e L02 possuem uma rigidez relativa equivalente que determina uma relação de continuidade entre elas. Define-se, então, uma condição de vinculação de engaste para o lado direito da laje L01 em relação à

laje L02.

Para o lado inferior, admite-se que a laje L04 não possui rigidez suficiente para determinar a condição de giro nulo do apoio entre as duas lajes. Isto significa que a condição de vinculação para o lado inferior da laje L01 em relação à laje L04 é de apoio simples.

Para a laje L04 em relação à laje L01, pode-se admitir condição de vinculação de engaste, já que a laje L01 reúne condições estáticas de absorver o momento fletor negativo determinado pela laje L04. Note-se que esta é a análise usualmente feita na prática.

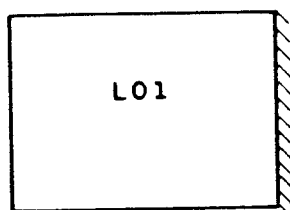


fig. 5.5 - Condições de vinculação

Definidos geometria, condições de vinculação e carregamentos, a determinação dos elementos de apoio que deverão ser carregados posteriormente é feita diretamente da definição do modelo. Na fig. 5.6, são observadas as barras de apoio das laterais da laje L01 de acordo com o modelo representado na fig. 5.2 .

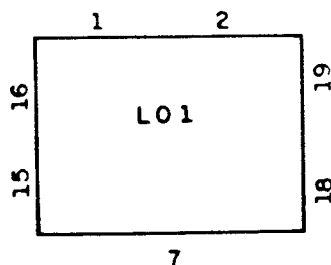


fig. 5.6 - Barras de apoio

5.3 - PROGRAMA LPLUS

O Programa LPLUS é o segundo dos programas de geração de geometria para edifícios. Responsável pela leitura de arquivos gerados pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3) e pela montagem de arquivos com as características básicas da geometria das lajes do pavimento, gera a maioria dos dados necessários a esta etapa do projeto.

5.3.1 - ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

O Programa LPLUS está disposto em três unidades básicas de processamento :

Leitura de dados,
Geração dos dados da geometria e
Impressão de resultados.

Leitura de dados :

Esta unidade é responsável pela leitura de um arquivo de dados não formatado gerado pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3), em que são armazenadas todas as informações necessárias à geração da geometria das lajes do pavimento.

Não há consistência de dados, já que este arquivo é padronizado e submetido a testes anteriores, na fase de geração dos dados referentes à grelha.

Vetores e listas lineares referentes à leitura do arquivo são alocados dinamicamente na memória do micro-computador.

Geração dos dados da geometria :

Os dados necessários à definição da geometria das lajes são gerados nesta unidade. O processamento é feito ao nível da memória, com alocação dinâmica de variáveis

que proporciona um ganho considerável de velocidade.

Impressão de resultados :

Nesta unidade todos os dados obtidos a partir da geração da geometria são gravados em arquivo formatado para posterior análise por outros programas. Sua formatação deverá ser compatível com esses programas de análise. O arquivo de saída é formatado por razões já comentadas anteriormente (Cap.IV, item 4.3.6) .

5.3.2 - ESTRUTURAS DE DADOS

As estruturas de dados são do tipo "Record", estrutura estruturada proporcionada pela linguagem Pascal, e do tipo lista encadeada, definida com o auxílio de ponteiros em linguagem Pascal.

Na definição da geometria das lajes são necessárias as seguintes informações, já organizadas em campos do Registro Laje :

LAJE

comprimentos l_x e l_y
vinculações 1,2,3 e 4
carregamento
espessura e cobrimento

em que :

- comprimentos l_x e l_y : dimensões em planta segundo as direções x e y (lajes retangulares)
- vinculações 1,2,3 e 4 : condições de vinculação para os lados esquerdo, direito, inferior e superior, respectivamente
- carregamento : intensidade do carregamento - carga uniformemente distribuída
- espessura e cobrimento : espessura da laje e

cobrimento da armadura

As barras que servem de apoio para os lados das lajes são armazenadas em forma de lista encadeada. Não é necessária a definição de dimensão para este tipo de estrutura que funciona como um "trem" : basta introduzir vagões para aumentar o conjunto. Com isto, ganha-se muito no aproveitamento da capacidade da memória.

A formatação de saída será apresentada no item 5.3.4 , Saída de Resultados.

5.3.3 - ENTRADA DE DADOS

Como comentado anteriormente no item 5.3.1 , a entrada de dados é feita através de um arquivo não formatado gerado pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3). Os dados contidos neste arquivo são padronizados para todos os pavimentos e não necessitam ser consultados. Isto justifica a não formatação do arquivo que determina um ganho considerável de velocidade tanto na gravação quanto na leitura.

5.3.4 - SAÍDA DE RESULTADOS

Como resultado do processamento, o Programa LPLUS fornece um arquivo formatado com as características geométricas das lajes para análise e dimensionamento posteriores.

O arquivo de saída contém os seguintes itens :

Cabeçalho :

Contém as informações necessárias quanto à especificação do projeto, cliente, pavimento, concreto e aço. Possui as seguintes variáveis :

Projeto : especificação do projeto

Cliente : identificação do cliente
Pavimento : especificação do pavimento
fck : resistência característica do concreto à compressão
fyk : resistência característica do aço à tração

Lajes :

Determina a caracterização das lajes. A seguir, apresentam-se as variáveis contidas neste item.

L* - nome da laje
lx, ly - dimensões da laje segundo as direções x e y, respectivamente
vinc1, vinc2, vinc3, vinc4 - condições de vinculação dos lados esquerdo, direito, inferior e superior da laje, respectivamente
carr - intensidade do carregamento - carga distribuída uniforme
h, dl - espessura e cobrimento da armadura, respectivamente
barsi - barras que compõem os apoios para o lado i da laje

FIM :

Este item é o delimitador de arquivos. É a última instrução contida no arquivo a fim de determinar o término do fornecimento de lajes para análise.

As condições de vinculação vinc_i, apoio simples ou engaste, estão subordinadas a uma convenção. Apresenta-se, a seguir, a convenção para as condições de vinculação.

0 - apoio simples

1 - engaste

A seguir, apresenta-se a forma do arquivo de saída.

Projeto

Cliente

Pavimento

Fck

Fyk

L*

lx,ly,vinc1,vinc2,vinc3,vinc4,carr,h,d1,

bars1,...

bars2,...

bars3,...

bars4,...

L*

.

.

FIM

5.3.5 - LIMITES DO PROGRAMA

Por razões comentadas anteriormente (Cap. IV, item 4.3.7), a definição da geometria das lajes é alocada em vetores.

A seguir, apresentam-se os valores fixados para o número de elementos da estrutura.

número de nós : 1000

número de barras : 1500

número de lajes : 100

As barras que servem de apoio para os lados das lajes são alocadas em listas lineares encadeadas, sendo limitadas, portanto, pela quantidade restante de memória.

CAPÍTULO VI

GERAÇÃO DA ESTRUTURA DO EDIFÍCIO TRIDIMENSIONAL

6.1 - INTRODUÇÃO

Com a evolução do tratamento matemático dado à resolução de grandes sistemas de equações lineares, os novos métodos de equacionamento dos problemas de análise estrutural encontram suporte para seu desenvolvimento.

Paralelamente a isto, o crescente desenvolvimento da tecnologia de informática determina maior capacidade, rapidez, confiabilidade e menor custo aos equipamentos de pequeno e médio portes, o que possibilita o acesso a eles por parte de pequenos e médios escritórios de cálculo.

Acompanhando esse processo, a qualidade dos resultados obtidos na análise de estruturas com o auxílio dessas ferramentas eleva-se muito, possibilitando uma economia de tempo e material, além da melhoria da qualidade final dos produtos, projeto e construção.

Nesse contexto, estão os sistemas computacionais desenvolvidos para análise de esforços em estruturas. Com grande versatilidade, são capazes de realizar operações sobre estruturas diversas e com grande quantidade de graus de liberdade.

Para sistemas computacionais científicos em geral, é pequena a massa de dados necessária, mas são executados processamentos complexos. Em contrapartida, os sistemas ditos comerciais operam com elevado número de dados e

processamentos de menor complexidade.

Muitos dos sistemas científicos criados até agora para análise de esforços em estruturas através de análise matricial, elementos finitos ou elementos de contorno são exceção a essa regra. Utilizam-se de uma grande massa de dados de entrada para a efetivação do processamento. Este é o fator determinante no custo do processo de análise de estruturas : a entrada de dados.

Para minimizar as dificuldades encontradas nos processos usualmente utilizados, um conjunto de programas integrados por arquivos de uso comum faz a geração de dados necessária à determinação geométrica da estrutura.

Com arquivos de dados gerados pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3) relativos a cada pavimento do edifício e com a definição das características dos níveis e pilares, monta-se, automaticamente, o arquivo de dados que descreve a geometria da estrutura tridimensional.

Este capítulo descreve o modelo utilizado para a definição da estrutura do edifício e o programa responsável pela geração dos dados relativos à geometria da sua estrutura portante.

6.2 - MODELO TRIDIMENSIONAL

O modelo que se apresenta para a definição do sistema estrutural pórtico espacial basicamente não difere do modelo apresentado para grelha plana. É constituído de barras e nós, formando o que se chama de estrutura reticulada. Porém, são introduzidos outros recursos de modelagem. Estes recursos são utilizados em circunstâncias diversas, com dois objetivos : a melhor representação das condições de serviço e a redução do número de graus de liberdade da estrutura.

6.2.1 - DIAFRAGMA RÍGIDO - "NÓ MESTRE"

Em sistemas estruturais de edifícios é usual a

presença de elementos com rigidez significativamente maior, comparados aos demais. Isto possibilita sua idealização como elementos infinitamente rígidos, sem perda de representatividade do modelo.

Para a situação típica em que a estrutura do edifício é composta por lajes e pórticos, sem a presença de grandes aberturas nas lajes, é possível admitir-se que o pavimento funcione como um elemento infinitamente rígido em seu plano e perfeitamente flexível na direção normal a esse plano. Portanto, o pavimento determina a distribuição das ações horizontais entre os vários painéis de contraventamento como um diafragma rígido.

A fig. 6.1 representa os pavimentos como diafragmas.

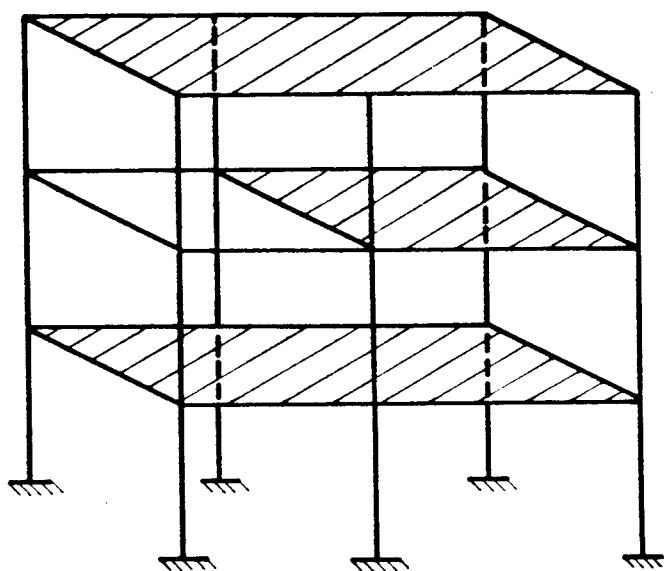


fig. 6.1 - Diafragmas rígidos

A simplificação do modelo é evidente, já que os deslocamentos do pavimento são compatibilizados no seu plano, não havendo qualquer deformação.

Expressiva redução do número de graus de liberdade é determinada pela hipótese adotada. Três graus de liberdade de todos os nós ao nível do pavimento são determinados em função de um único nó denominado "nó mestre", cuja posição é definida arbitrariamente : duas translações no

plano do diafragma e uma rotação normal.

Com deslocamentos de corpo rígido, o diafragma permite a redução ao "nó mestre" dos três deslocamentos de todos os nós a ele subordinados. Os demais deslocamentos complementares permanecem no nó original, que continua fazendo parte do modelo.

A fig. 6.2 representa os deslocamentos de corpo rígido dos diafragmas. As barras contidas no pavimento estão subordinadas a um único "nó mestre" e aquelas entre pavimentos, aos "nós mestres" correspondentes.

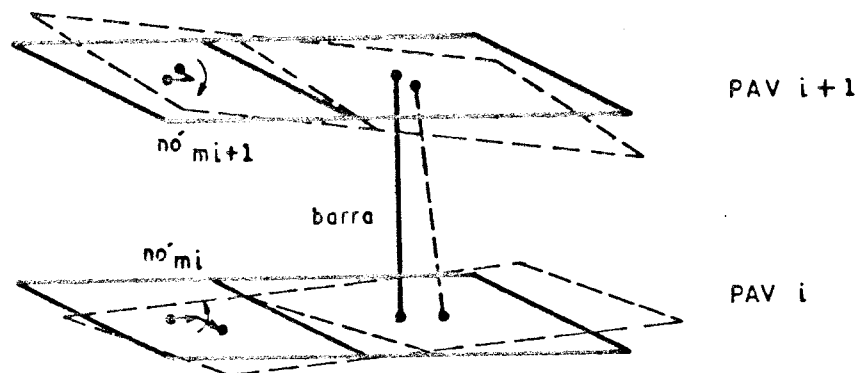


fig. 6.2 - Deslocamento de corpo rígido

Observa-se uma redução ainda maior do número de graus de liberdade da estrutura sem a discretização da laje, já que, por hipótese, não ocorrem deformações no plano do pavimento.

6.2.2 - TRECHOS RÍGIDOS EM BARRAS - "OFFSETS"

As ligações entre vigas e pilares é outra situação a ser destacada. As dimensões finitas dessas ligações em estruturas aperticadas de concreto e aço resistentes a ações horizontais, normalmente não são desprezíveis comparadas a vãos e pés-direitos. Devem, portanto, ser consideradas no modelo definido para a análise da estrutura.

Admite-se, com eficiência, que essas intersecções possuam rigidez infinita. A ligação é resumida a um ponto e os elementos estruturais deformáveis ligados a ela, idealizados por meio de trechos rígidos, normalmente designados por "offsets". A fig. 6.3 representa uma ligação viga-pilar, com as características do modelo exposto acima.

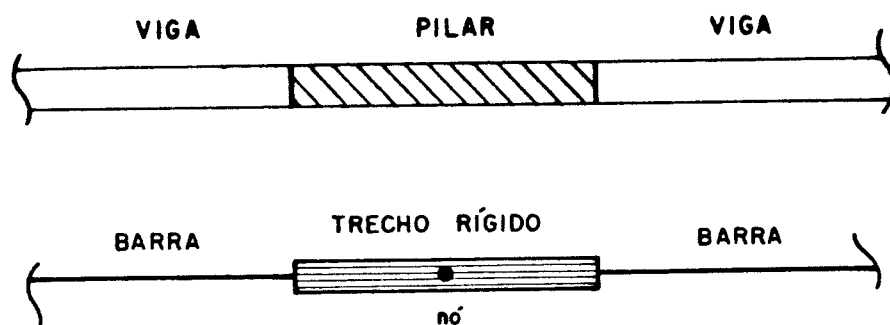


fig. 6.3 - Trechos rígidos em barras - "offsets"

Para o pórtico representado na fig. 6.4, os nós são definidos pelas intersecções das barras da estrutura e as ligações, realçadas na figura, simuladas através de "offsets".

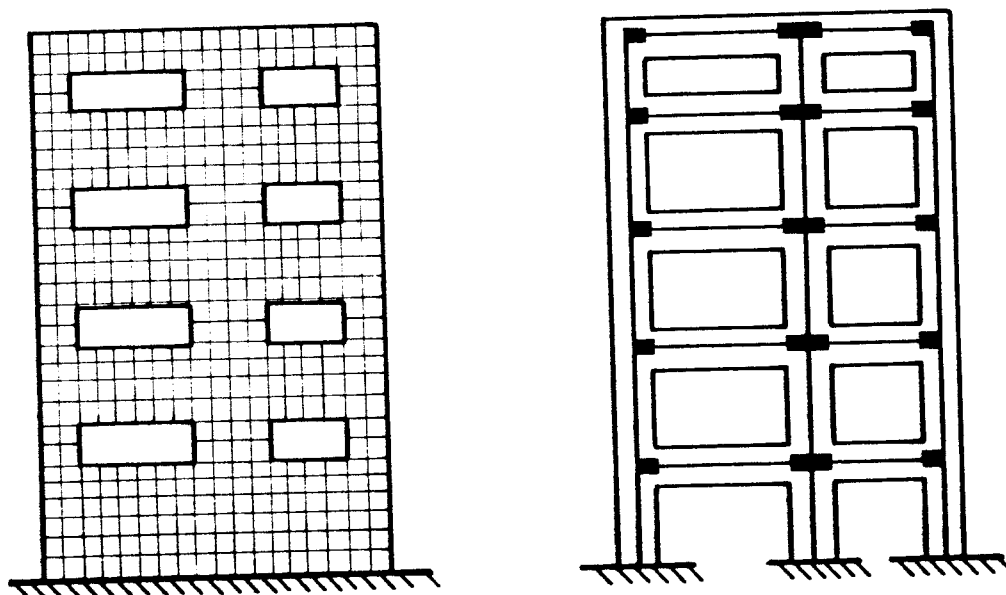


fig. 6.4 - Pórtico com "offsets"

A definição dos trechos rígidos, "offsets", pelo usuário, é um simples problema geométrico. Definidos os nós que discretizam a estrutura, os "offsets" são determinados pelas dimensões das ligações relativas a cada direção do sistema de coordenadas, a partir do nó. Essas dimensões têm sinal positivo quando coincidem com a direção dos eixos coordenados correspondentes. A fig. 6.5 representa uma barra cuja incidência nodal está definida pelos nós i e j . Com a imposição de "offsets", a barra, enquanto elemento deformável, passa a ser definida pelos pontos \bar{i} e \bar{j} . Na figura, são apresentadas as dimensões dos "offsets" com sinal positivo, coincidentes com as direções dos eixos coordenados.

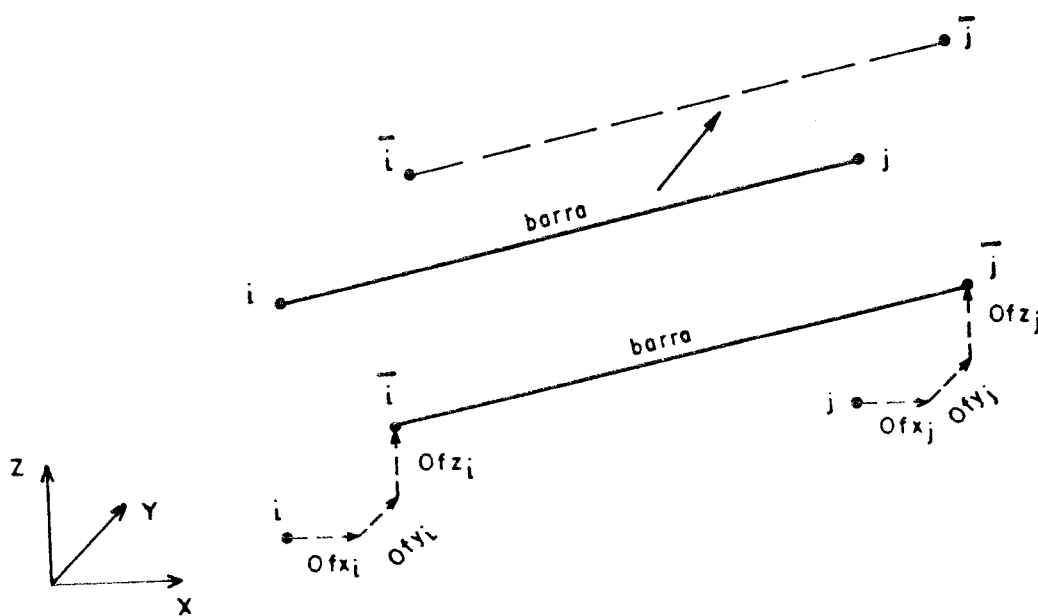


fig. 6.5 - Definição de "offsets"

A discretização com a consideração das dimensões das ligações viga-pilar melhora os resultados da análise do comportamento da estrutura. A não consideração dessas dimensões pode introduzir erros significativos nos resultados da análise [19].

6.3 - GERAÇÃO DA ESTRUTURA

A definição do modelo tridimensional da estrutura começa no lançamento dos modelos das grelhas dos pavimentos que participam do edifício. Como comentado no Cap. IV, item 4.2.2, pode haver situações diversas para a definição do sistema de contraventamento da estrutura, em que o calculista deve optar pela melhor solução. Isto está previsto no escopo da entrada de dados. Portanto, antes do lançamento do modelo responsável pela discretização do pavimento, deve-se determinar o sistema de contraventamento do edifício.

Os sistemas de coordenadas dos pavimentos que compõem o edifício devem ser definidos com mesma origem, direção e sentido, determinando um único sistema para toda a estrutura tridimensional. Para isso, os sub-sistemas são utilizados convenientemente, de maneira a compatibilizar as situações locais e globais.

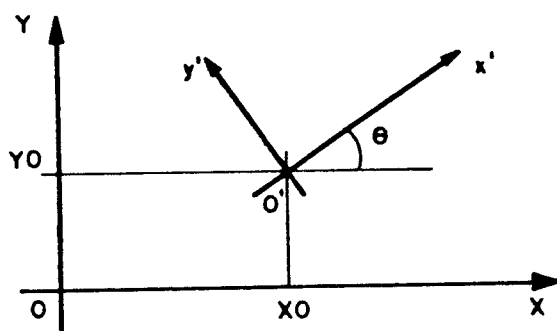


fig. 6.6 - Compatibilização de coordenadas

Com isso, promove-se a compatibilização das coordenadas de todos nós dos pavimentos, inclusive dos pilares, os elementos mais importantes na geração da geometria da estrutura. Para a geração dos dados da estrutura, os pilares são os elementos mestres do processo. Sua definição deve ser precisa, e única, em todos os pavimentos do edifício. A numeração nodal está relacionada a eles e são também os elementos centrais na

consistência de dados.

As vigas, ao contrário dos pilares, são definidas em cada pavimento. São elementos secundários no processo de geração e consistência de dados da estrutura.

Os "offsets" são gerados automaticamente a partir de dados provenientes dos pavimentos e de um arquivo de dados específico para a estrutura do edifício. Este arquivo também promove a ordenação dos pavimentos na composição da estrutura.

A seguir, são apresentados os esquemas de geração dos elementos do modelo : nós, barras e "offsets".

6.3.1 - NUMERAÇÃO NODAL

Observadas a geração de todos os pavimentos do edifício e as determinações relativas aos sistemas de coordenadas, tem início a numeração nodal.

O número de nós necessários em cada pavimento é determinado pelo número de pilares que chegam, cruzam ou partem do pavimento, pelo número de cruzamentos entre as vigas pertencentes ao pavimento, mais um "nó mestre" referente ao diafragma do pavimento. A soma de todos os nós determina o número total de nós do pavimento.

A ordem de numeração nodal dentro do pavimento está assim definida :

pilares
cruzamentos
"nó mestre"

No arquivo de dados referente à estrutura tridimensional, a ordem de definição dos pilares determina a ordem de numeração dos nós a eles correspondentes em todos os pavimentos. Com isto, o primeiro pilar definido no arquivo terá como nó correspondente em todos os pavimentos a que pertencer, o primeiro.

Em seguida, os cruzamentos são numerados à medida que

forem surgindo no arquivo gerado pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3). A ordem depende das opções de renumeração apresentadas no Cap. IV, item 4.2.2 .

Por fim, o "nó mestre". Define a participação no diafragma rígido dos nós a ele subordinados. É sempre o último nó do pavimento.

A numeração nodal da estrutura tridimensional cresce à medida que os pavimentos vão sendo a ela incorporados, ou seja, numera-se um pavimento inteiro e, em seguida, os demais.

Assim, a incidência nodal das barras determina um melhor condicionamento do sistema, já que a diferença máxima entre os nós inicial e final cai, diminuindo a largura da banda da matriz de rigidez global da estrutura.

Deve-se ressaltar a existência de minimizadores de banda, discutidos e analisados em [20], que podem ser utilizados.

No item 6.3.4, Exemplo, é apresentado um exemplo com a finalidade de melhor esclarecer o assunto.

6.3.2 - DEFINIÇÃO DAS BARRAS

Do item anterior, podemos concluir que a numeração das barras, enquanto técnica de modelagem, nada influi no comportamento da análise do sistema. A resolução numérica e o desempenho da análise estão mais intimamente ligados a sua incidência nodal. Assim sendo, a numeração das barras deve proporcionar a máxima clareza na definição dos elementos estruturais que compõem o sistema de contraventamento. A ordem de numeração desses elementos deve criar condições para que o usuário identifique, rápida e facilmente, vigas e pilares no arquivo de saída.

A numeração começa pelos pilares. Estes são definidos por barras em numeração contínua, de baixo para cima. Os pilares inicialmente definidos, de acordo com o arquivo de dados, têm suas barras primeiramente numeradas.

Após a numeração das barras de todos os pilares, tem

início a numeração das barras que definem as vigas.

Os pavimentos que compõem o edifício podem ser repetidos ou não. São os casos de pavimentos tipo e cobertura, por exemplo. Nos dois casos, a prioridade é dada, não às vigas, mas sim, aos tramos que as compõem. Analisa-se, a seguir, um exemplo para melhor entendimento.

Para um edifício que tenha apenas dois pavimentos diferentes, um pavimento térreo e um pavimento tipo, com cinco andares; o pavimento tipo repete-se por quatro níveis. Para uma viga, V02, do pavimento térreo com três tramos, a numeração de suas barras é contínua. O número da primeira barra é i , o da segunda é $i+1$ e o número da terceira vale $i+2$. A fig. 6.7 representa esta situação.

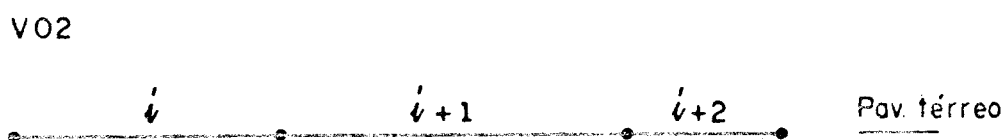


fig. 6.7 - Numeração contínua em vigas

No caso de outra viga, V03, dos pavimentos tipo, com dois tramos, estes são numerados continuamente em função dos níveis em que o pavimento está definido, como representado na fig. 6.8 .

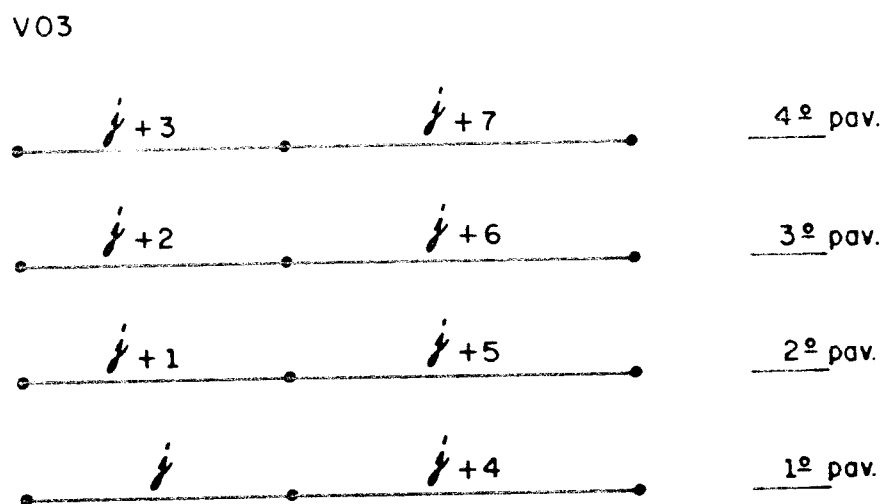


fig. 6.8 - Numeração contínua em tramos

6.3.3 - GERAÇÃO DE "OFFSETS"

Na definição do modelo grelha para pavimentos planos horizontais, o recurso da utilização de trechos rígidos em barras não foi explorado. Pilares, chamados elementos pilar, foram idealizados através de barras e nós em função de suas dimensões e características. No modelo pórtico espacial, o recurso de trechos rígidos é utilizado, sendo, portanto, necessária a determinação dos "offsets" para as ligações entre as barras das vigas e pilares.

Através dos nós que definem os elementos pilar nos pavimentos e das coordenadas dos centros dos pilares, definidas no arquivo de dados referente à estrutura tridimensional, o Programa PPLUS (item 6.4) promove a geração dos "offsets" em barras de viga, necessários à definição do modelo.

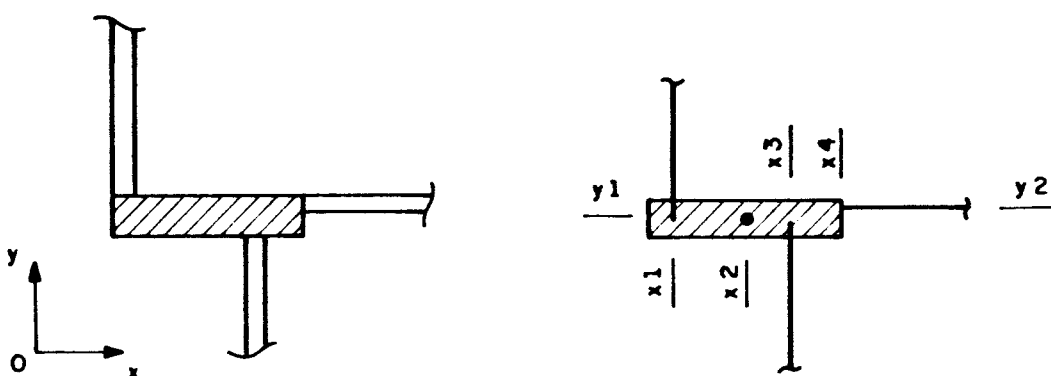


fig. 6.9 - Geração de "offsets" em barras de viga

Na figura acima, os "offsets" são simplesmente definidos através de uma diferença de coordenadas. Para a barra horizontal, por exemplo, o "offset" na direção x vale : $x4 - x2$.

Em barras de pilar também é possível a definição de "offsets". Nas ligações entre vigas e pilares ou na mudança de seção dos pilares, pode-se defini-los facilmente. No primeiro caso, basta tomar-se metade da

dimensão da viga para cada barra de pilar que chega ao nível do pavimento. No segundo, uma simples diferença de coordenadas das seções correspondentes. A fig. 6.10 representa estas situações, em que a ligação é mostrada em vistas laterais e em planta.

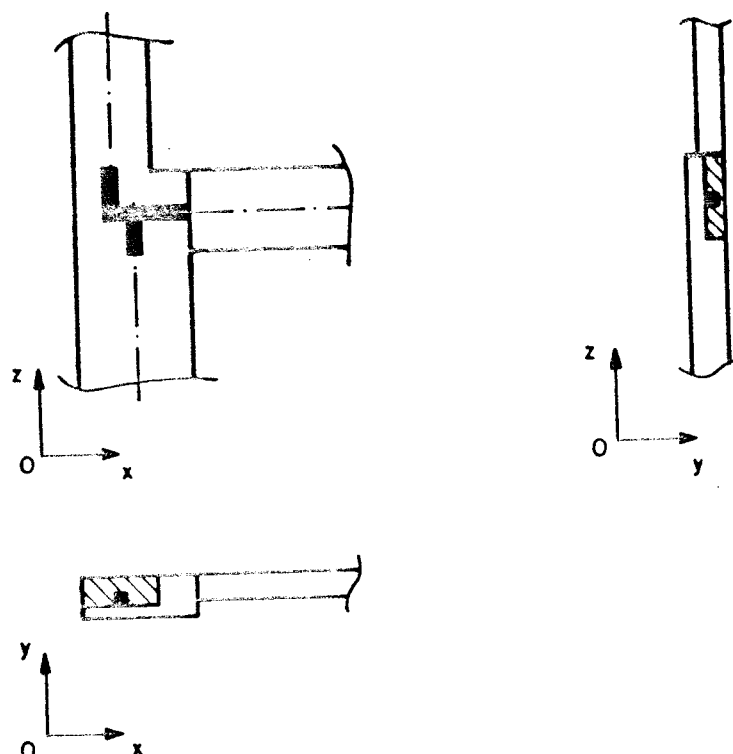


fig. 6.10 - Geração de "offsets" em barras de pilar

Todos os "offsets" são gerados automaticamente ou não, conforme opção inicial do usuário.

6.3.4 - MOTAGEM DA ESTRUTURA

O conjunto de dados está concebido para a geração de estruturas, as mais gerais possíveis, dentro das tendências arquitetônicas atuais e das ferramentas de cálculo existentes para análise.

A estrutura é definida por um arquivo de dados em que determinam-se os pavimentos, pilares, "nós mestres" e nós auxiliares que definem as direções principais para os

elementos estruturais : vigas e pilares. A numeração e a definição dos elementos são feitas conforme os itens anteriores .

Primeiramente, definem-se as cotas dos níveis de interesse com relação a um ponto qualquer. Cada cota de interesse pode representar a cota de arrasamento da fundação de um pilar, o nível de um pavimento ou o nível da colocação de um nó para a análise numérica dos esforços nesse ponto. Um exemplo será apresentado adiante.

A seguir, definem-se as cotas dos pavimentos do edifício, o número de repetições de cada pavimento e o incremento com relação às cotas.

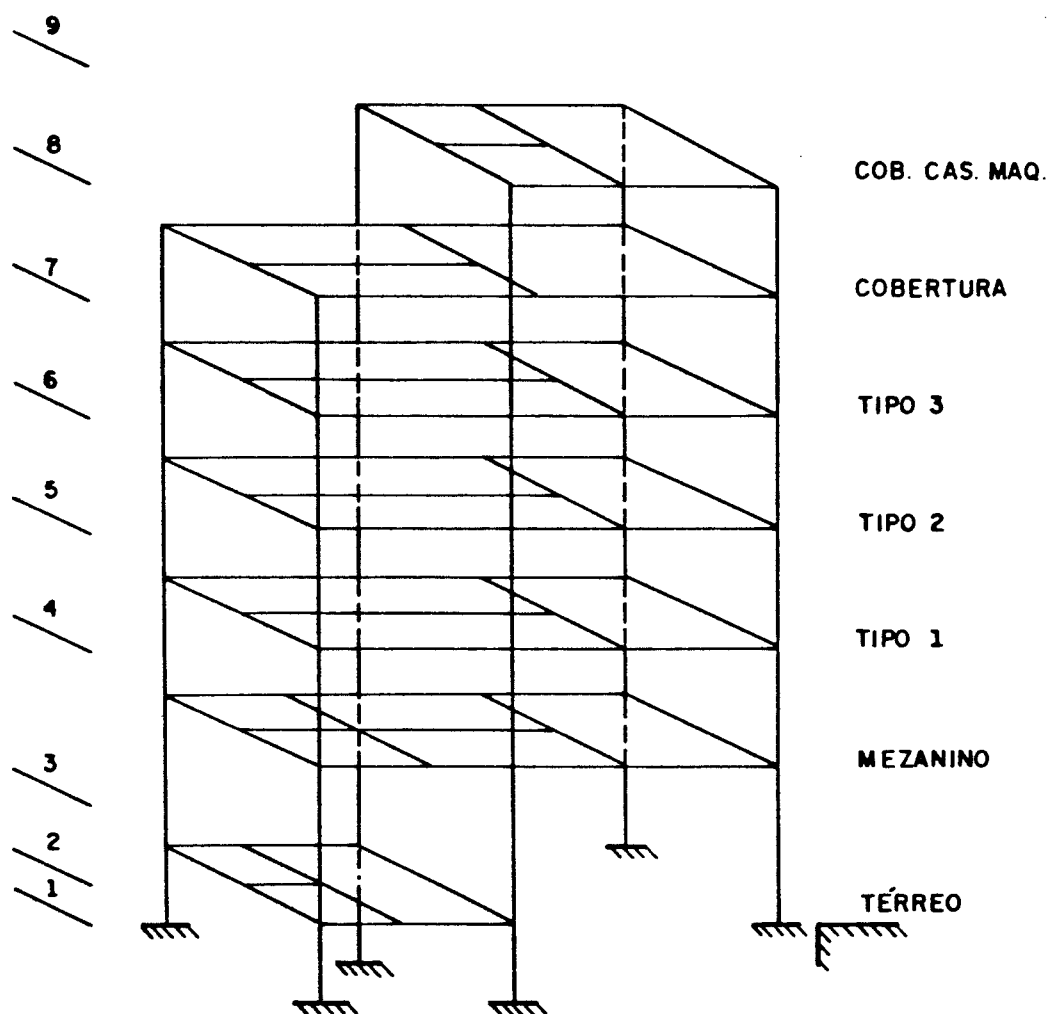


fig. 6.11 - Estrutura tridimensional
sem nós intermediários

Analisando-se a fig. 6.11, observam-se cinco formas de pavimentos diferentes : térreo, mezanino, tipo, cobertura e cobertura da casa de máquinas. O pavimento tipo repete-se por três níveis. Os pilares possuem três cotas de arrasamento para suas fundações, perfazendo um total de nove níveis de interesse.

Com a possibilidade de análise de estruturas com a condição de consideração do efeito de segunda ordem, é interessante a possibilidade da existência de nós intermediários aos pavimentos, nos pilares, possibilitando a análise de esforços nesses pontos. Para o edifício da fig. 6.11, seriam necessários quinze níveis de interesse.

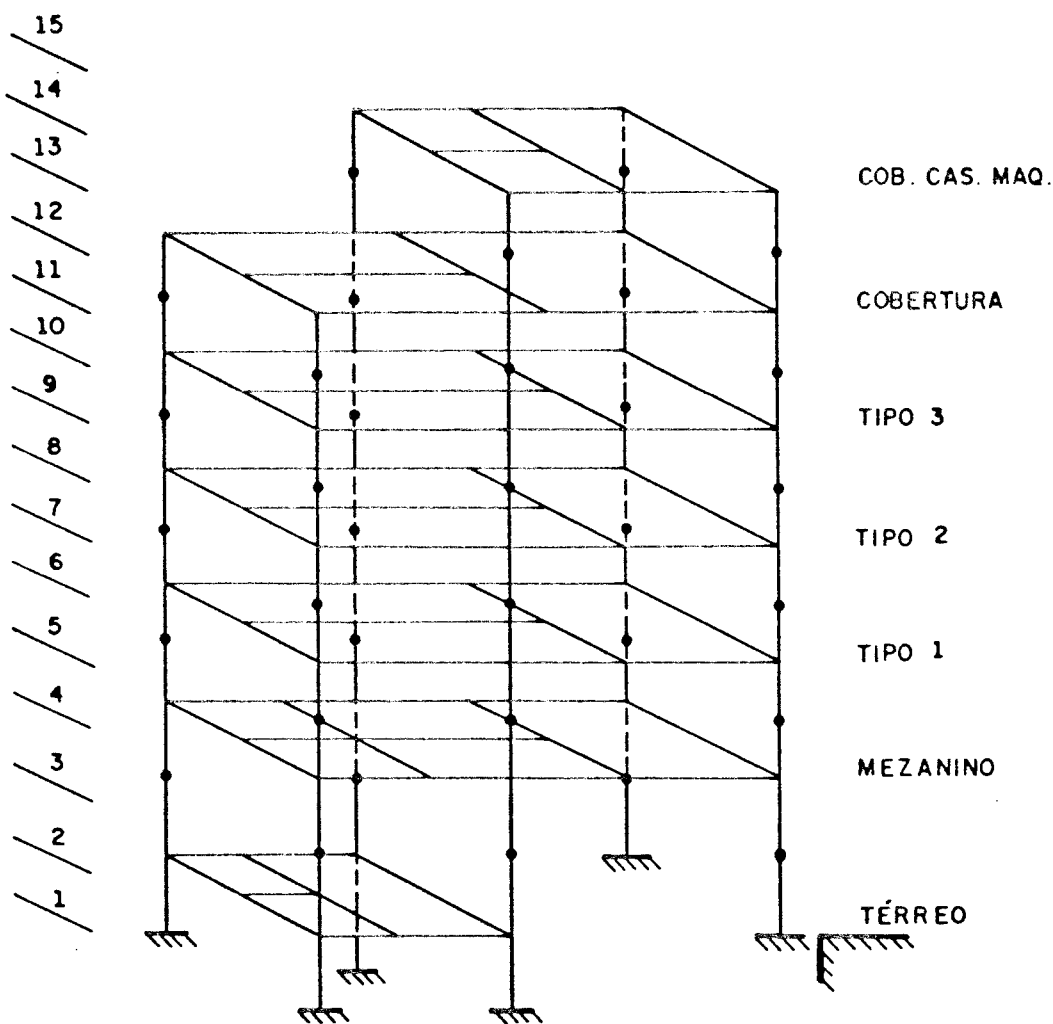


fig. 6.12 - Estrutura tridimensional com nós intermediários

Observa-se, assim, que o incremento com relação às cotas para a geração dos pavimentos é dois, já que existe um nó intermediário a eles.

Com os materiais e as propriedades dos pilares definidos, estes têm sua definição através das barras entre as cotas. A definição das barras é feita através das coordenadas do eixo e da direção principal, determinada por nó auxiliar.

Por fim, definem-se as coordenadas dos nós auxiliares e do "nó mestre" que resume os deslocamentos do pavimento. Este pode ser definido no centro de pressões do edifício para facilidade de determinação do carregamento.

6.3.5 - EXEMPLO

Para melhor compreensão dos itens apresentados anteriormente neste capítulo sobre a geração da estrutura, um exemplo é apresentado a seguir. Como para os demais capítulos deste trabalho, no Capítulo VII, Exemplos, será apresentado um exemplo completo sobre o assunto.

No exemplo aqui apresentado é analisada a geração da estrutura apresentada na fig. 6.11. O edifício possui um sub-solo, um térreo e seis pavimentos. O pavimento tipo é repetido por três vezes. Não há nós intermediários aos pavimentos e as fundações dos pilares estão relacionadas a três cotas de arrasamento. A forma do mezanino e do pavimento tipo são representadas na fig. 6.13 a seguir.

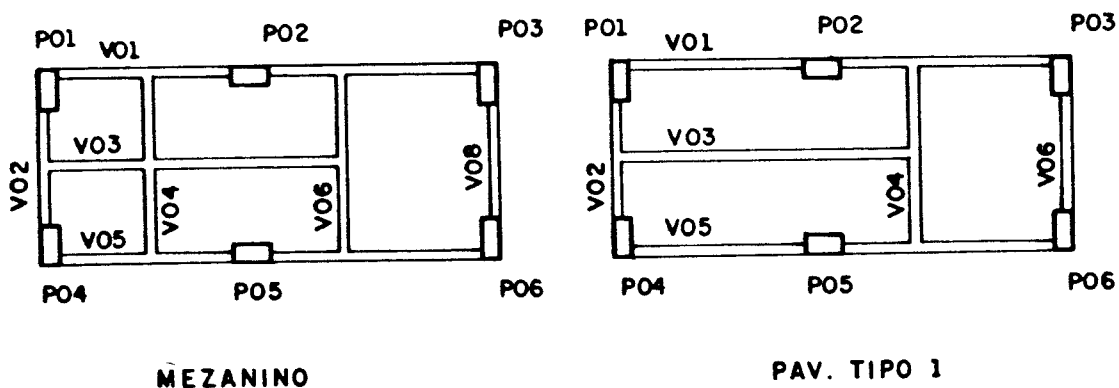


fig. 6.13 - Forma do Mezanino e do Pav. Tipo

Os pilares são igualmente definidos ao longo de todos os pavimentos do edifício.

A cada nível corresponde um "nó mestre", mesmo que não haja diafragma. Neste caso, a opção deve ser observada no arquivo de dados para que as restrições nodais sejam corretamente definidas pelo Programa PPLUS (item 6.4).

Ao nível 01, corresponde a cota de arrasamento da fundação do pilar P02. Neste nível, portanto, encontram-se dois nós : um nó para o pilar e outro para o "nó mestre". Para o nível 02, tem-se cinco nós : quatro pilares e um "nó mestre".

As numerações para os níveis 04 e 05 estão representadas na fig. 6.14 .

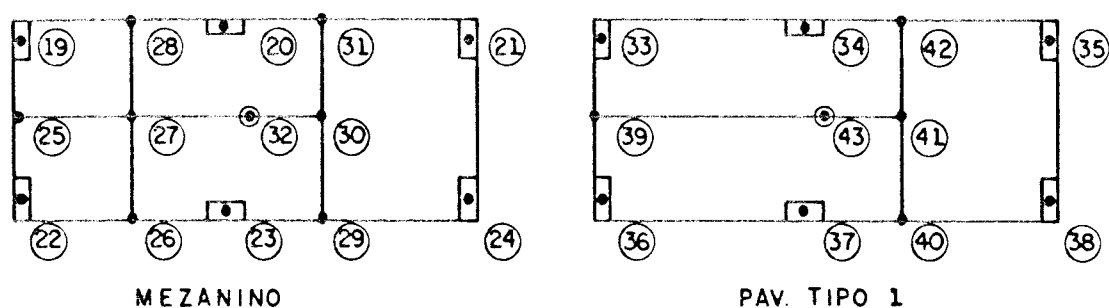


fig. 6.14 - Numeração da estrutura mezanino e pav. tipo 1

Observa-se que a numeração nodal segue a ordem da definição dos pilares no arquivo de dados, a geração dos nós de cruzamentos entre vigas pelo programa anterior e, por fim, o "nó mestre".

Além dos nós que definem pilares, vigas e "nós mestres", dois nós auxiliares são necessários para a determinação das direções principais destes elementos, em um total de oitenta e sete nós para a estrutura.

As barras começam a ser definidas a partir dos pilares, continuamente, de baixo para cima.

O pilar P01 tem sua definição através dos nós e barras apresentados na fig. 6.15 .

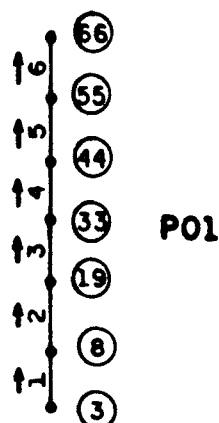


fig. 6.15 - Pilar P01
nós e barras

Definidos todos os pilares, tem-se um total parcial de trinta e nove barras.

As vigas são definidas em função da ordem de entrada do pavimento na geração da estrutura e da ordem de entrada da viga no pavimento. A mudança de pavimento dá-se após a definição de todas suas vigas. Para pavimentos sem repetição, as barras são numeradas continuamente em cada viga e para pavimentos com repetição, os tramos são numerados continuamente. Isto possibilita um melhor acompanhamento, por parte do usuário, à evolução dos esforços nos tramos das vigas e à análise dos resultados após o processamento da estrutura.

Com trinta e nove barras para a definição dos pilares e dez barras para a definição das vigas do pavimento térreo, a primeira barra para as vigas do mezanino é a de número cinquenta.

Em cada pavimento, primeiramente, definem-se as vigas com numeração ímpar, e, posteriormente, as pares. Nestes termos, apresentam-se, a seguir, as vigas primeiras e últimas do mezanino e pavimento tipo. Observa-se que o pavimento tipo repete-se por três níveis e a numeração das barras faz-se contínua por tramos nos diferentes níveis.

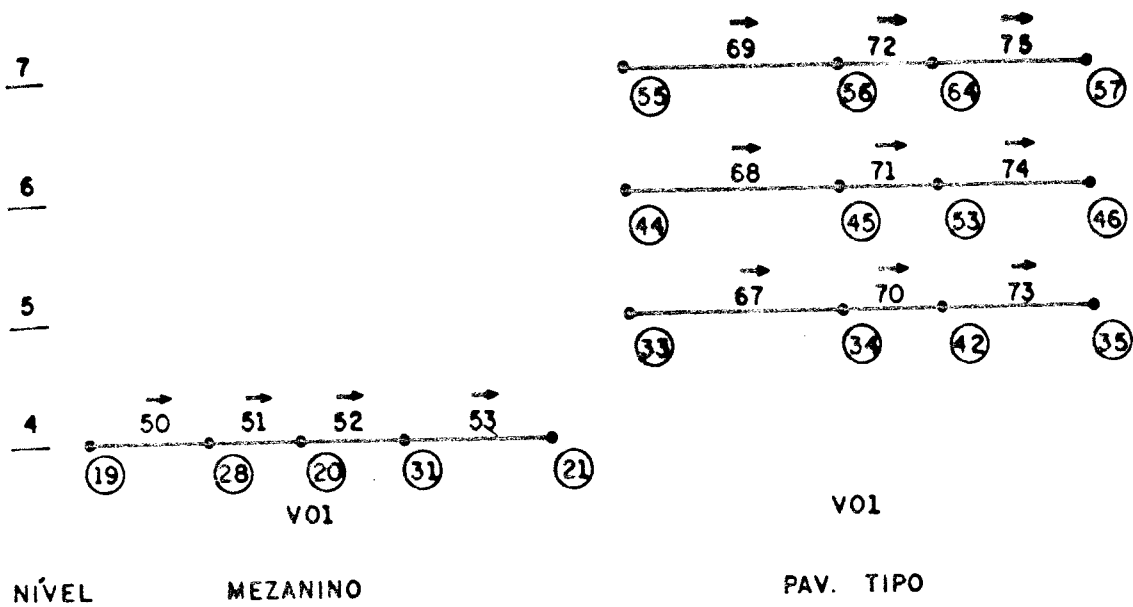


fig. 6.16 - Vigas V01

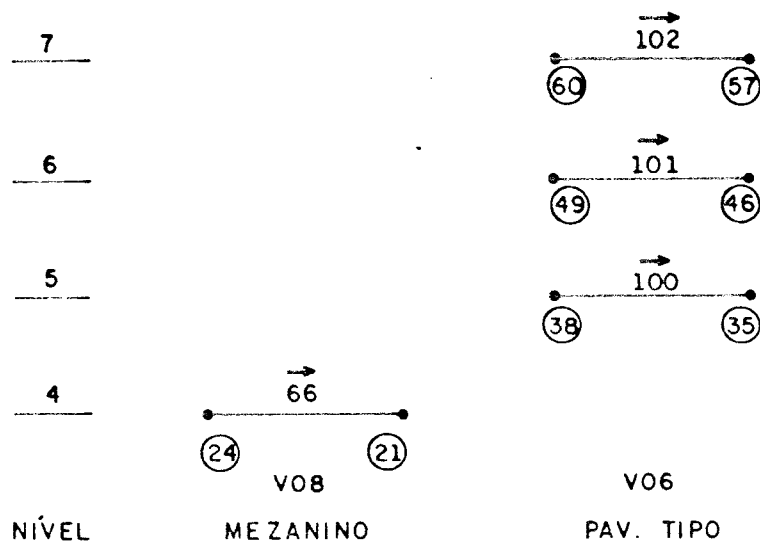


fig. 6.17 - Vigas V08 e V06

Para a definição de todas as vigas da estrutura são necessárias oitenta e cinco barras. Somando-se às trinta e nove barras utilizadas na definição dos pilares, tem-se um total de cento e vinte e quatro barras para a definição de toda a estrutura.

6.4 - PROGRAMA PPLUS

O Programa PPLUS é o terceiro e último programa do conjunto para geração de estruturas reticuladas de edifícios. Responsável pela leitura de arquivos gerados pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3) e pela leitura e consistência do arquivo de dados que define as características da estrutura tridimensional, faz a geração do arquivo final para a análise numérica da estrutura tridimensional resultante.

6.4.1 - ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

O Programa PPLUS está disposto em três unidades básicas de processamento :

Leitura e consistência de dados,
Geração dos dados da geometria e
Impressão de resultados

Leitura e consistência de dados :

Esta unidade consiste em um interpretador de dados, em que, com auxílio de palavras chave que delimitam os blocos de dados, lê, interpreta e faz as consistências necessárias à continuidade do processamento. Além da leitura de arquivo formatado, arquivos não formatados, gerados pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3), são lidos e, comparadas as informações, obtendo-se uma consistência global dos dados da estrutura. Os dados são alocados dinamicamente na memória, com vetores e listas lineares temporárias auxiliares ao processo de consistência, sendo descartados posteriormente.

Geração dos dados da geometria :

Esta unidade é responsável pela criação de vetores e

listas lineares que contêm as informações necessárias à geração do arquivo final para a análise da estrutura.

Todas as variáveis são tratadas a nível de memória através da técnica de ponteiros, proporcionada pela linguagem Pascal, aumentando a velocidade de processamento.

Impressão de resultados :

Nesta unidade é gravado o arquivo formatado que contém a definição da estrutura.

O arquivo formatado obedece a uma formatação compatível com os programas de análise a que será submetido. Apesar de um maior custo operacional ser necessário na gravação de arquivos formatados, estes possibilitam rápidas correções que não justifiquem novo processamento.

6.4.2 - ESTRUTURAS DE DADOS

Todas as estruturas de dados, sejam dados de entrada, variáveis internas ou dados de saída, são estruturas estruturadas tipo "Record", proporcionadas pela linguagem Pascal.

A definição da estrutura começa na definição dos pavimentos através das grelhas. Detalhes encontram-se no Capítulo IV. A concatenação dos pavimentos e as características da estrutura tridimensional são fornecidas através de um arquivo de dados formatado, em que constam as seguintes informações, já organizadas em campos e registros :

COTA

altura

em que :

- altura : altura vertical da cota de interesse

PAVIMENTOS

Arquivo
cota inicial
cota final
incremento de cota

em que :

- Arquivo : nome do arquivo de dados gerado pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3) que contem as informações referentes ao pavimento

- cota inicial : número da cota inicial do pavimento
- cota final : número da cota final do pavimento
- incremento de cota : número do incremento da numeração das cotas do pavimento

MATERIAL

E
G
gam

em que :

- E : módulo de elasticidade longitudinal
- G : módulo de elasticidade transversal
- gam : peso específico

PROPRIEDADE

material
base
altura
cobrimento

em que :

- material : número do material da seção transversal
- base e altura : dimensões da seção transversal retangular
- cobrimento : cobrimento da armadura

NÓ PARA DEFINIÇÃO DA DIREÇÃO PRINCIPAL EM PILARES

nó
x
y
z

em que :

- nó : número do nó
- x, y, z : coordenadas do nó

PILAR

barra
x
y
cota inicial
cota final
restrição
propriedade da seção geométrica
nók

em que :

- barra : número da barra que define o trecho do pilar
- x, y : coordenadas do centro de gravidade da seção transversal do trecho do pilar
- cota inicial : cota do início do trecho do pilar
- cota final : cota do final do trecho do pilar
- restrição : restrição do início do trecho do pilar
- propriedade da seção geométrica : determina o número do registro de propriedades a que pertence a barra

- nók : número do nó que determina a direção principal para a seção transversal do trecho do pilar

NÓ PARA DEFINIÇÃO DA DIREÇÃO PRINCIPAL EM VIGAS

nó

x

y

z

em que :

- nó : número do nó

- x, y, z : coordenadas do nó

"NÓ MESTRE"

nó

x

y

em que :

- nó : número do nó

- x, y : coordenadas do nó

6.4.3 - CONSISTÊNCIA DE DADOS

Algumas consistências foram criadas no que concerne a possíveis erros cometidos pelo usuário no processo de aquisição de dados, a saber :

- capacitação do programa : acusa elementos que ultrapassam os limites do programa quanto a sua definição

- indefinição de elementos : acusa elementos que não estão definidos - exemplo : descontinuidade na numeração das barras que definem os trechos dos pilares

- redefinição de elementos : acusa elementos redefinidos

- comparação entre arquivos : compara os pilares existentes em cada pavimento aos pilares definidos no arquivo com as características da estrutura, acusando erros na determinação das cotas dos pilares ou erros de nomenclatura dos mesmos

O resultado da consistência pode ser observado em vídeo ou consultado em arquivo, conforme opção inicial escolhida pelo usuário.

6.4.4 - ENTRADA DE DADOS

Como comentado anteriormante no item 6.4.1 , a entrada de dados é feita através de arquivo formatado, editado por um editor de textos qualquer, e da leitura de arquivos não formatados, gerados pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3) , definidos naquele arquivo de dados.

Como no Programa GPLUS, com o auxílio de palavras chave, o usuário define os blocos de dados que contêm as informações específicas de cada elemento ou dados auxiliares.

O arquivo de dados contem os seguintes itens :

Cabeçalho :

Contem as informações necessárias quanto à especificação do projeto, cliente e à geração de "offsets".

Projeto : especificação do projeto
Cliente : identificação do cliente
Chv_Ofs : geração de "offsets"

Blocos de dados :

Informam ao interpretador de dados a forma de leitura seguinte do arquivo em função da definição de cada elemento ou dado auxiliar. São possíveis oito blocos de dados e um delimitador de arquivos, a saber :

- CT - cotas de interesse do edifício
- PV - pavimentos que participam da geração do edifício
- MT - características dos materiais
- PR - propriedades geométricas das seções transversais
- KP - nós que definem a direção principal em pilares
- PI - elementos pilar
- KV - nós que definem a direção principal em vigas
- NM - "nós mestres"
- FN - final de arquivo

Para cada bloco de dados, há variáveis específicas, definidas a seguir :

Bloco CT

- cot - número da cota de interesse
- z - altura, com relação a um ponto qualquer, da cota de interesse

Bloco PV

- pav - número do pavimento na estrutura do edifício
- Arq - nome do arquivo de dados gerado pelo Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3)
- coti - número cota inicial para o pavimento em questão
- cotf - número da cota final para o pavimento
- inccot - incremento da numeração de cotas para o pavimento

Obs : para pavimentos com uma única participação na geração da estrutura, as cotas inicial e final devem ser as mesmas, com qualquer incremento positivo.

-para previsão de nós intermediários aos pavimentos, nos pilares, deve-se definir um incremento maior que um para a numeração das cotas nos pavimentos.

Bloco MT

mat - número do material

E - módulo de elasticidade longitudinal

G - módulo de elasticidade transversal

gam - peso específico

Bloco PR

prop - número da propriedade

mat - número do material

b - largura da seção transversal (retangular)

h - altura da seção transversal (retangular)

dl - cobrimento da armadura

Bloco KP

nó - número do nó que define a direção principal em pilares

x, y, z - coordenadas do nó

Bloco PI

P* - nome do pilar

bar - barra que define o trecho do pilar

x, y - coordenadas do centro de gravidade da seção transversal do trecho do pilar

coti - cota do início do trecho do pilar

cotf - cota do final do trecho do pilar

res - restrição do início do trecho do pilar

prop - número da propriedade da seção transversal do trecho do pilar

nók - número do nó que define a direção principal da seção transversal do trecho do pilar

Bloco KV

nó - número do nó que define a direção principal em vigas

x,y,z - coordenadas do nó

Bloco NM

nó - número do nó que define o "nó mestre"

x,y - coordenadas do "nó mestre"

Obs : as coordenadas do "nó mestre" , no plano, podem estar no centro de pressões do edifício. Isto facilita a definição do carregamento, eliminando a determinação de momento torçor para a estrutura. As ordenadas "z" são definidas para cada pavimento automaticamente.

-a numeração dos nós que definem as direções principais em pilares e vigas e a dos "nós mestres" são independentes.

FN

Este item é o delimitador de arquivos. Como no Programa GPLUS (Cap. IV, item 4.3), deve ser a última instrução contida no arquivo a fim de determinar o término do fornecimento de dados para a geração da estrutura do edifício.

Para uma melhor padronização da entrada de dados, convenções são impostas a alguns dos itens anteriores. Apresentam-se, a seguir, os itens e as convenções a que estão subordinados.

Chv_Ofs - geração de "offsets"

- 0 - não há geração
- 1 - há geração automática

res - restrições aos deslocamentos nodais

Os deslocamentos possíveis para os nós no espaço são:

- translação segundo a direção x
- translação segundo a direção y
- translação segundo a direção z
- rotação ao redor do eixo x
- rotação ao redor do eixo y
- rotação ao redor do eixo z

- 0 - deslocamento livre
- 1 - deslocamento impedido

Para pilares, duas restrições são possíveis :

- 0 - define transição
- 1 - define pilar sobre fundação engastada

A primeira define nó totalmente livre, ou seja :

0 0 0 0 0 0

A segunda define nó totalmente impedido :

1 1 1 1 1 1

Outras restrições são também definidas automaticamente pelo Programa PPLUS, a saber :

- 0 0 1 1 1 0 - restrição definida para "nós mestres"
- 1 1 0 0 0 1 - restrição definida para nós

pertencentes ao diafragma

0 0 0 0 0 0 - restrição definida para nós
intermediários

A seguir, apresenta-se o arquivo de dados. As
palavras chave estão em negrito para sua melhor
visualização.

Projeto

Cliente

Chv_Ofs

CT

.

.

cot,z,

.

.

PV

.

.

pav,Arq,coti,cotf,inccot,

.

.

MT

.

.

mat,E,G,gam,

.

.

PR

.

.

prop,mat,b,h,d1,

.

.

KP

.

.
 no,x,y,z,
 .
 .
 PI
 P*
 .
 .
 bar,x,y,coti,cotf,res,prop,nok,
 .
 .
 KV
 .
 .
 no,x,y,z,
 .
 .
 NM
 .
 .
 no,x,y,
 .
 .
 FN

A ordem de entrada dos dados é rígida. Estabelece um encadeamento lógico para o fornecimento das características da estrutura e possibilita todos os requisitos necessários à consistência dos dados.

6.4.5 - SAÍDA DE RESULTADOS

Como resultado do processamento, o Programa PPLUS fornece um arquivo formatado para a análise dos esforços do edifício e outro arquivo, também formatado, com a definição dos elementos viga e pilar através de suas barras.

No Capítulo VII, Exemplos, apresentar-se-ão os arquivos com suas formatações originais e com as explicações necessárias.

6.4.6 - LIMITES DO PROGRAMA

Em função de um ganho de velocidade, as variáveis são alocadas dinamicamente em vetores e listas lineares na memória. Para a alocação de vetores, é necessária a fixação de dimensões, que não são um fator determinante da capacidade do programa junto às estruturas correntes.

A seguir, apresentam-se os valores fixados para o número de elementos da estrutura.

número de nós : 3000
número de barras : 4500
número de materiais : 20
número de propriedades : 100
número de "offsets" : 500
número de dados relativos aos pavimentos (nós, barras etc) : 500

Com relação ao número de diferentes pavimentos, não há limitação, já que são incorporados à estrutura à medida que são definidos no arquivo de dados.

As barras que definem os trechos de pilares são alocadas em listas lineares, sendo limitadas, portanto, pela quantidade de memória restante.

CAPÍTULO VII

EXEMPLOS

7.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem a finalidade de esclarecer as possíveis dúvidas em relação aos processos de cálculo, discretização das estruturas e montagem dos arquivos de dados para os diversos programas.

Através de aplicações diretas em exemplos simples, possibilita-se o entendimento das diretrizes gerais para a boa utilização dos programas de dimensionamento e racionalização de seções de concreto armado submetidas a solicitações normais, e do conjunto para geração de geometria de estruturas.

A seguir, apresentam-se os exemplos tendo em vista o objetivo acima exposto, subdividindo-os de acordo com os programas descritos anteriormente.

7.2 - PROGRAMA VIGA

Este programa tem a finalidade de racionalizar as seções retangulares ou "T" de concreto armado submetidas à flexão simples, segundo os critérios apresentados anteriormente, e dimensionar as respectivas armaduras.

Discute-se, neste item, em função dos exemplos apresentados, o processo de cálculo e a adoção do coeficiente de cálculo cc como critério de dimensionamento.

Analisam-se os esforços solicitantes, momentos fletores, para as vigas representadas nas figuras 7.1. O valor do comprimento l dos tramos é 500,00 cm, e o valor da carga linearmente distribuída p é 0,40 kN/cm. As funções momento fletor são apresentadas nas figuras 7.1a e 7.1b.

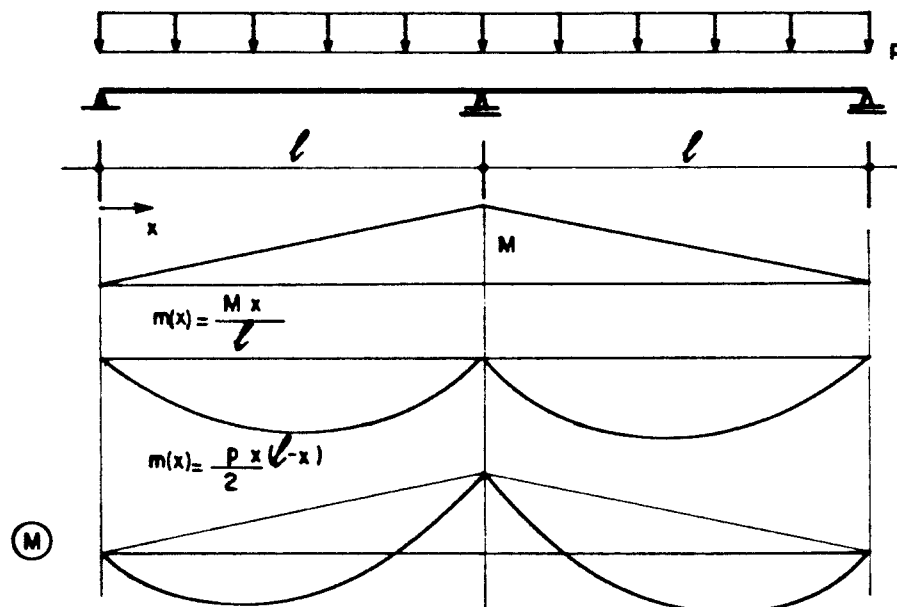


fig. 7.1a - Viga contínua

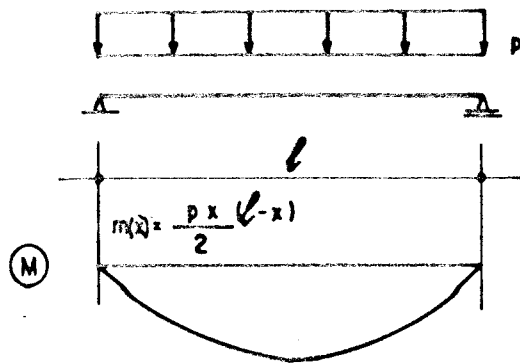


fig. 7.1b - Viga biapoiada

As seções transversais representadas nas figuras 7.2 têm as seguintes dimensões :

Viga 01

$b_v = 15,00 \text{ cm}$
 $h = 35,00 \text{ cm}$
 $b_f = 90,00 \text{ cm}$
 $h_f = 8,00 \text{ cm}$

Viga 02

$b_v = 15,00 \text{ cm}$
 $h = 40,00 \text{ cm}$
 $b_f = 100,00 \text{ cm}$
 $h_f = 8,00 \text{ cm}$

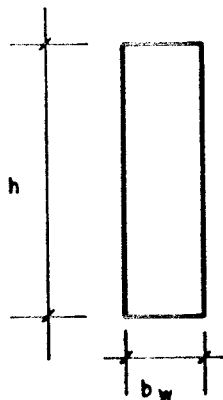


fig. 7.2a - Seção retangular

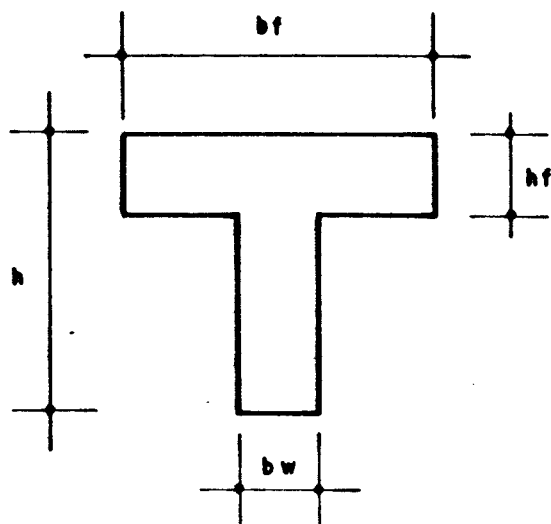


fig. 7.2b - Seção "T"

Não são apresentados os arquivos de dados em virtude da simplicidade de suas montagens. Os dados de entrada estão contidos nos relatórios finais de processamento. Apresentam-se a tela proporcionada pelo programa, tela 7.1, e os relatórios finais de processamento, relatórios 7.1 a 7.7 .

As legendas apresentadas nos relatórios de saída têm na coluna X/L a distância do ponto relativa ao início do tramo, o tipo de seção transversal - R : retangular , T : seção "T" - e um asterisco eventual que representa a redefinição das dimensões da seção transversal conforme o critério adotado. A coluna X representa a profundidade da linha neutra, medida a partir da borda mais comprimida da seção transversal. As colunas As1 e As2 referem-se às armaduras superior e inferior, respectivamente.

No relatório (7.1), as vigas possuem seção transversal retangular. Não há critério de cálculo adotado para promover a "correta" relação entre a seção transversal e o momento fletor atuante. Este é absorvido através de áreas exageradas de armadura, inviáveis sob o aspecto do detalhamento da seção.

Para o relatório (7.2), as vigas com seção retangular são redimensionadas em função dos critérios estabelecidos anteriormente : a posição adimensional da linha neutra β_x leva ao limite entre os domínios 3 e 4 e o coeficiente de cálculo cc vale 1,00 .

O relatório (7.3) apenas difere do anterior no valor do coeficiente de cálculo cc adotado, 1,50 .

Para o relatório (7.4), seções "T" são definidas na entrada de dados. Note-se que para o cálculo não há seção "T" verdadeira, pois a profundidade da linha neutra não ultrapassa a altura da mesa colaborante h_f nos pontos de momento positivo. Os critérios de cálculo são os mesmos adotados anteriormente, ou seja, $\beta_x = \beta_{x34}$ e cc = 1,50 . A redefinição das dimensões da seção transversal dá-se apenas nos pontos necessários.

A partir do relatório (7.5), apenas a viga biapoiada é analisada. Neste relatório adotam-se os seguintes critérios de cálculo : $\beta_x = \beta_{x34}$ e cc = 1,00 .

O relatório (7.6) apresenta como critérios de cálculo $\beta_x = \beta_{x34}$ e cc = 0,50 . Note-se que o valor do coeficiente de cálculo cc é menor que 1,00 . Isto significa que, ao adotar-se cc = 0,50 , o momento resistido apenas pela seção de concreto comprimido é duas vezes maior que o momento solicitante.

No relatório (7.7), os critérios de cálculo adotados levam a posição adimensional da linha neutra $\beta_x = 0,15$ e o coeficiente de cálculo cc = 1,00 .

Notem-se as áreas de armadura encontradas e as alturas úteis necessárias para a "correta" absorção do momento fletor atuante em função dos critérios de cálculo adotados para cada caso. A seguir, apresentam-se a tela proporcionada pelo programa e os relatórios finais de processamento.

PROJETO GRELHA

PROGRAMA VIGA

UNIDADES : KN/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - VEX1.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - VEX1.LST

*** P R O C E S S A N D O ***

tela 7.1 - Programa VIGA

```

=====
Projeto   : EXEMPLO 1
Cliente  : ADMILSON
Pavimento : 1# FAV
=====

```

```

=====
Fc_k     : 1.80
Fy_k     : 50.00
Acc Classe : 1
=====

```

Viga : V01

Bar	X/L	Bw	H	Bf	Hf	d'	Mk	D	X	As1	As2
1	0/10R	15	35	0	0	3	0	32	0.00	0.00	0.00
1	1/10R	15	35	0	0	3	3250	32	12.93	3.90	0.00
1	2/10R	15	35	0	0	3	5500	32	20.11	7.16	1.10
1	3/10R	15	35	0	0	3	6750	32	20.11	8.55	2.48
1	4/10R	15	35	0	0	3	7000	32	20.11	8.83	2.76
1	5/10R	15	35	0	0	3	6250	32	20.11	7.99	1.93
1	6/10R	15	35	0	0	3	4500	32	20.02	6.04	0.00
1	7/10R	15	35	0	0	3	1750	32	6.34	1.91	0.00
1	8/10R	15	35	0	0	3	-2000	32	7.35	0.00	2.22
1	9/10R	15	35	0	0	3	-6750	32	20.11	2.48	8.55
1	10/10R	15	35	0	0	3	-12500	32	20.11	8.87	14.93
2	0/10R	15	35	0	0	3	-12500	32	20.11	8.87	14.93
2	1/10R	15	35	0	0	3	-6750	32	20.11	2.48	8.55
2	2/10R	15	35	0	0	3	-2000	32	7.35	0.00	2.22
2	3/10R	15	35	0	0	3	1750	32	6.34	1.91	0.00
2	4/10R	15	35	0	0	3	4500	32	20.02	6.04	0.00
2	5/10R	15	35	0	0	3	6250	32	20.11	7.99	1.93
2	6/10R	15	35	0	0	3	7000	32	20.11	8.83	2.76
2	7/10R	15	35	0	0	3	6750	32	20.11	8.55	2.48
2	8/10R	15	35	0	0	3	5500	32	20.11	7.16	1.10
2	9/10R	15	35	0	0	3	3250	32	12.93	3.90	0.00
2	10/10R	15	35	0	0	3	0	32	0.00	0.00	0.00

Viga : V02

Bar	X/L	Bw	H	Bf	Hf	d'	Mk	D	X	As1	As2
0	0/10R	15	40	0	0	3	0	37	0.00	0.00	0.00
0	1/10R	15	40	0	0	3	4500	37	15.62	4.71	0.00
0	2/10R	15	40	0	0	3	8000	37	23.25	8.88	1.61
0	3/10R	15	40	0	0	3	10500	37	23.25	11.24	4.23
0	4/10R	15	40	0	0	3	12000	37	23.25	12.62	5.65
0	5/10R	15	40	0	0	3	12500	37	23.25	13.14	6.13
0	6/10R	15	40	0	0	3	12000	37	23.25	12.62	5.65
0	7/10R	15	40	0	0	3	10500	37	23.25	11.24	4.23
0	8/10R	15	40	0	0	3	8000	37	23.25	8.88	1.61
0	9/10R	15	40	0	0	3	4500	37	15.62	4.71	0.00
0	10/10R	15	40	0	0	3	0	37	0.00	0.00	0.00

relatório 7.1 - Programa VIGA - Seção Retangular
armaduras exageradas

```

=====
Projeto   : EXEMPLO 1
Cliente   : ADHILSON
Pavimento : 1N PAV
=====

```

```

=====
Fck       : 1.80
Fyk       : 54.00
Aco Classe : 1
=====

```

Viga : V01

Bar	X/L	Bw	H	Bf	Hf	d	Mx	D	X	As1	As2
1	0/10R*	15	35	0	0	3	0	0	0.00	0.00	0.00
1	1/10R*	15	35	0	0	3	3250	27	17.06	5.15	0.00
1	2/10R*	15	35	0	0	3	5500	35	22.20	6.70	0.00
1	3/10R*	15	35	0	0	3	6750	39	24.59	7.42	0.00
1	4/10R*	15	35	0	0	3	7000	40	25.04	7.55	0.00
1	5/10R*	15	35	0	0	3	6250	38	23.66	7.14	0.00
1	6/10R*	15	35	0	0	3	4500	32	20.06	6.06	0.00
1	7/10R*	15	35	0	0	3	1750	20	12.58	3.78	0.00
1	8/10R*	15	35	0	0	3	-2000	21	13.39	0.00	4.04
1	9/10R*	15	35	0	0	3	-6750	39	24.59	0.00	7.42
1	10/10R*	15	35	0	0	3	-12500	53	33.47	0.00	10.09
2	0/10R*	15	35	0	0	3	-12500	53	33.47	0.00	10.09
2	1/10R*	15	35	0	0	3	-6750	39	24.59	0.00	7.42
2	2/10R*	15	35	0	0	3	-2000	21	13.39	0.00	4.04
2	3/10R*	15	35	0	0	3	1750	20	12.58	3.78	0.00
2	4/10R*	15	35	0	0	3	4500	32	20.06	6.06	0.00
2	5/10R*	15	35	0	0	3	6250	38	23.66	7.14	0.00
2	6/10R*	15	35	0	0	3	7000	40	25.04	7.55	0.00
2	7/10R*	15	35	0	0	3	6750	39	24.59	7.42	0.00
2	8/10R*	15	35	0	0	3	5500	35	22.20	6.70	0.00
2	9/10R*	15	35	0	0	3	3250	27	17.06	5.15	0.00
2	10/10R*	15	35	0	0	3	0	0	0.00	0.00	0.00

Viga : V02

Bar	X/L	Bw	H	Bf	Hf	d	Mx	D	X	As1	As2
3	0/10R*	15	40	0	0	3	0	0	0.00	0.00	0.00
3	1/10R*	15	40	0	0	3	4500	32	20.06	6.06	0.00
3	2/10R*	15	40	0	0	3	8000	43	26.77	8.08	0.00
3	3/10R*	15	40	0	0	3	10500	49	30.67	9.25	0.00
3	4/10R*	15	40	0	0	3	12000	52	32.79	9.85	0.00
3	5/10R*	15	40	0	0	3	12500	53	33.47	10.09	0.00
3	6/10R*	15	40	0	0	3	12000	52	32.79	9.85	0.00
3	7/10R*	15	40	0	0	3	10500	49	30.67	9.25	0.00
3	8/10R*	15	40	0	0	3	8000	43	26.77	8.08	0.00
3	9/10R*	15	40	0	0	3	4500	32	20.06	6.06	0.00
3	10/10R*	15	40	0	0	3	0	0	0.00	0.00	0.00

relatório 7.2 - Programa VIGA - Seção Retangular

$$\beta_x = \beta_{x34} \text{ e } cc = 1,00$$

=====
 Projeto : EXEMPLO 1
 Cliente : ADMILSON
 Pavimento : 1R FAV
 =====

=====
 Fc_k : 1.80
 Fy_k : 50.00
 Aço Classe : 1
 =====

Viga : V01

Bar	X/L	Bw	H	Ef	Hf	d	Mk	I	X	As1	As2
1	0/10R*	15	35	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
1	1/10R*	15	35	0	0	0	3250	22	13.93	6.02	1.82
1	2/10R*	15	35	0	0	0	5500	29	16.12	7.75	2.28
1	3/10R*	15	35	0	0	0	6750	32	20.08	8.56	2.50
1	4/10R*	15	35	0	0	0	7000	33	20.45	8.71	2.54
1	5/10R*	15	35	0	0	0	6250	31	19.32	8.25	2.42
1	6/10R*	15	35	0	0	0	4500	26	16.39	7.04	2.09
1	7/10R*	15	35	0	0	0	1750	16	10.22	4.50	1.42
1	8/10R*	15	35	0	0	0	-2000	17	10.93	1.49	4.79
1	9/10R*	15	35	0	0	0	-6750	32	20.08	8.56	8.56
1	10/10R*	15	35	0	0	0	-12500	43	27.32	3.31	11.56
2	0/10R*	15	35	0	0	0	-12500	43	27.32	3.31	11.56
2	1/10R*	15	35	0	0	0	-6750	32	20.08	8.56	8.56
2	2/10R*	15	35	0	0	0	-2000	17	10.93	1.49	4.79
2	3/10R*	15	35	0	0	0	1750	16	10.22	4.50	1.42
2	4/10R*	15	35	0	0	0	4500	26	16.39	7.04	2.09
2	5/10R*	15	35	0	0	0	6250	31	19.32	8.25	2.42
2	6/10R*	15	35	0	0	0	7000	33	20.45	8.71	2.54
2	7/10R*	15	35	0	0	0	6750	32	20.08	8.56	2.50
2	8/10R*	15	35	0	0	0	5500	29	16.12	7.75	2.28
2	9/10R*	15	35	0	0	0	3250	22	13.93	6.02	1.82
2	10/10R*	15	35	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00

Viga : V02

Bar	X/L	Bw	H	Ef	Hf	d	Mk	I	X	As1	As2
0	0/10R*	15	40	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
0	1/10R*	15	40	0	0	0	4500	26	16.39	7.04	2.09
0	2/10R*	15	40	0	0	0	8000	35	21.86	9.27	2.72
0	3/10R*	15	40	0	0	0	10500	40	25.04	10.61	3.06
0	4/10R*	15	40	0	0	0	12000	43	26.77	11.33	3.25
0	5/10R*	15	40	0	0	0	12500	43	27.32	11.56	3.31
0	6/10R*	15	40	0	0	0	12000	43	26.77	11.33	3.25
0	7/10R*	15	40	0	0	0	10500	40	25.04	10.61	3.06
0	8/10R*	15	40	0	0	0	8000	35	21.86	9.27	2.72
0	9/10R*	15	40	0	0	0	4500	26	16.39	7.04	2.09
0	10/10R*	15	40	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00

relatório 7.3 - Programa Viga - Seção Retangular

$$\beta_x = \beta_{x34} \text{ e } cc = 1,50$$

=====
 Projeto : EXEMPLO 1
 Cliente : ADMILSON
 Pavimento : 1# PAV
 =====

=====
 Fc_k : 1.80
 Fy_k : 50.00
 Aco Classe : 1
 =====

Viga : V01

Bar	X/L	Bw	H	Bf	Hf	d'	Mx	I	X	As1	As2
1	0/10R	15	35	90	9	3	0	32	0.00	0.00	0.00
1	1/10R	15	35	90	9	3	3250	32	1.85	3.35	0.00
1	2/10R	15	35	90	9	3	5500	32	3.18	5.76	0.00
1	3/10R	15	35	90	9	3	6750	32	3.95	7.14	0.00
1	4/10R	15	35	90	9	3	7000	32	4.10	7.42	0.00
1	5/10R	15	35	90	9	3	6250	32	3.64	6.59	0.00
1	6/10R	15	35	90	9	3	4500	32	2.59	4.66	0.00
1	7/10R	15	35	90	9	3	1750	32	0.99	1.78	0.00
1	8/10R	15	35	90	9	3	-2000	32	7.35	0.00	2.22
1	9/10R	15	35	90	9	3	-6750	32	20.11	2.48	8.55
1	10/10R*	15	35	90	9	3	-12500	40	27.32	3.31	11.56
2	0/10R*	15	35	90	9	3	-12500	40	27.32	0.31	11.56
2	1/10R	15	35	90	9	3	-6750	32	20.11	2.48	8.55
2	2/10R	15	35	90	9	3	-5000	32	7.35	0.00	2.22
2	3/10R	15	35	90	9	3	1750	32	0.99	1.78	0.00
2	4/10R	15	35	90	9	3	4500	32	2.59	4.66	0.00
2	5/10R	15	35	90	9	3	6250	32	3.64	6.59	0.00
2	6/10R	15	35	90	9	3	7000	32	4.10	7.42	0.00
2	7/10R	15	35	90	9	3	6750	32	3.95	7.14	0.00
2	8/10R	15	35	90	9	3	5500	32	3.18	5.76	0.00
2	9/10R	15	35	90	9	3	3250	32	1.85	3.35	0.00
2	10/10R	15	35	90	9	3	0	32	0.00	0.00	0.00

Viga : V02

Bar	X/L	Bw	H	Bf	Hf	d'	Mx	I	X	As1	As2
0	0/10F	15	40	100	9	3	0	37	0.00	0.00	0.00
0	1/10F	15	40	100	9	3	4500	37	1.99	4.00	0.00
0	2/10F	15	40	100	9	3	8000	37	3.60	7.24	0.00
0	3/10F	15	40	100	9	3	10500	37	4.79	9.64	0.00
0	4/10F	15	40	100	9	3	12000	37	5.52	11.11	0.00
0	5/10F	15	40	100	9	3	12500	37	5.77	11.60	0.00
0	6/10F	15	40	100	9	3	12000	37	5.52	11.11	0.00
0	7/10F	15	40	100	9	3	10500	37	4.79	9.64	0.00
0	8/10F	15	40	100	9	3	8000	37	3.60	7.24	0.00
0	9/10F	15	40	100	9	3	4500	37	1.99	4.00	0.00
3	10/10F	15	40	100	9	3	0	37	0.00	0.00	0.00

relatório 7.4 - Programa VIGA - Seção "T" ou Retangular
 cc = 1,50

```

=====
Projeto   : EXEMPLO 2
Cliente   : ADMILSON
Pavimento : IN FAV
=====

```

```

=====
Fc_k      : 1.00
Fy_k      : 50.00
Aco Classe : 1
=====

```

Viga : V02

```

=====
Bar  X/L  E*  H  Bf  Hf  d'  Mx  Dy  X  As1  As2
=====
3  0/10R*  15  40  100  9  3  0  0  0.00  0.00  0.00
3  1/10F*  15  40  100  9  3  4500  12  7.76  15.64  0.00
3  2/10F*  15  40  100  9  3  8000  17  10.37  28.85  0.00
3  3/10T*  15  40  100  9  3  10500  19  11.14  32.87  0.00
3  4/10T*  15  40  100  9  3  12000  21  12.06  36.82  0.00
3  5/10T*  15  40  100  9  3  12500  22  13.76  40.08  0.00
3  6/10T*  15  40  100  9  3  12000  21  13.06  36.82  0.00
3  7/10T*  15  40  100  9  3  10500  19  12.14  32.87  0.00
3  8/10R*  15  40  100  9  3  8000  17  10.37  28.85  0.00
3  9/10R*  15  40  100  9  3  4500  12  7.76  15.64  0.00
3  10/10R* 15  40  100  9  3  0  0  0.00  0.00  0.00
=====

```

relatório 7.5 - Programa VIGA - Seção "T"

$$\beta_x = \beta_{x34} \text{ e } cc = 1,00$$

```

=====
Projeto   : EXEMPLO 2
Cliente  : ADMILSON
Pavimento : 1N FAV
=====

```

```

=====
Fc_k     : 1.80
Fy_k     : 50.00
Aco Classe : 1
=====

```

Viga : V02

Bar	X/L	Bw	H	Bf	Hf	d	M	I	λ	As1	As2
3	0/10R*	15	40	100	9	3	0	0	0.00	0.00	0.00
3	1/10R*	15	40	100	9	3	4500	16	11.00	22.11	0.00
3	2/10T*	15	40	100	9	3	8000	22	16.47	24.20	0.00
3	3/10T*	15	40	100	9	3	10500	32	20.15	25.31	0.00
3	4/10T*	15	40	100	9	3	12000	35	22.26	25.94	0.00
3	5/10T*	15	40	100	9	3	12500	37	22.95	26.15	0.00
3	6/10T*	15	40	100	9	3	12000	35	22.26	25.94	0.00
3	7/10T*	15	40	100	9	3	10500	32	20.15	25.31	0.00
3	8/10T*	15	40	100	9	3	8000	22	16.47	24.20	0.00
3	9/10R*	15	40	100	9	3	4500	16	11.00	22.11	0.00
3	10/10R*	15	40	100	9	3	0	0	0.00	0.00	0.00

relatório 7.6 - Programa VIGA - Seção "T"

$$\beta_x = \beta_{x94} \text{ e } cc = 0,50$$


```

=====
Projeto   : EXEMPLO 2
Cliente   : ADMILSON
Pavimento : 1# PAV
=====

```

```

=====
Fc_k      : 1.80
Fy_k      : 50.00
Aco Classe : 1
=====

```

Viga : V02

Bar	X/L	Bw	H	Ff	Hf	d	Nr	L	X	As1	AsE
3	0/10R*	15	40	100	9	3	0	0	0.00	0.00	0.00
3	1/10R*	15	40	100	9	3	4500	23	3.39	0.62	0.00
3	2/10R*	15	40	100	9	3	8000	30	4.52	9.05	0.00
3	3/10R*	15	40	100	9	3	10500	35	5.12	10.42	0.00
3	4/10R*	15	40	100	9	3	12000	37	5.54	11.14	0.00
3	5/10R*	15	40	100	9	3	12500	38	5.65	11.36	0.00
3	6/10R*	15	40	100	9	3	12000	37	5.54	11.14	0.00
3	7/10R*	15	40	100	9	3	10500	35	5.16	10.42	0.00
3	8/10R*	15	40	100	9	3	8000	30	4.52	9.05	0.00
3	9/10R*	15	40	100	9	3	4500	23	3.39	0.62	0.00
3	10/10R*	15	40	100	9	3	0	0	0.00	0.00	0.00

relatório 7.7 - Programa Viga - Seção "T"

$$\beta_x = 0,15 \text{ e } cc = 1,00$$

7.3 - PROGRAMA PILARI

Este programa tem a finalidade de dimensionar a armadura de uma seção de concreto armado submetida à flexão oblíqua composta, a partir das dimensões da seção transversal, da distribuição das armaduras e do terno de solicitações (N_d, M_{xd}, M_{yd}) .

Apresentam-se quatro exemplos de cálculo em que diversas seções, com relação b/h variável, são analisadas em função de diferentes solicitações.

Em cada exemplo, exemplo 1 ao 4, apresentam-se a tela proporcionada pelo programa, o arquivo de dados e o relatório final de processamento.

No arquivo de dados, o aço classe 1 significa classe A e o número 2, classe B.

Nos relatórios, dados e resultados apresentam-se em linha dupla, conforme a legenda inicial. Os esforços reduzidos com sufixo int são os esforços determinados pelo programa após N_iter_Y iterações para a aproximação da profundidade Y da linha neutra.

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 1

UNIDADES : TF/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX1.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - PEX1.LST

*** PROCESSANDO ***

tela 7.2 - Programa PILAR1

exemplo 1

```
EXEMPLO 1
ADMILSON
0.21 5.0 1
10 10
P01
70.0 70.0 3.0 777.0 2077.5 2052.1
70.0 70.0 3.0 680.0 1843.3 1819.3
70.0 70.0 3.0 600.0 1648.7 1626.1
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
FIM
```

arquivo 7.1 - Programa PILAR1

exemplo 1

```

=====
Projeto   : EXEMPLO 1
Cliente   : ADMILSON
=====

```

```

=====
Fc_k     : 0.21 tf/cm^2
Fy_k     : 5.00 tf/cm^2
Aco Classe : 1
=====

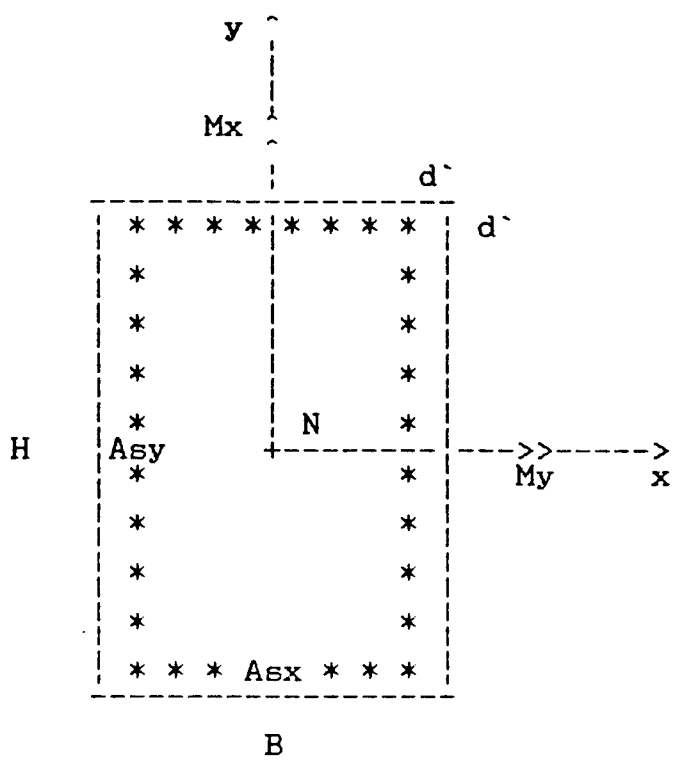
```

relatório 7.8 - Programa PILAR1
exemplo 1

```

=====
N_barx   : 10
N_bary   : 10
=====

```



Pilar : P01

B	H	dl	Ni_ext	Mix_ext	Miy_ext
W	As_t	N_iter_Y	Ni_int	Mix_int	Miy_int
70.00	70.00	3.00	1.48000	0.05653	0.05584
0.83930	141.884	3	1.48361	0.05619	0.05584
70.00	70.00	3.00	1.29524	0.05016	0.04950
0.62902	106.337	3	1.29700	0.04980	0.04950
70.00	70.00	3.00	1.14286	0.04486	0.04425
0.45510	76.935	3	1.14258	0.04450	0.04425

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 1

UNIDADES : TF/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX2.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - PEX2.LST

*** PROCESSANDO ***

tela 7.3 - Programa PILAR1

exemplo 2

```
EXEMPLO 2
ADMILSON
0.21 5.0 2
3 10
P02
30.0 160.0 3.0 777.0 1355.4 2426.9
30.0 160.0 3.0 680.0 1242.2 2133.5
30.0 160.0 3.0 600.0 1145.8 1891.1
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
FIM
```

arquivo 7.2 - Programa PILAR1

exemplo 2

```

=====
Projeto   : EXEMPLO 2
Cliente   : ADMILSON
=====

```

```

=====
Fc_k      : 0.21 tf/cm^2
Fy_k      : 5.00 tf/cm^2
Aco Classe : 2
=====

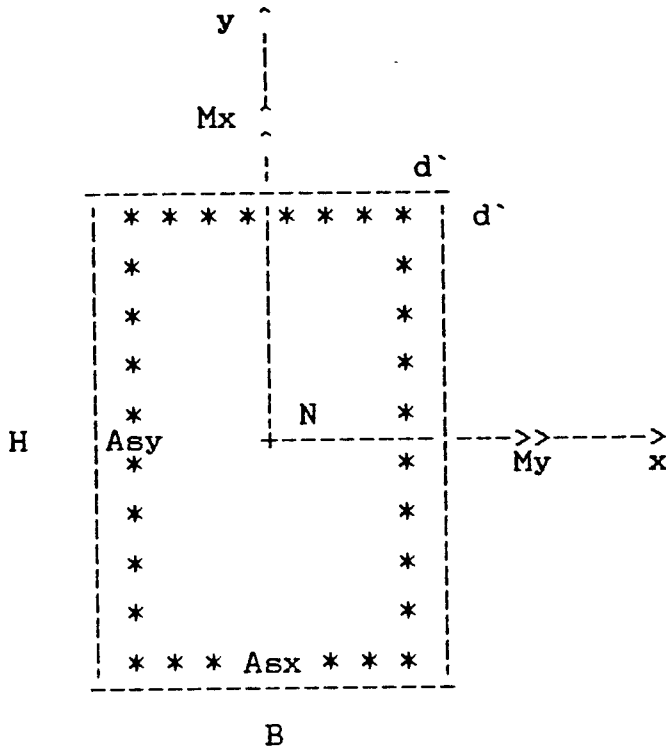
```

relatório 7.9 - Programa PILAR1
exemplo 2

```

=====
N_barx    : 3
N_bary    : 10
=====

```



Pilar : P02

B	H	dl	Ni_ext	Mix_ext	Miy_ext
W	As_t	N_iter_Y	Ni_int	Mix_int	Miy_int
30.00	160.00	3.00	1.51083	0.08785	0.02949
1.01418	167.948	5	1.50770	0.08660	0.02949
30.00	160.00	3.00	1.32222	0.08051	0.02593
0.77293	127.998	4	1.31577	0.08011	0.02593
30.00	160.00	3.00	1.16667	0.07426	0.02298
0.57829	95.765	4	1.16339	0.07330	0.02298

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 1

UNIDADES : TF/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX3.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - PEX3.LST

*** PROCESSANDO ***

tela 7.4 - Programa PILAR1

exemplo 3

```
EXEMPLO 3
ADMILSON
0.21 5.0 1
3 8
POS
50.0 100.0 5.0 321.43 0.0 16071.43
50.0 100.0 5.0 428.57 0.0 21428.57
50.0 100.0 5.0 642.86 0.0 8035.71
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
FIN
```

arquivo 7.3 - Programa PILAR1

exemplo 3

```

=====
Projeto   : EXEMPLO 3
Cliente   : ADMILSON
=====

```

```

=====
Fc_k      : 0.21 tf/cm^2
Fy_k      : 5.00 tf/cm^2
Aco Classe : 1
=====

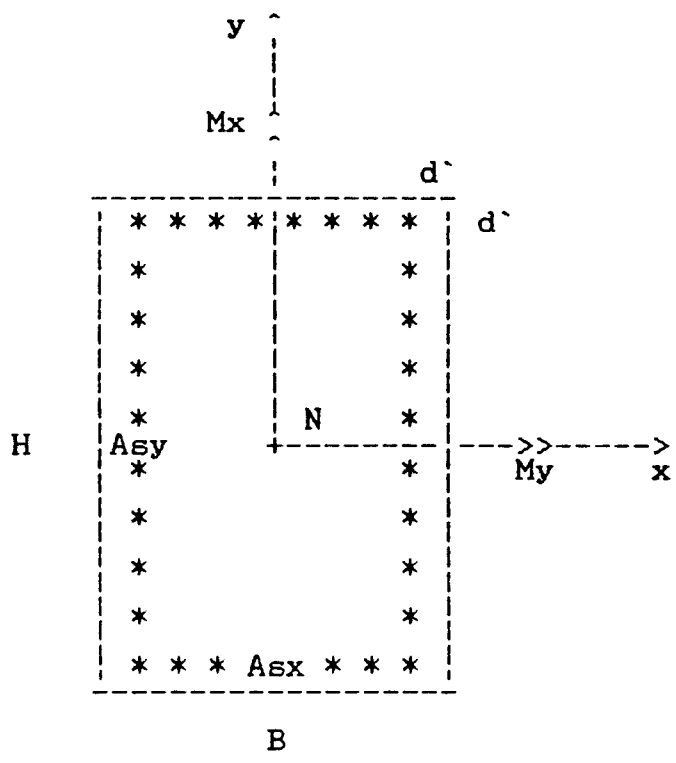
```

relatório 7.10 - Programa PILAR1
exemplo 3

```

=====
N_barx    : 3
N_bary    : 8
=====

```



Pilar : P03

B	H	d1	Ni_ext	Mix_ext	Miy_ext
W	As_t	N_iter_Y	Ni_int	Mix_int	Miy_int
50.00	100.00	5.00	0.60000	0.00000	0.30000
0.86279	148.831	3	0.60636	0.00000	0.30000
50.00	100.00	5.00	0.80000	0.00000	0.40000
1.38711	239.276	3	0.79560	0.00000	0.40000
50.00	100.00	5.00	1.20001	0.00000	0.15000
0.79474	137.092	2	1.19957	-0.00000	0.15000

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 1

UNIDADES : TF/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX4.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - PEX4.LST

*** PROCESSANDO ***

tela 7.5 - Programa PILAR1

exemplo 4

```
EXEMPLO 4
ADMILSON
0.21 5.0 2
3 8
POS
50.0 100.0 5.0 321.43 0.0 0.0
50.0 100.0 5.0 428.57 0.0 0.0
50.0 100.0 5.0 642.86 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
FIM
```

arquivo 7.4 - Programa PILAR1

exemplo 4

```

=====
Projeto   : EXEMPLO 4
Cliente   : ADMILSON
=====

```

```

=====
Fc_k      : 0.21 tf/cm^2
Fy_k      : 5.00 tf/cm^2
Aco Classe : 2
=====

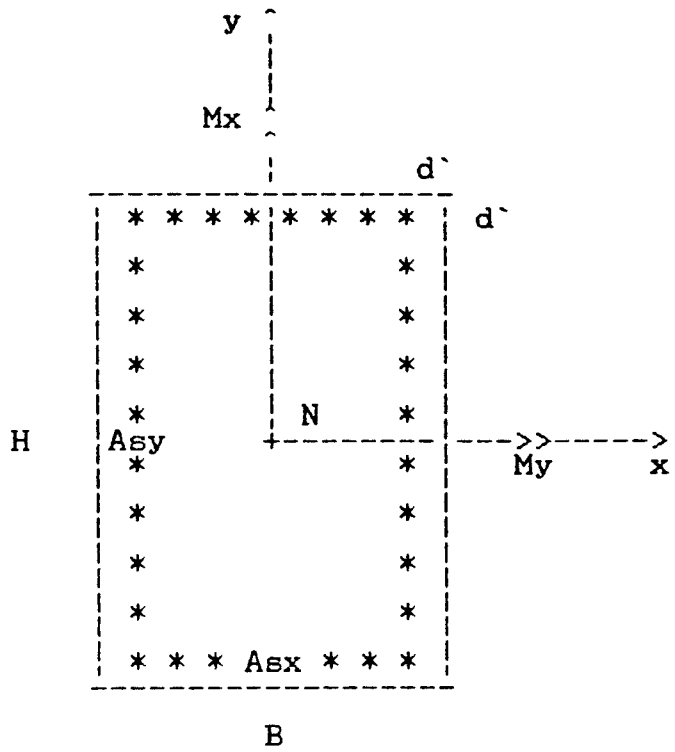
```

relatório 7.11 - Programa PILAR1
exemplo 4

```

=====
N_barx    : 3
N_bary    : 8
=====

```



Pilar : P05

```

=====

```

B	H	dl	Ni_ext	Mix_ext	Miy_ext
W	As_t	N_iter_Y	Ni_int	Mix_int	Miy_int
Armadura abaixo : W = W min					
50.00	100.00	5.00	0.60000	0.00000	0.00000
0.23188	40.000	2	0.60000	0.00000	0.00000
Armadura abaixo : W = W min					
50.00	100.00	5.00	0.80000	0.00000	0.00000
0.23188	40.000	2	0.80000	0.00000	0.00000
50.00	100.00	5.00	1.20001	0.00000	0.00000
0.42809	73.846	2	1.20001	0.00000	0.00000

```

=====

```

7.4 - PROGRAMAS PILAR2 E PILAR3

As funções destes programas são criar tabelas com os pontos das curvas de isoarmadura e o traçado dessas curvas via traçador gráfico, respectivamente aos programas PILAR2 e PILAR3.

Apresenta-se um exemplo de cálculo em que é gerada uma tabela de pontos e traçado o ábaco correspondente. Da tabela, são apresentadas apenas suas curvas iniciais, já que não se justifica sua apresentação total.

Para este exemplo ilustrativo, os seguintes resultados são apresentados :

tela proporcionada pelo Programa PILAR2 - tela 7.6
tabela gerada pelo Programa PILA2 - tabela 7.1
tela proporcionada pelo Programa PILAR3 - tela 7.7
ábaco de interação traçado a partir da tabela de pontos gerada anteriormente, tabela 7.1 - ábaco 7.1

Os dados para a geração da tabela de pontos são fornecidos diretamente pelo vídeo, dispensando-se a montagem de arquivo de dados.

Note-se que o dimensionamento com o auxílio desses ábacos deve levar em consideração a classe do aço utilizado por razões comentadas anteriormente.

PROJETO PILAR
PROGRAMA PILAR 2

D A D O S

Abaco - EXEMPLO
Cobrimento/Altura - 0.100
Cobrimento/Base - 0.100
Aco Classe - A
N_barh - 2
N_barb - 2
Arquivo de Saida - ABCEX1.LST

Dados Estao Corretos (S/N) - S

*** P R O C E S S A N D O ***

tela 7.6 - Programa PILAR2

EXEMPLD Abaco
 A Classe do Aco
 2 Barras em b-b
 2 Barras em h-h
 0.100 Cobrimento em h-h
 0.100 Cobrimento em b-b

0.00

0.20

0.0845577296	0.0002125969	0.0000	4
0.0840075404	0.0121286483	0.0000	3
0.0827486943	0.0262629291	-0.0000	5
0.0815615359	0.0393665646	0.0000	5
0.0805991451	0.0500005439	0.0000	5
0.0799645134	0.0556924881	-0.0001	2
0.0791240169	0.0591145270	-0.0000	4
0.0772486216	0.0642588325	-0.0000	5
0.0755235923	0.0686974516	-0.0000	7
0.0736348317	0.0724548814	-0.0000	9
0.0724548814	0.0736348317	-0.0000	9
0.0686974516	0.0755235923	-0.0000	7
0.0642588325	0.0772486216	-0.0000	5
0.0591145270	0.0791240169	-0.0000	4
0.0556924881	0.0799645134	-0.0001	2
0.0500005439	0.0805991451	0.0000	5
0.0393665646	0.0815615359	0.0000	5
0.0262629291	0.0827486943	-0.0000	5
0.0121286483	0.0840075404	0.0000	3
0.0002125969	0.0845577296	0.0000	4

0.30

0.1244174302	0.0005854013	0.0000	7
0.1234189016	0.0194378310	-0.0000	5
0.1222227319	0.0367718677	0.0000	4
0.1210109661	0.0533447293	0.0000	4
0.1200318211	0.0621374501	0.0001	6
0.1190350991	0.0664659944	0.0000	4
0.1170266906	0.0725542755	-0.0001	6
0.1143347665	0.0793590766	-0.0000	5
0.1115407729	0.0859883440	-0.0000	6
0.1081020216	0.0934883668	-0.0000	5
0.0934883668	0.1061020216	-0.0000	5
0.0859883440	0.1115407729	-0.0000	6
0.0793590766	0.1143347665	-0.0000	5
0.0725542755	0.1170266906	-0.0001	6
0.0664659944	0.1190350991	0.0000	4
0.0621374501	0.1200318211	0.0001	6
0.0533447293	0.1210109661	0.0000	4
0.0367718677	0.1222227319	0.0000	4
0.0194378310	0.1234189016	-0.0000	5
0.0005854013	0.1244174302	0.0000	7

tabela 7.1 - Programa PILAR2

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 3

| ARQUIVO DE ENTRADA - ABCEX1.LST

*** PROCESSANDO ***

tela 7.7 - Programa PILAR3

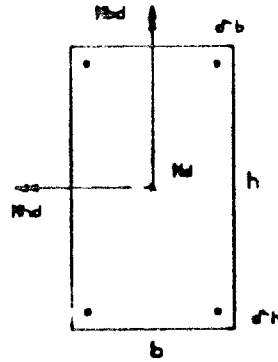
EXEMPLO

$$V_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$M_{ed} = \frac{M_{bd}}{A_c \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$M_{ed} = \frac{M_{bd}}{A_c \cdot f_{cd} \cdot h}$$

$$W = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$



CR 50 R

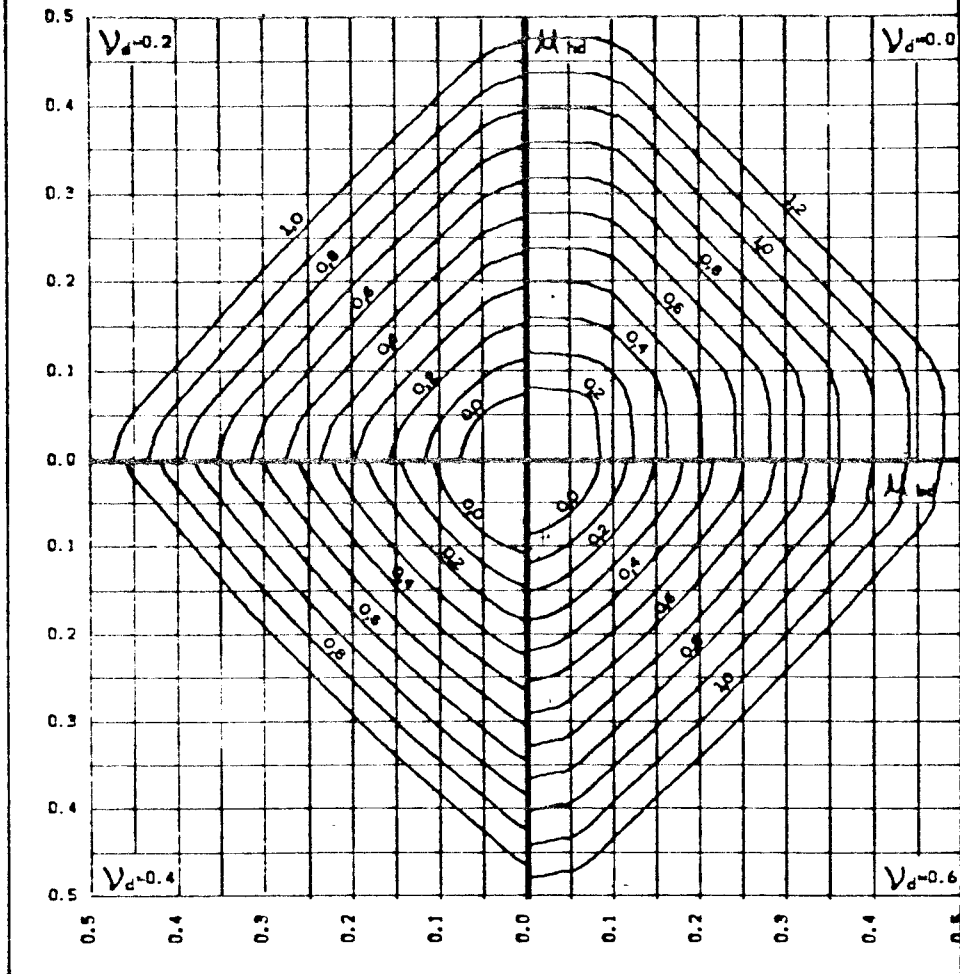
$d/h : 0.100$

$d'/b : 0.100$

$f_{yb}/f_{yk} : 2/4$

$f_{yk}/f_{yk} : 2/4$

$A_c = b \cdot h$



ábaco 7.1 - Programa PILAR3

tabela 7.1

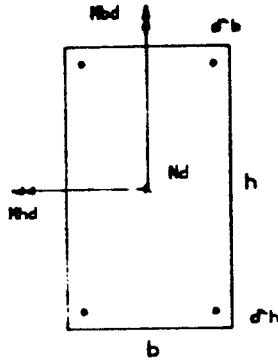
EXEMPLO

$$V_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$\mu_{bd} = \frac{M_{bd}}{A_c \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$\mu_{hd} = \frac{M_{hd}}{A_c \cdot f_{cd} \cdot h}$$

$$W = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$



CA SO A

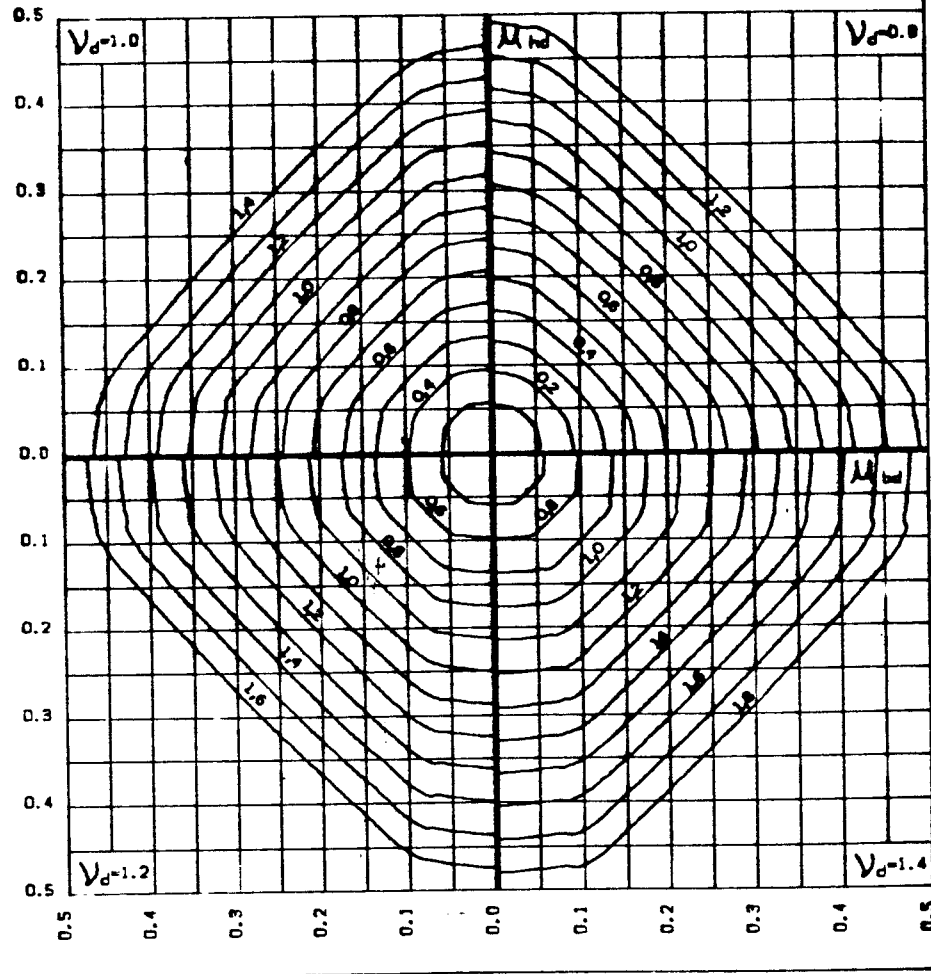
$$e_h/h : 0.100$$

$$e_b/b : 0.100$$

$$R_{tb}/R_{st} : 2/4$$

$$R_{st}/R_{st} : 2/4$$

$$A_c = b \cdot h$$



ábaco 7.1 - Programa PILAR3

tabela 7.1

7.5 - PROGRAMA PILAR4

Este programa tem a finalidade de dimensionar a armadura de uma seção de concreto armado submetida à flexão oblíqua composta, a partir das dimensões da seção transversal, de uma distribuição padronizada de armadura em que as barras são distribuídas de uma maneira uniforme ao longo do perímetro dos estribos e das solicitações (N_d, M_{xd}, M_{yd}). Também está definido como um programa de transição, já que trabalha como rotina de cálculo para o Programa PILAR5, Dimensionamento e Racionalização de Seções de Concreto Armado Submetidas à Flexão Oblíqua Composta.

Apresentam-se três exemplos de cálculo em que o tramo do pilar é analisado nas três possíveis formas :

- duas seções para análise : os momentos solicitantes são considerados os mesmos para as duas extremidades do tramo, sendo analisadas a seção de extremidade e a seção intermediária, tomando-se a maior armadura obtida como resultado.

- três seções para análise : os momentos solicitantes são diferentes em cada extremidade do tramo, sendo analisadas as duas seções de extremidade e a seção intermediária, tomando-se a maior armadura obtida como resultado.

- uma seção para análise : somente uma seção do tramo é analisada, tomando-se a armadura obtida como resultado.

Note-se que há uma terceira possibilidade para a montagem do arquivo de dados, dimensionamento apenas em uma seção, não apresentada anteriormente, por não ser esta uma situação frequente em edifícios. Possibilita-se o dimensionamento da armadura apenas em uma seção nos casos em que o calculista deseja o dimensionamento para momentos

específicos. Para isto, basta utilizar-se desta opção de montagem de arquivo e zerar todos os multiplicadores de excentricidades adicionais.

Em cada exemplo, exemplo 1 ao 3, apresentam-se a tela proporcionada pelo programa, o arquivo de dados e o relatório final de processamento.

Nos relatórios, apresentam-se os dados de entrada, os momentos adicionais, obtidos segundo as prescrições da NBR-6118, e os resultados em linha dupla conforme a legenda inicial. Na legenda, A_{sx} significa a área de aço correspondente a uma das faces B, ou seja, segundo a largura da seção transversal; A_{sy} , segundo a altura H e A_s significa a área total de armadura.

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 4

UNIDADES : TF/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX1.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - PEX1.LST

*** PROCESSANDO ***

tela 7.8 - Programa PILAR4

exemplo 1

```
EXEMPLO 1
ADRIILSON
1.0.21,300.0,1.0,1.0,1.0,1.0,
P01
20.0,100.0,4.0,
150.0,180.0,400.0,
140.0,150.0,380.0,
120.0,120.0,320.0,
FIM
```

arquivo 7.5 - Programa PILAR4

exemplo 1

```

=====
Projeto : EXEMPLO 1
Cliente : ADMILSON
=====

```

```

=====
Secoes em Verificacao : 1
=====

```

```

=====
Fck   : 0.21 (tf/cm2)
Aco   : CA-50 A
=====

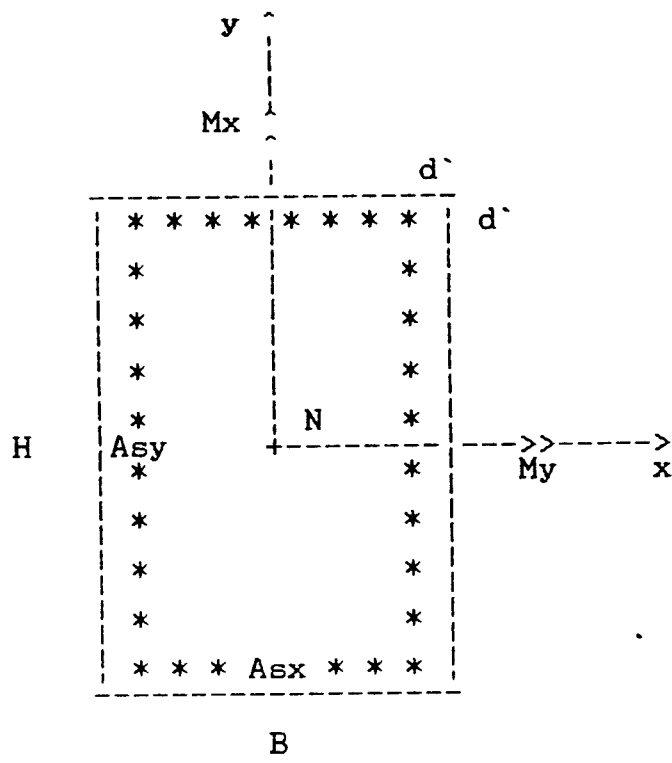
```

relatório 7.12 - Programa PILAR4
exemplo 1

```

=====
Multiplicador de ei : 1.00
Multiplicador de ea : 1.00
Multiplicador de e2 : 1.00
Multiplicador de ec : 1.00
=====

```



Pilar : P01

B d'	H Le	Nk	Mxk Myk	Mxa Mya	Mx2 My2	Asx Asy	As
20.0 4.0	100.0 300.0	150.0	180.0 400.0	300.0 500.0	313.3 0.0	2.09 15.99	36.16
20.0 4.0	100.0 300.0	140.0	150.0 380.0	280.0 466.7	304.3 0.0	1.69 12.93	29.24
20.0 4.0	100.0 300.0	120.0	120.0 320.0	240.0 400.0	283.8 0.0	1.06 8.16	18.44

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 4

UNIDADES : TF/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX2.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - PEX2.LST

*** PROCESSANDO ***

tela 7.9 - Programa PILAR4
exemplo 2

```
EXEMPLO 2  
ADPILSON  
2.0.21,300.0,1.0,1.0,1.0,1.0,  
FOI  
20.0,100.0,4.0,  
150.0,180.0,400.0,  
140.0,150.0,380.0,  
120.0,120.0,320.0,  
FIM
```

arquivo 7.6 - Programa PILAR4
exemplo 2

```

=====
Projeto : EXEMPLO 2
Cliente : ADMILSON
=====

```

```

=====
Secoes em Verificacao : 2
=====

```

```

=====
Fck : 0.21 (tf/cm2)
Aco : CA-50 A
=====

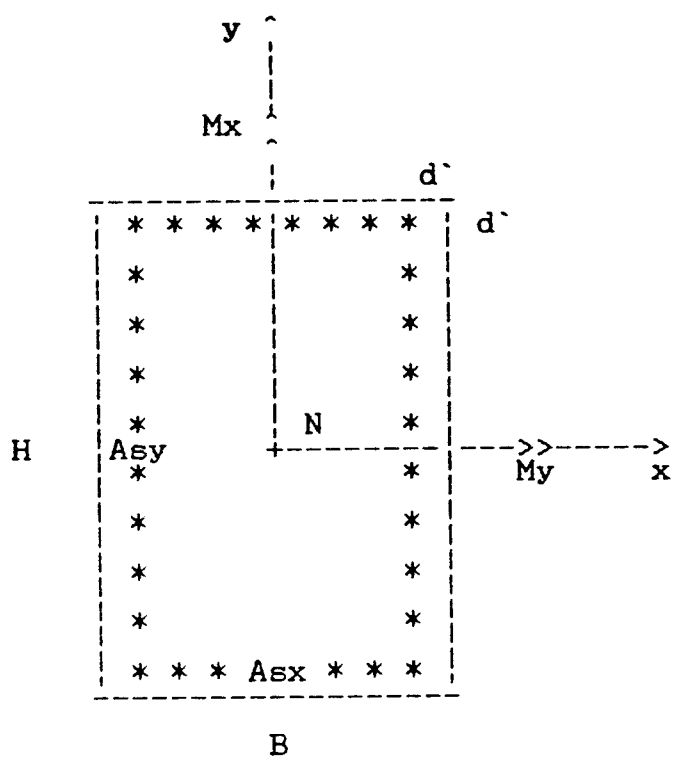
```

relatório 7.13 - Programa PILAR4
exemplo 2

```

=====
Multiplicador de ei : 1.00
Multiplicador de ea : 1.00
Multiplicador de e2 : 1.00
Multiplicador de ec : 1.00
=====

```



Pilar : P01

B	H	Nk	Mxk	Mxa	Mx2	Asx	As
d'	Le		Myk	Mya	My2	Asy	
20.0	100.0	150.0	180.0	300.0	313.3	1.61	27.99
4.0	300.0		400.0	500.0	0.0	12.38	
20.0	100.0	140.0	150.0	280.0	304.3	1.28	22.24
4.0	300.0		380.0	466.7	0.0	9.84	
20.0	100.0	120.0	120.0	240.0	283.8	0.92	16.00
4.0	300.0		320.0	400.0	0.0	7.08	

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 4

UNIDADES : TF/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX3.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - PEX3.LST

*** P R O C E S S A N D O ***

tela 7.10 - Programa PILAR4

exemplo 3

```
EXEMPLO 3
ADRIILSON
3.0.21,300.0,1.0,1.0,1.0,1.0,
FOI
20.0,100.0,4.0,
150.0,180.0,300.0,600.0,-800.0,
140.0,150.0,280.0,500.0,-600.0,
120.0,120.0,0.0,400.0,-300.0,
FIM
```

arquivo 7.7 - Programa PILAR4

exemplo 3

```

=====
Projeto : EXEMPLO 3
Cliente : ADMILSON
=====

```

```

=====
Secoes em Verificacao : 3
=====

```

```

=====
Fck   : 0.21 (tf/cm2)
Aco   : CA-50 A
=====

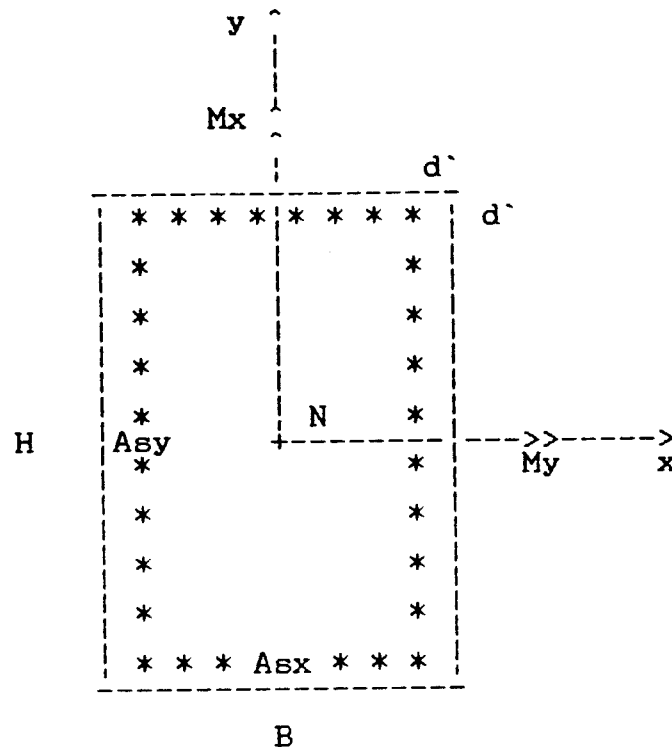
```

relatório 7.14 - Programa PILAR4
exemplo 3

```

=====
Multiplicador de ei : 1.00
Multiplicador de ea : 1.00
Multiplicador de e2 : 1.00
Multiplicador de ec : 1.00
=====

```



Pilar : P01

B	H	Nk	Mxks	Mxki	Mxa	Mx2	Asx	As
d'	Le		Myks	Myki	Mya	My2	Asy	
20.0	100.0	150.0	180.0	300.0	300.0	313.3	2.30	39.90
4.0	300.0		600.0	-800.0	500.0	0.0	17.65	
20.0	100.0	140.0	150.0	280.0	280.0	304.3	1.90	32.98
4.0	300.0		500.0	-600.0	466.7	0.0	14.59	
20.0	100.0	120.0	120.0	0.0	240.0	283.8	0.92	16.00
4.0	300.0		400.0	-300.0	400.0	0.0	7.08	

7.6 - PROGRAMA PILAR5

O Programa PILAR5 é o último programa do processo desenvolvido para a racionalização de seções retangulares de concreto armado submetidas à flexão oblíqua composta. Tem a finalidade de racionalizar as dimensões da seção transversal, segundo os critérios de cálculo apresentados anteriormente, e dimensionar a respectiva armadura com distribuição padronizada, já definida.

Apresenta-se um exemplo de cálculo em que são analisadas várias seções transversais. Os seguintes resultados são apresentados para ilustrar o exemplo.

tela proporcionada pelo Programa PILAR5 - tela 7.11

arquivo de dados - arquivo 7.8

relatório final de processamento - relatório 7.15

No relatório, dados e resultados apresentam-se em linha simples, conforme a legenda inicial.

Montaram-se os exemplos através de dados retirados de [10]. Na legenda, dados e resultados têm as mesmas definições anteriores.

PROJETO PILAR

PROGRAMA PILAR 5

UNIDADES : TF/CM

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX1.DAT

ARQUIVO DE SAIDA - PEX1.LST

*** PROCESSANDO ***

tela 7.11 - Programa PILAR5

exemplo 1

```
EXEMPLO 1
ADMILSON
0.18
2.0
P01
100.0 3.0 734.70 18367.60 9183.70
100.0 3.0 913.40 9183.70 13775.50
30.0 3.0 220.40 413.30 5510.20
30.0 3.0 275.50 661.20 2755.10
36.0 9.0 158.70 714.10 1428.20
36.0 9.0 198.40 714.10 952.20
50.0 5.0 183.70 0.0 2525.50
30.0 3.0 275.51 495.92 2479.59
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FIM
```

arquivo 7.8 - Programa PILAR5

exemplo 1

=====

Projeto : EXEMPLO 1

Cliente : ADMILSON

=====

relatório 7.15 - Programa PILAR5

exemplo 1

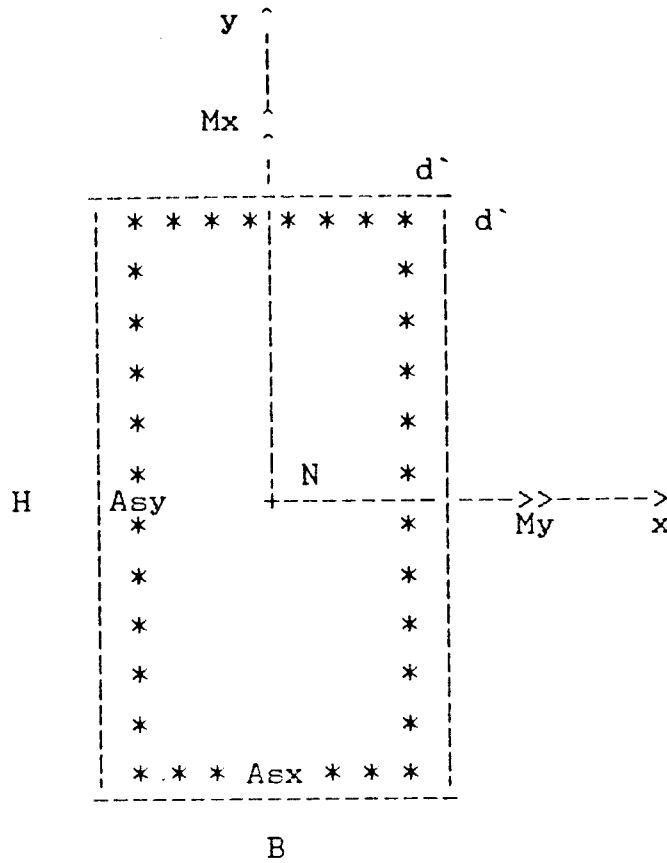
=====

Fc_k : 0.18 tf/cm²

Aco : CA-50 A

Ro_otm : 2.00

=====



B	d1	H	N	Ro	As	As_x	As_y
100.00	3.00	99	0.6764	0.0200	198.196	49.790	49.308
100.00	3.00	101	0.6746	0.0200	201.450	50.102	50.623
30.00	3.00	101	0.6709	0.0198	60.405	6.066	24.136
30.00	3.00	95	0.6758	0.0200	56.868	6.047	22.388
36.00	9.00	63	0.6783	0.0201	45.312	6.499	16.157
36.00	9.00	63	0.6785	0.0201	45.154	6.501	16.077
50.00	5.00	50	0.6745	0.0199	50.003	12.479	12.523
30.00	3.00	91	0.6764	0.0200	54.575	6.011	21.276

7.7 - PROGRAMA GPLUS

Este programa tem a finalidade de gerar dados de geometria para pavimentos planos, cujo modelo de cálculo é do tipo grelha, com resolução através de análise matricial. Também determina os elementos básicos para a geração da geometria de lajes e do pórtico espacial ao nível dos pavimentos.

Apresenta-se um exemplo em que é gerada a geometria do pavimento cuja forma está representada na fig. 7.3 . O pavimento é constituído por trinta pilares, dezenove vigas, sendo dez com numeração par e nove com numeração ímpar, vinte e duas lajes e dois poços de elevador. Os dados referentes às seções transversais e às dimensões em planta estão indicados na forma.

A fig. 7.4 representa a discretização da grelha através do modelo proposto. Notem-se os erros cometidos na numeração nodal, nós 65 e 66, e na numeração dos elementos viga, elemento número 20. Após a geração dos elementos barra e nó para a discretização do pavimento através do modelo plano tradicional, a regularidade na determinação dos elementos faz-se presente.

A fig. 7.5 representa a discretização da grelha através do modelo plano tradicional. Note-se o aumento do número de elementos em relação ao modelo anterior.

Conforme explicado anteriormente, a geração das barras para a discretização dos elementos viga obedece à ordem de entrada do elemento no modelo proposto, independentemente de sua numeração. Também os nós de cruzamentos entre vigas são gerados automaticamente, conforme opção inicial, reduzindo-se ainda mais o esforço para a montagem do arquivo de dados.

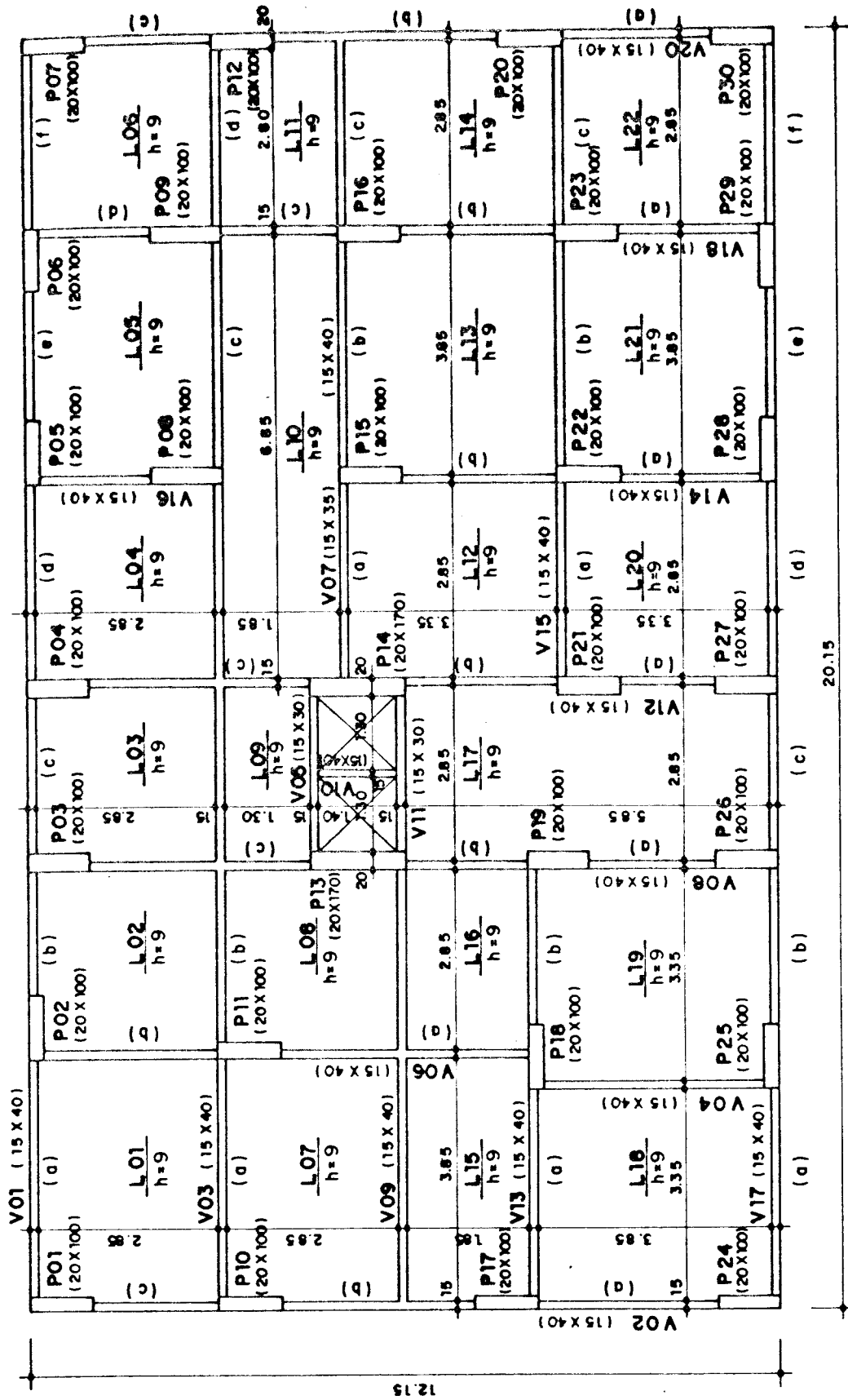


fig. 7.3 - Forma do pavimento

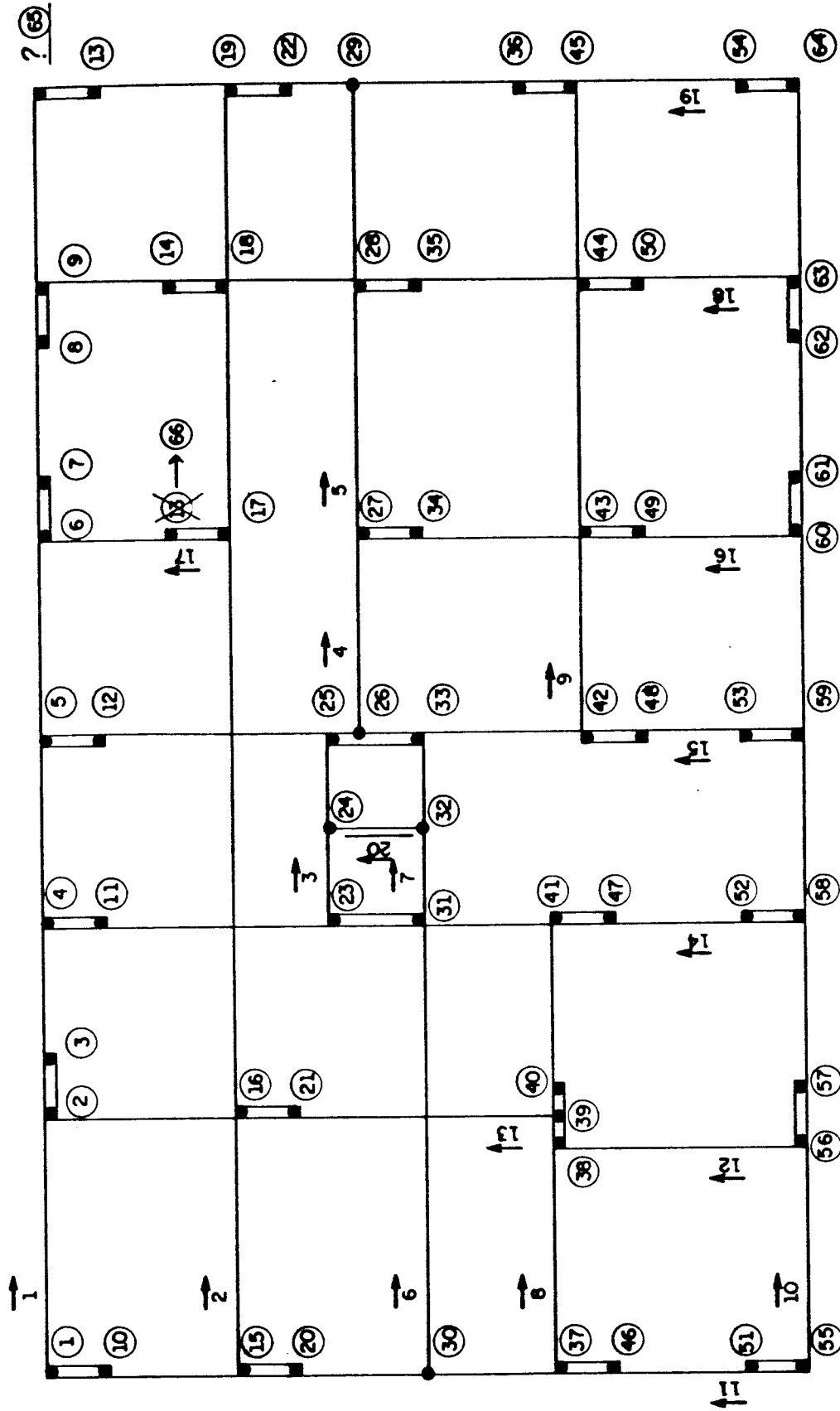


fig. 7.4 - Modelo proposto

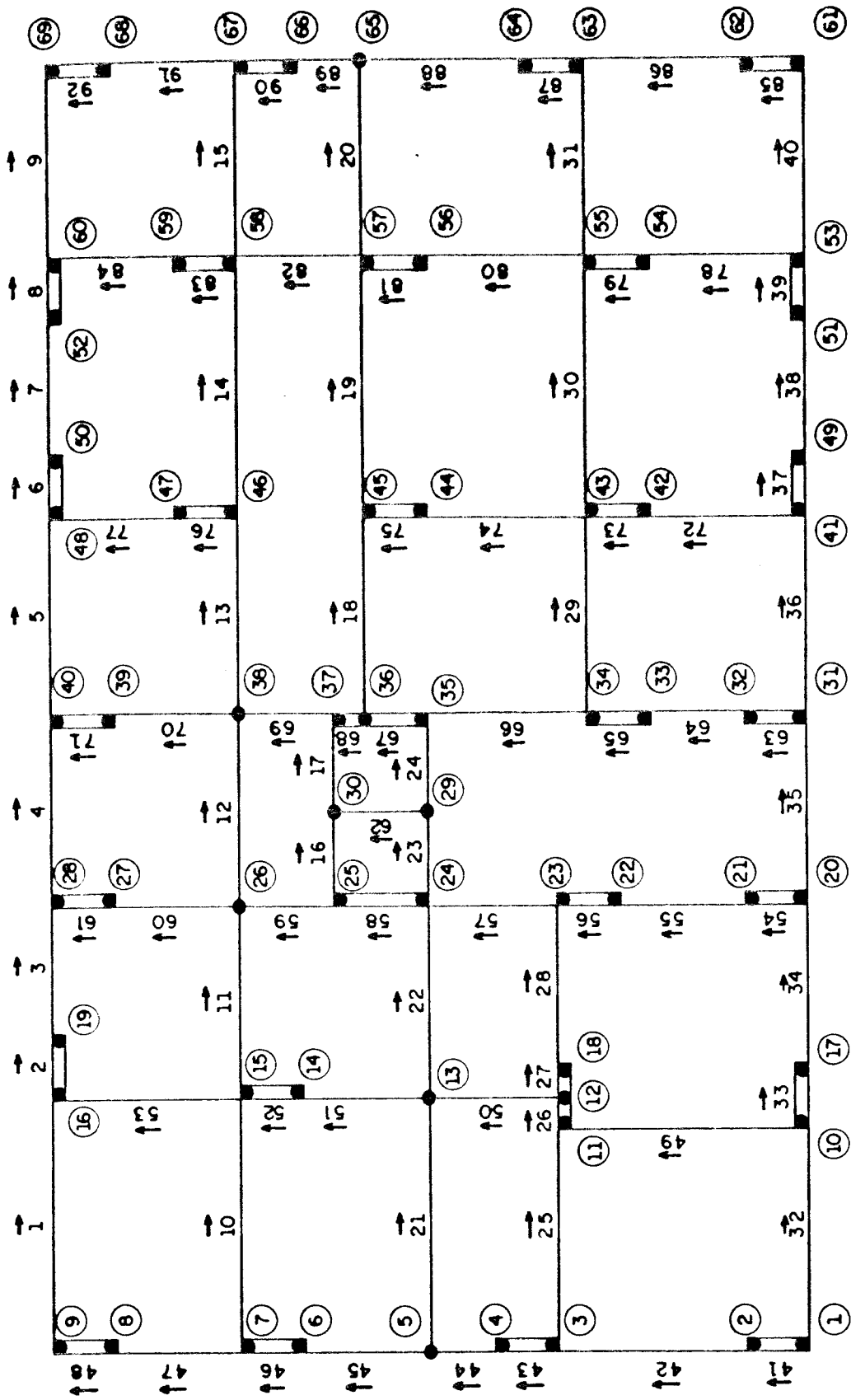


fig. 7.5 - Modelo plano tradicional

A seguir, apresentam-se a tela proporcionada pelo programa, tela 7.12, o arquivo de dados, arquivo 7.9, e os relatórios finais de processamento, relatórios 7.16 e 7.17, nesta ordem.

Na tela, os nomes e extensões dos arquivos que contêm os relatórios de saída são padronizados e gerados automaticamente a partir do nome do ARQUIVO DE ENTRADA, GEX1.GPL .

O ARQUIVO DE DADOS, GEX1.DAT, refere-se aos dados de entrada, dispostos em outra formatação para facilitar uma possível conferência em caso de erro, e não se apresenta neste trabalho.

Os ARQUIVOS DE GRELHA, GGEX1.DAT, e DE REAÇÕES, RGEX1.DAT, discretizam o pavimento e relacionam os elementos pilar aos nós, respectivamente. A formatação destes arquivos obedece a [18].

Os ARQUIVOS DE LAJE, GEX1.LPL, e DE PÓRTICO, GEX1.VNT, são arquivos não formatados, utilizados na geração das lajes e do pórtico espacial ao nível do pavimento, respectivamente.

PROJETO GRELHA
PROGRAMA GPLUS

ARQUIVO DE ENTRADA - GEX1.GPL

ARQUIVO DE DADOS - GEX1.LST

ARQUIVO DE GRELHA - GGEX1.DAT

ARQUIVO DE REACOES - RGEX1.DAT

ARQUIVO DE LAJES - GEX1.LPL

ARQUIVO DE PORTICO - GEX1.UNT

OPCAO DE RENUMERACAO - (A,B,C) : A

FIM DA CONSISTENCIA DE DADOS - CONTINUA (S/N) : S

FIM DO PROCESSAMENTO !

tela 7.12 - Programa GPLUS

EXEMPLD 1
 ADMILSON
 TERRED
 1.8E3
 5.0E4
 0
 NR
 0.00,0.00,0.00,
 1,0.00,12.00,
 2,4.00,12.00,
 3,4.90,12.00,
 4,7.00,12.00,
 5,10.00,12.00,
 6,13.00,12.00,
 7,13.90,12.00,
 8,16.10,12.00,
 9,17.00,12.00,
 10,0.00,11.10,
 11,7.00,11.10,
 12,10.00,11.10,
 13,20.00,11.10,
 14,17.00,9.90,
 15,0.00,9.00,
 16,4.00,9.00,
 17,13.00,9.00,
 18,17.00,9.00,
 19,20.00,9.00,
 20,0.00,8.10,
 21,4.00,8.10,
 22,20.00,8.10,
 23,7.00,7.55,
 24,8.50,7.55,
 25,10.00,7.55,
 26,10.00,7.00,
 27,13.00,7.00,
 28,17.00,7.00,
 29,20.00,7.00,
 30,0.00,6.00,
 31,7.00,6.00,
 32,8.50,6.00,
 33,10.00,6.00,
 34,13.00,6.10,
 35,17.00,6.10,
 36,20.00,4.40,
 37,0.00,4.00,
 38,3.50,4.00,
 39,4.00,4.00,
 40,4.40,4.00,
 41,7.00,4.00,
 42,10.00,3.50,
 43,13.00,3.50,
 44,17.00,3.50,
 45,20.00,3.50,
 46,0.00,3.10,
 47,7.00,3.10,
 48,10.00,2.60,
 49,13.00,2.60,
 50,17.00,2.60,
 51,0.00,0.90,
 52,7.00,0.90,
 53,10.00,0.90,
 54,20.00,0.90,
 55,0.00,0.00,

56,3.50,0.00,
 57,4.40,0.00,
 58,7.00,0.00,
 59,10.00,0.00,
 60,13.00,0.00,
 61,13.90,0.00,
 62,16.10,0.00,
 63,17.00,0.00,
 64,20.00,0.00,
 65,20.00,12.00,
 66,13.00,9.90,
 MT
 1,2.0E9,2.0E8,2.5E3,
 PR
 1,1,0.15,0.40,0.04,0.01,
 2,1,0.15,0.30,0.03,0.01,
 3,1,0.15,0.35,0.03,0.01,
 VR
 V01
 1,1,65,1,1,
 V03
 2,15,19,1,1,
 V05
 3,23,25,2,1,
 V07
 4,26,27,3,1,
 5,27,29,1,1,
 V09
 6,30,31,1,1,
 V11
 7,31,33,2,1,
 V13
 8,37,41,1,1,
 V15
 9,42,45,1,1,
 V17
 10,55,64,1,1,
 V02
 11,55,1,1,1,
 V04
 12,56,38,1,1,
 V06
 13,39,2,1,1,
 V08
 14,58,4,1,1,
 V10
 20,32,24,2,1,
 V12
 15,59,5,1,1,
 V14
 16,60,27,1,1,
 V16
 17,17,6,1,1,
 V18
 18,63,9,1,1,
 V20
 19,64,65,1,1,
 P1
 P01
 1,1,
 10,1,
 P02
 2,1,

3,1,
 P03
 4,1,
 11,1,
 P04
 5,1,
 12,1,
 P05
 6,1,
 7,1,
 P06
 8,1,
 9,1,
 P07
 13,1,
 65,1,
 P08
 17,1,
 66,1,
 P09
 14,1,
 18,1,
 P10
 15,1,
 20,1,
 P11
 16,1,
 21,1,
 P12
 19,1,
 22,1,
 P13
 23,1,
 31,1,
 P14
 25,1,
 26,1,
 33,1,
 P15
 27,1,
 34,1,
 P16
 28,1,
 35,1,
 P17
 37,1,
 46,1,
 P18
 38,1,
 39,1,
 40,1,
 P19
 41,1,
 47,1,
 P20
 36,1,
 45,1,
 P21
 42,1,
 48,1,
 P22
 43,1,
 49,1,

P23
 44,1,
 50,1,
 P24
 51,1,
 55,1,
 P25
 56,1,
 57,1,
 P26
 52,1,
 58,1,
 P27
 53,1,
 59,1,
 P28
 60,1,
 61,1,
 P29
 62,1,
 63,1,
 P30
 54,1,
 64,1,
 FN

OPTE, 3, 4, 3, 3, 4,
 EXEMPLO 1
 ADMILSON
 TERRED
 NO

1,	0.000,	0.000,
2,	0.000,	0.900,
3,	0.000,	3.100,
4,	0.000,	4.000,
5,	0.000,	6.000,
6,	0.000,	8.100,
7,	0.000,	9.000,
8,	0.000,	11.100,
9,	0.000,	12.000,
10,	3.500,	0.000,
11,	3.500,	4.000,
12,	4.000,	4.000,
13,	4.000,	6.000,
14,	4.000,	8.100,
15,	4.000,	9.000,
16,	4.000,	12.000,
17,	4.400,	0.000,
18,	4.400,	4.000,
19,	4.900,	12.000,
20,	7.000,	0.000,
21,	7.000,	0.900,
22,	7.000,	3.100,
23,	7.000,	4.000,
24,	7.000,	6.000,
25,	7.000,	7.550,
26,	7.000,	9.000,
27,	7.000,	11.100,
28,	7.000,	12.000,
29,	8.500,	6.000,
30,	8.500,	7.550,
31,	10.000,	0.000,
32,	10.000,	0.900,
33,	10.000,	2.600,
34,	10.000,	3.500,
35,	10.000,	6.000,
36,	10.000,	7.000,
37,	10.000,	7.550,
38,	10.000,	9.000,
39,	10.000,	11.100,
40,	10.000,	12.000,
41,	13.000,	0.000,
42,	13.000,	2.600,
43,	13.000,	3.500,
44,	13.000,	6.100,
45,	13.000,	7.000,
46,	13.000,	9.000,
47,	13.000,	9.900,
48,	13.000,	12.000,
49,	13.900,	0.000,
50,	13.900,	12.000,
51,	16.100,	0.000,
52,	16.100,	12.000,
53,	17.000,	0.000,
54,	17.000,	2.600,
55,	17.000,	3.500,
56,	17.000,	6.100,
57,	17.000,	7.000,
58,	17.000,	9.000,

59,	17.000,	9.900,
60,	17.000,	12.000,
61,	20.000,	0.000,
62,	20.000,	0.900,
63,	20.000,	3.500,
64,	20.000,	4.400,
65,	20.000,	7.000,
66,	20.000,	8.100,
67,	20.000,	9.000,
68,	20.000,	11.100,
69,	20.000,	12.000,

BAR

1,	9,	16,	1,1,
2,	16,	19,	1,1,
3,	19,	28,	1,1,
4,	28,	40,	1,1,
5,	40,	48,	1,1,
6,	48,	50,	1,1,
7,	50,	52,	1,1,
8,	52,	60,	1,1,
9,	60,	69,	1,1,
10,	7,	15,	1,1,
11,	15,	26,	1,1,
12,	26,	38,	1,1,
13,	38,	46,	1,1,
14,	46,	58,	1,1,
15,	58,	67,	1,1,
16,	25,	30,	2,1,
17,	30,	37,	2,1,
18,	36,	45,	3,1,
19,	45,	57,	1,1,
20,	57,	65,	1,1,
21,	5,	13,	1,1,
22,	13,	24,	1,1,
23,	24,	29,	2,1,
24,	29,	35,	2,1,
25,	4,	11,	1,1,
26,	11,	12,	1,1,
27,	12,	18,	1,1,
28,	18,	23,	1,1,
29,	34,	43,	1,1,
30,	43,	55,	1,1,
31,	55,	63,	1,1,
32,	1,	10,	1,1,
33,	10,	17,	1,1,
34,	17,	20,	1,1,
35,	20,	31,	1,1,
36,	31,	41,	1,1,
37,	41,	49,	1,1,
38,	49,	51,	1,1,
39,	51,	53,	1,1,
40,	53,	61,	1,1,
41,	1,	2,	1,1,
42,	2,	3,	1,1,
43,	3,	4,	1,1,
44,	4,	5,	1,1,
45,	5,	6,	1,1,
46,	6,	7,	1,1,
47,	7,	8,	1,1,
48,	8,	9,	1,1,
49,	10,	11,	1,1,
50,	12,	13,	1,1,
51,	13,	14,	1,1,

relatório 7.16 - Programa GPLUS
 arquivo de grelha

52, 14, 15, 1,1,
 53, 15, 16, 1,1,
 54, 20, 21, 1,1,
 55, 21, 22, 1,1,
 56, 22, 23, 1,1,
 57, 23, 24, 1,1,
 58, 24, 25, 1,1,
 59, 25, 26, 1,1,
 60, 26, 27, 1,1,
 61, 27, 28, 1,1,
 62, 29, 30, 2,1,
 63, 31, 32, 1,1,
 64, 32, 33, 1,1,
 65, 33, 34, 1,1,
 66, 34, 35, 1,1,
 67, 35, 36, 1,1,
 68, 36, 37, 1,1,
 69, 37, 38, 1,1,
 70, 38, 39, 1,1,
 71, 39, 40, 1,1,
 72, 41, 42, 1,1,
 73, 42, 43, 1,1,
 74, 43, 44, 1,1,
 75, 44, 45, 1,1,
 76, 46, 47, 1,1,
 77, 47, 48, 1,1,
 78, 53, 54, 1,1,
 79, 54, 55, 1,1,
 80, 55, 56, 1,1,
 81, 56, 57, 1,1,
 82, 57, 58, 1,1,
 83, 58, 59, 1,1,
 84, 59, 60, 1,1,
 85, 61, 62, 1,1,
 86, 62, 63, 1,1,
 87, 63, 64, 1,1,
 88, 64, 65, 1,1,
 89, 65, 66, 1,1,
 90, 66, 67, 1,1,
 91, 67, 68, 1,1,
 92, 68, 69, 1,1,

RES

1,1,0,0,
 2,1,0,0,
 3,1,0,0,
 4,1,0,0,
 6,1,0,0,
 7,1,0,0,
 8,1,0,0,
 9,1,0,0,
 10,1,0,0,
 11,1,0,0,
 12,1,0,0,
 14,1,0,0,
 15,1,0,0,
 16,1,0,0,
 17,1,0,0,
 18,1,0,0,
 19,1,0,0,
 20,1,0,0,
 21,1,0,0,
 22,1,0,0,
 23,1,0,0,

24,1,0,0,
 25,1,0,0,
 27,1,0,0,
 28,1,0,0,
 31,1,0,0,
 32,1,0,0,
 33,1,0,0,
 34,1,0,0,
 35,1,0,0,
 36,1,0,0,
 37,1,0,0,
 39,1,0,0,
 40,1,0,0,
 41,1,0,0,
 42,1,0,0,
 43,1,0,0,
 44,1,0,0,
 45,1,0,0,
 46,1,0,0,
 47,1,0,0,
 48,1,0,0,
 49,1,0,0,
 50,1,0,0,
 51,1,0,0,
 52,1,0,0,
 53,1,0,0,
 54,1,0,0,
 55,1,0,0,
 56,1,0,0,
 57,1,0,0,
 58,1,0,0,
 59,1,0,0,
 60,1,0,0,
 61,1,0,0,
 62,1,0,0,
 63,1,0,0,
 64,1,0,0,
 66,1,0,0,
 67,1,0,0,
 68,1,0,0,
 69,1,0,0,

PROP

1,1,0.0600000,0.0000000,0.0000034,
 2,1,0.0450000,0.0003375,0.0000023,
 3,1,0.0525000,0.0005359,0.0000029,

MATL

1, 2.0E+0009, 2.0E+0008, 2.5E+0003,

FIME

BEX1

ACEB

1, 92,1,-1,

FIME

FIME

EXEMPLO 1
ADMILSON
TERREO
KBFKGFH
P01

9,
8,
P02 16,
19,
P03 28,
27,
P04 40,
39,
P05 48,
50,
P06 52,
60,
P07 68,
69,
P08 46,
47,
P09 59,
58,
P10 7,
6,
P11 15,
14,
P12 67,
66,
P13 25,
24,
P14 37,
36,
35,
P15 45,
44,
P16 57,
56,
P17 4,
3,
P18 11,
12,
18,
P19 23,
22,

P20 64,
63,
P21 34,
33,
P22 43,
42,
P23 55,
54,
P24 2,
1,
P25 10,
17,
P26 21,
20,
P27 32,
31,
P28 41,
49,
P29 51,
53,
P30 62,
61,
FIM

relatório 7.17 - Programa GPLUS
arquivo de reações

7.8 - PROGRAMA LPLUS

Este programa tem a finalidade de gerar a geometria das lajes a partir de dados fornecidos pelo Program GPLUS.

O exemplo apresentado refere-se ao pavimento do item anterior. As geometrias da totalidade das lajes são apresentadas no relatório final de processamento.

Note-se que o número total de lajes existentes no relatório de saída apresentado não coincide com o número total de lajes do pavimento. Este programa encontra-se em desenvolvimento. Deve haver uma interação aplicativo/usuário a fim de que poços de elevador, vazios, etc. possam ser considerados corretamente. O mesmo ocorre na determinação das condições de vinculação das lajes, carregamentos, espessura e cobrimento da armadura.

A seguir, apresentam-se a tela proporcionada pelo programa, tela 7.13, e o relatório final de processamento, relatório 7.18 . Sua formatação obedece a [18].

PROJETO GRELHA

PROGRAMA LPLUS

ARQUIVO DE ENTRADA - GEX1.LPL

ARQUIVO DE SAIDA - LGEX1.DAT

FIM DO PROCESSAMENTO !

tela 7.13 - Programa LPLUS

EXEMPLO 1
 ADMILSON
 TERRED
 1.8E+03, 5.0E+04,
 L 1
 4.00, 3.00,
 47, 48,
 53,
 10,
 1,
 L 2
 3.00, 3.00,
 53,
 60, 61,
 11,
 2, 3,
 L 3
 3.00, 3.00,
 60, 61,
 70, 71,
 12,
 4,
 L 4
 3.00, 3.00,
 70, 71,
 76, 77,
 13,
 5,
 L 5
 4.00, 3.00,
 76, 77,
 83, 84,
 14,
 6, 7, 8,
 L 6
 3.00, 3.00,
 83, 84,
 91, 92,
 15,
 9,
 L 7
 4.00, 3.00,
 45, 46,
 51, 52,
 21,
 10,
 L 8
 3.00, 3.00,
 51, 52,
 58, 59,
 22,
 11,
 L 9
 3.00, 1.45,
 59,
 69,
 16, 17,
 12,
 L10
 7.00, 2.00,
 68, 69,
 82,
 18, 19,

13, 14,
 L11
 3.00, 2.00,
 82,
 89, 90,
 20,
 15,
 L12
 1.50, 1.55,
 58,
 62,
 23,
 16,
 L13
 1.50, 1.55,
 62,
 67, 68,
 24,
 17,
 L14
 3.00, 3.50,
 66, 67,
 74, 75,
 29,
 18,
 L15
 4.00, 3.50,
 74, 75,
 80, 81,
 30,
 19,
 L16
 3.00, 3.50,
 80, 81,
 87, 88,
 31,
 20,
 L17
 3.50, 2.00,
 44,
 50,
 25, 26,
 21,
 L18
 3.00, 2.00,
 50,
 57,
 27, 28,
 22,
 L19
 3.00, 6.00,
 54, 55, 56, 57,
 63, 64, 65, 66,
 35,
 23, 24,
 L20
 3.50, 4.00,
 41, 42, 43,
 49,
 32,
 25,
 L21
 3.50, 4.00,

49,
 54, 55, 56,
 33, 34,
 26, 27, 28,
 L22
 3.00, 3.50,
 63, 64, 65,
 72, 73,
 36,
 29,
 L23
 4.00, 3.50,
 72, 73,
 78, 79,
 37, 38, 39,
 30,
 L24
 3.00, 3.50,
 78, 79,
 85, 86,
 40,
 31,
 FIM

relatório 7.18 - Programa LPLUS
 geometria das lajes

7.9 - PROGRAMA PPLUS

Este programa tem a finalidade de gerar dados de geometria para edifícios de concreto armado. O modelo de cálculo adotado é o pórtico espacial, com resolução através de análise matricial.

A geometria do edifício é gerada a partir de dados fornecidos pelo Programa GPLUS, ao nível dos pavimentos, e de um arquivo de dados, montado pelo usuário, responsável pela concatenação dos pavimentos do edifício.

Apresenta-se um exemplo em que é gerada a geometria de um edifício, cujo esquema geral é apresentado na fig. 7.6. O edifício constitui-se de um pavimento térreo, três pavimentos tipo, uma cobertura e a cobertura da casa de máquinas. As dimensões máximas externas em planta estão indicadas na figura. Os pés-direitos podem ser definidos a partir das cotas dos pavimentos, também indicadas na fig. 7.6.

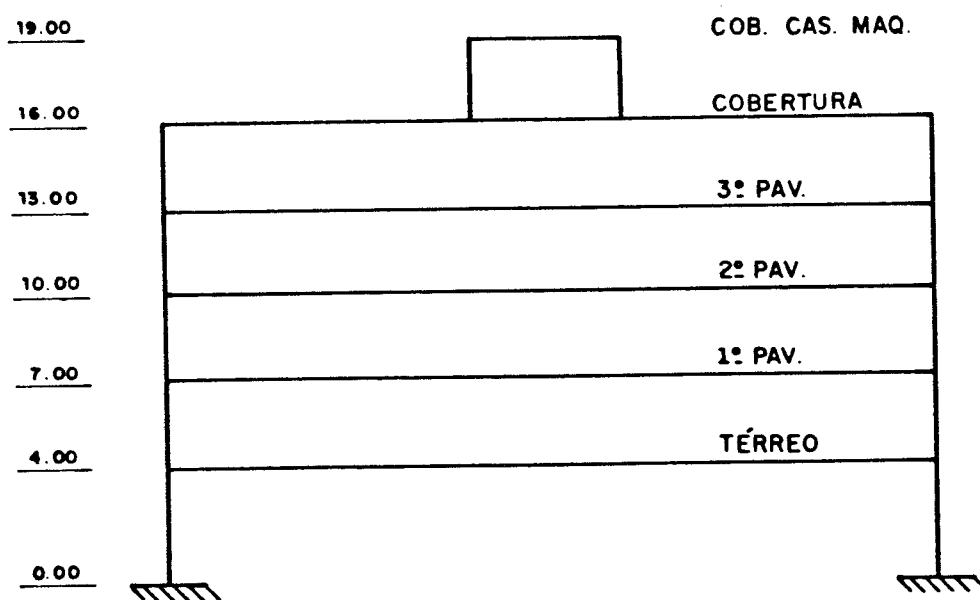
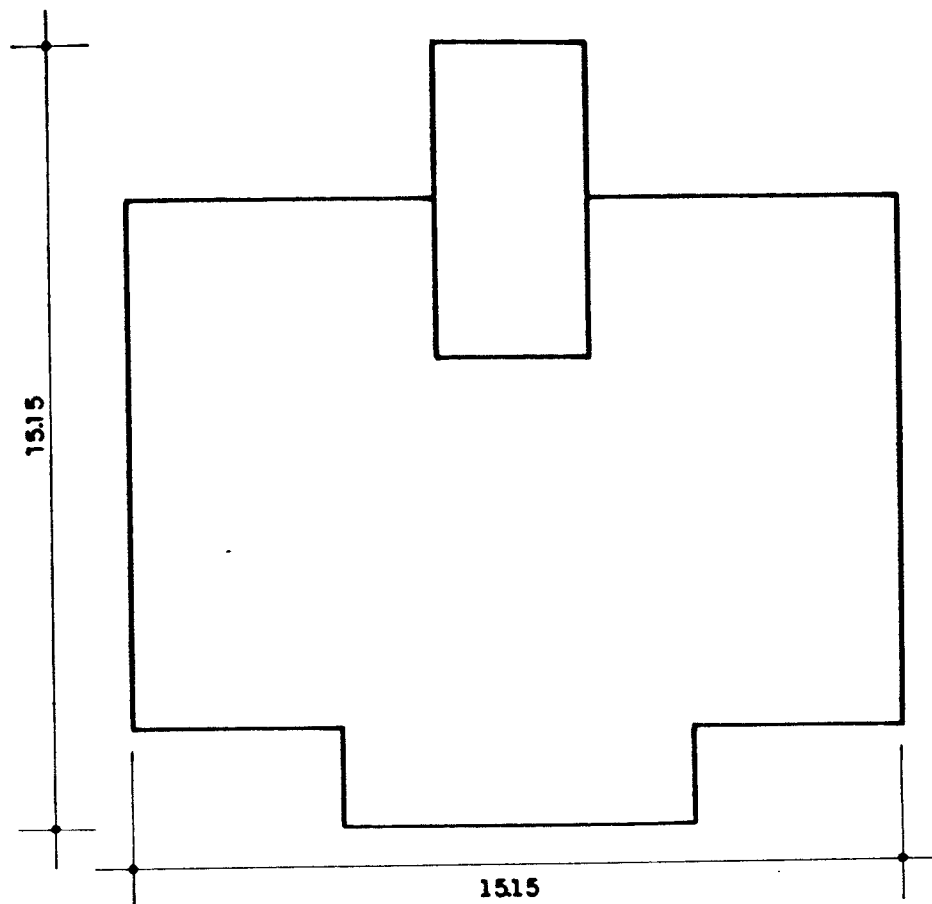


fig. 7.6 - Esquema geral do edifício

A seqüência de figuras 7.7 a seguir representa as formas dos pavimentos do edifício, a saber :

pavimento térreo - fig. 7.7a

pavimento tipo - fig. 7.7b

cobertura - fig. 7.7c

cobertura da casa de máquinas - fig. 7.7d

Os dados referentes às seções transversais e às dimensões em planta estão indicados na forma relativa a cada pavimento.

O edifício possui vinte pilares, com uma única cota de arrasamento para as fundações. Apenas os pilares P01, P02, P04, P05, P07 e P08 elevam-se até a cobertura da casa de máquinas. Os demais chegam até o nível da cobertura. A partir do terceiro pavimento tipo, vários pilares têm as dimensões de suas respectivas seções transversais alteradas. Este procedimento permite demonstrar a possibilidade de geração de "offsets" em barras de pilar, proporcionada pelo Programa PPLUS .

A numeração dos elementos viga é independente em relação a cada pavimento que participa da estrutura do edifício, podendo haver elementos viga com mesma definição em pavimentos diferentes. Sua definição determina numeração ímpar para as vigas cujo eixo tem a direção do eixo x e numeração par para as de eixo com direção y.

Não há referência às lajes dos pavimentos, já que neste exemplo apenas a geração da geometria do pórtico espacial para a representação da estrutura do edifício foi objeto de análise.

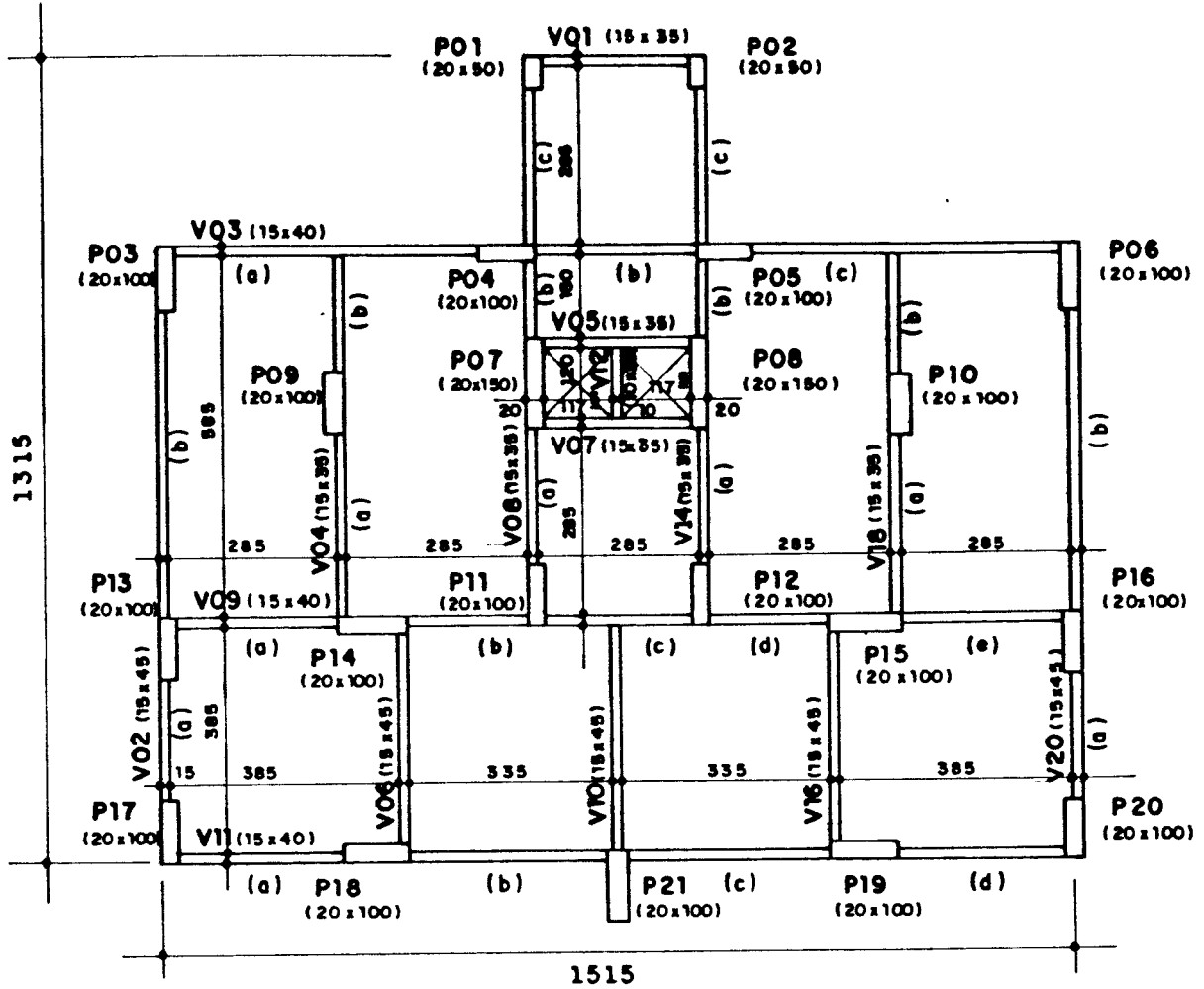


fig. 7.7a - Forma do Pavimento Térreo

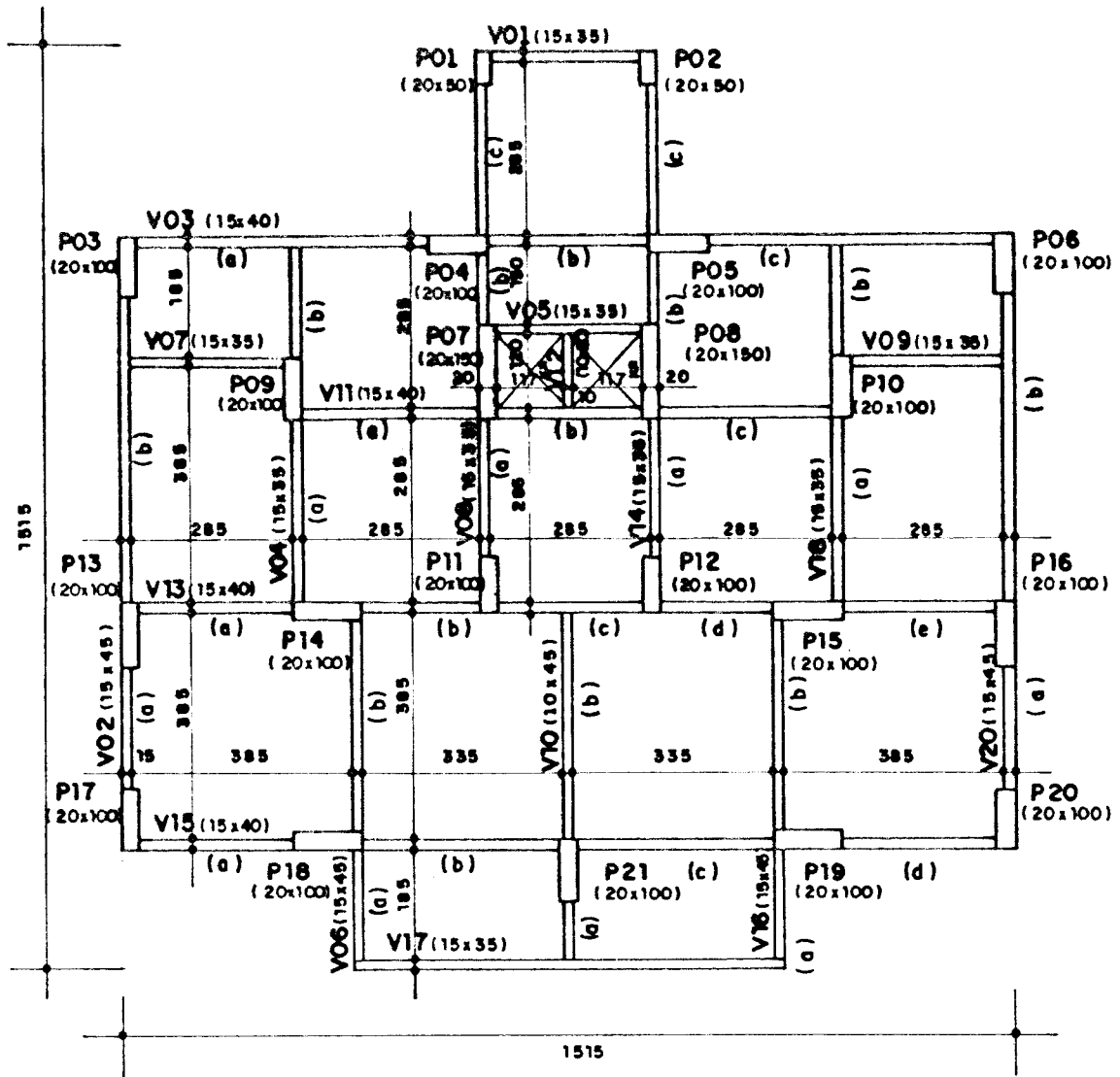


fig. 7.7b - Forma do Pavimento Tipo

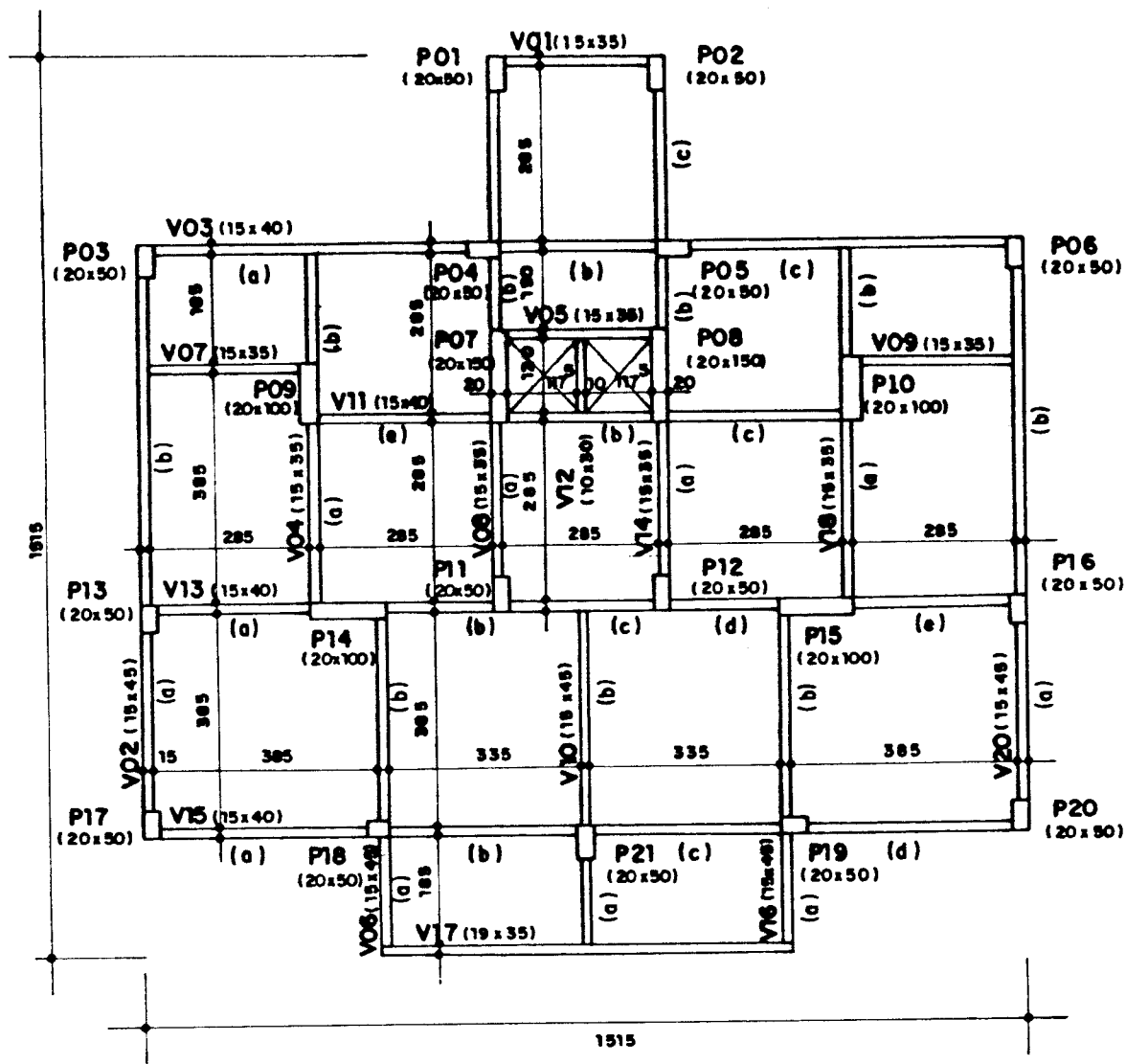


fig. 7.7c - Forma da Cobertura

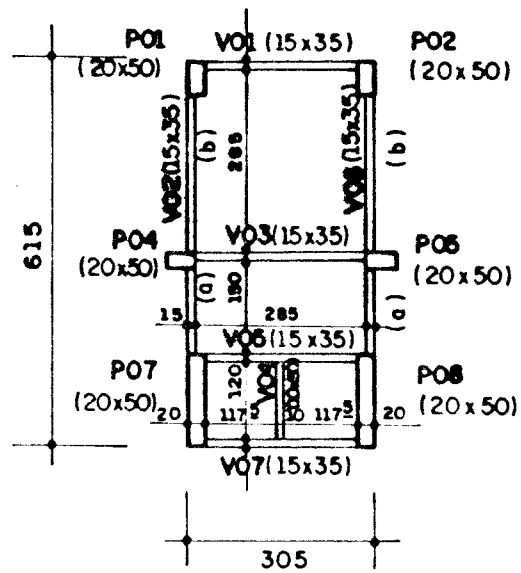


fig. 7.7d - Forma da Cobertura Casa de Máquinas

Como observado no Capítulo VI, Geração da Estrutura Tridimensional do Edifício, deve-se, na discretização dos elementos viga e pilar da grelha que representa o pavimento, definirem-se os elementos que participam do sistema de contraventamento.

A seqüência de figuras 7.8 seguir representa a definição da estrutura de contraventamento através da escolha dos elementos participantes ao nível dos pavimentos. Nas figuras, as barras com traço contínuo são aquelas que participam do sistema de contraventamento. As com traço interrompido são as barras excluídas.

Os critérios adotados para a escolha dos elementos são relativos aos aspectos estáticos da participação destes na estrutura, e didáticos, à medida que deixam claro as potencialidades do conjunto na geração de dados para a definição geométrica de estruturas.

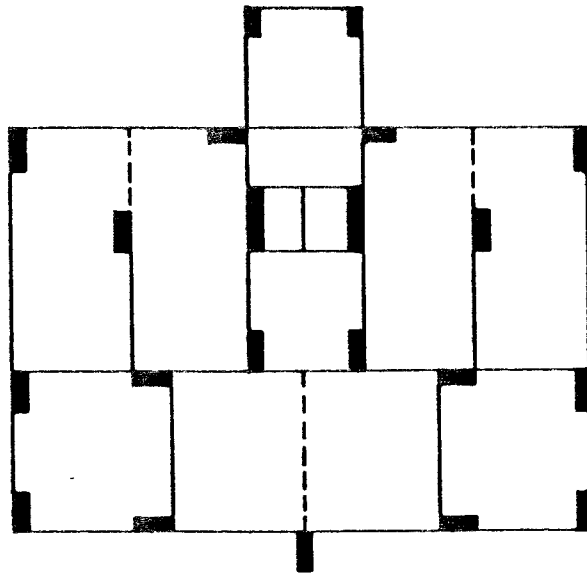


fig. 7.8a - Pavimento Térreo
definição do sistema de contraventamento

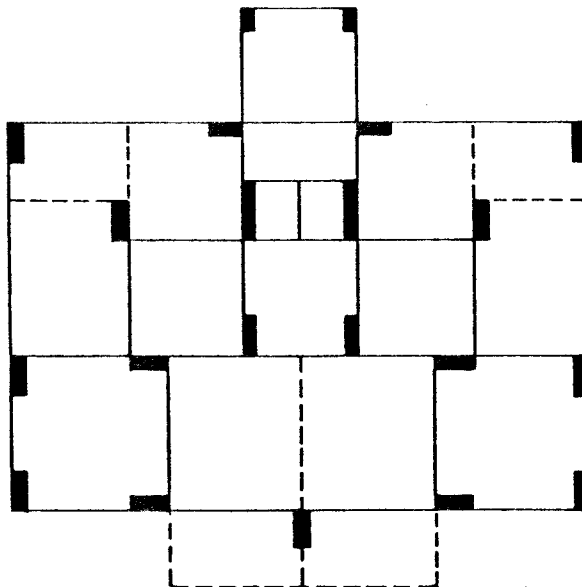


fig. 7.8b - Pavimento Tipo
definição do sistema de contraventamento

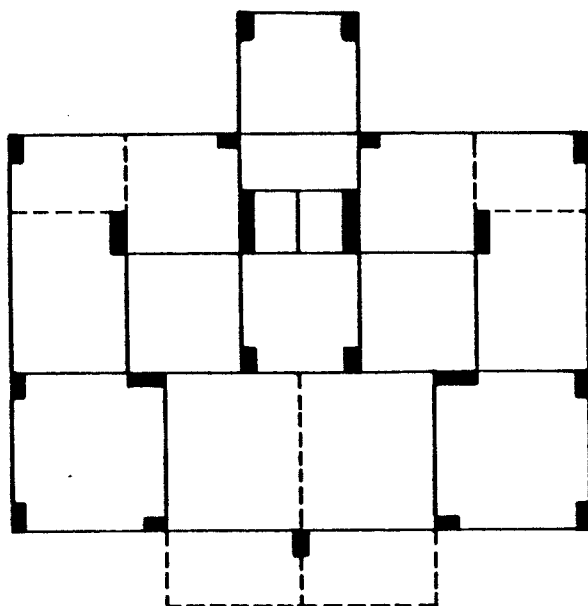


fig. 7.8c - Cobertura
definição do sistema de contraventamento

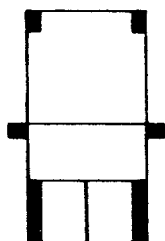


fig. 7.8d - Cobertura Casa de Máquinas
definição do sistema de contraventamento

Determinados todos os dados referentes aos pavimentos e os respectivos arquivos processados pelo Programa GPLUS, tem início a montagem do arquivo responsável pela concatenação dos pavimentos, dando forma à estrutura do edifício.

São fornecidos, neste arquivo, os dados relativos à posição e ao número de repetições dos pavimentos, dados dos pilares, "nó-mestre", etc. .

Após a leitura deste arquivo e dos arquivos não formatados gerados pelo Programa GPLUS, ocorre o processamento de dados, ao nível da memória do micro-computador, em que os elementos são redefinidos conforme a estrutura de contraventamento determinada.

As seqüências de figuras 7.9 e 7.10 a seguir representam os modelos obtidos a partir da redefinição dos elementos, e a estrutura depois da geração automática dos "offsets" para as barras de viga, respectivamente. Note-se que os pilares, antes da geração dos "offsets", estão representados apenas por um nó, cuja coordenada encontra-se definida no arquivo de concatenação dos pavimentos, já observada a unificação dos sistemas de coordenadas. Após a geração dos "offsets", os pilares são modelados através de nós com dimensão, ou seja, pelos chamados "trechos rígidos em barras" .

A geração da geometria da estrutura do edifício tem início na definição de seus pavimentos. Apresentam-se, a seguir, para maior clareza do exemplo, a tela proporcionada pelo Programa GPLUS, tela 7.14, e o relatório final de processamento referente à definição do pavimento térreo, relatório 7.19, um dos pavimentos presentes na estrutura do edifício em questão. Posteriormente, a geração dos dados da geometria do edifício propriamente dita.

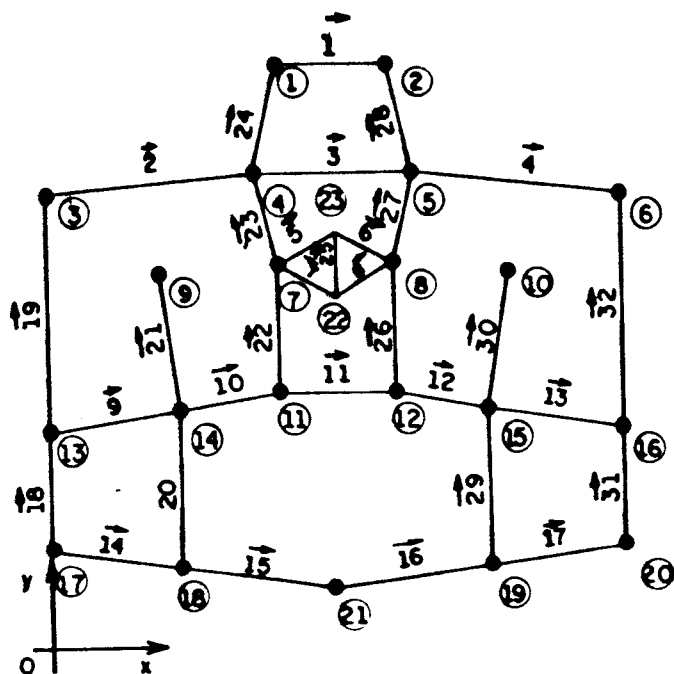


fig. 7.9a - Pavimento Térreo
 modelo do sistema de contraventamento

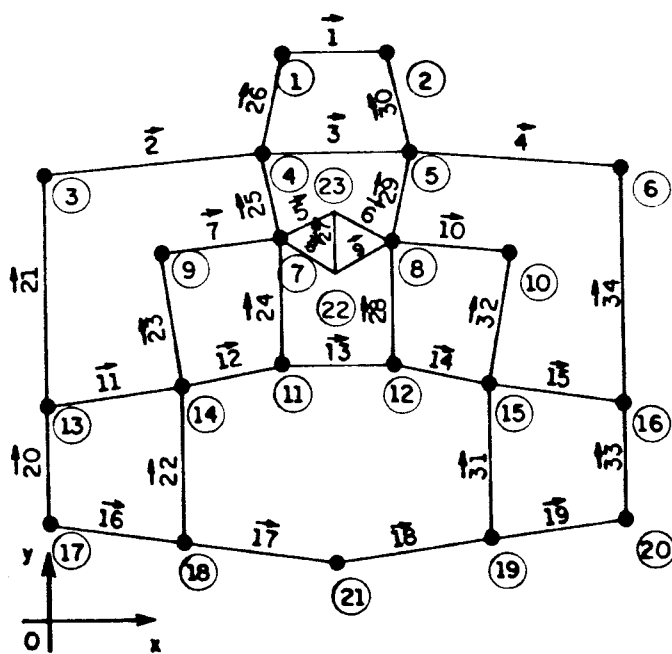


fig. 7.9b - Pavimento Tipo
 modelo do sistema de contraventamento

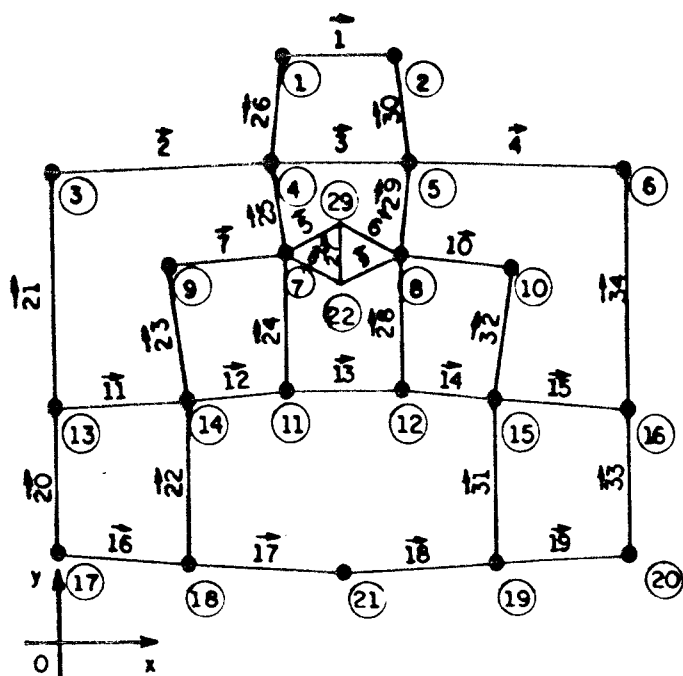


fig. 7.9c - Cobertura
 modelo do sistema de contraventamento

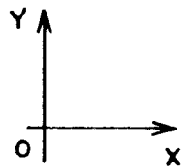
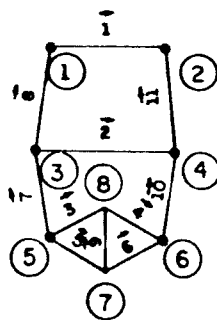


fig. 7.9d - Cobertura Casa de Máquinas
 modelo do sistema de contraventamento

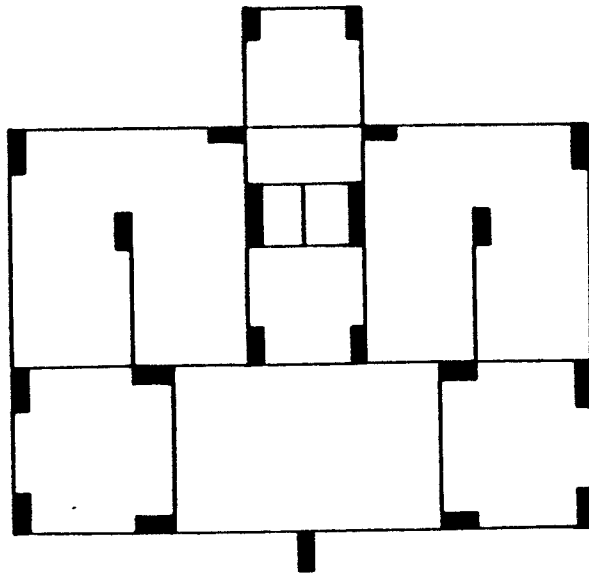


fig. 7.10a - Pavimento Térreo
estrutura após geração automática de "offsets"

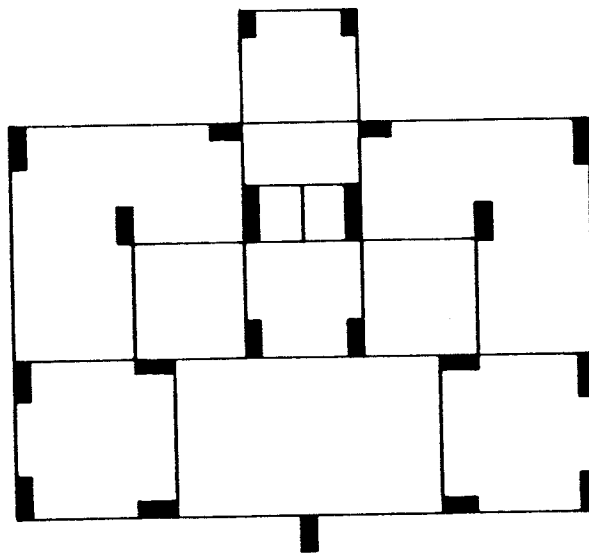


fig. 7.10b - Pavimento Tipo
estrutura após geração automática de "offsets"

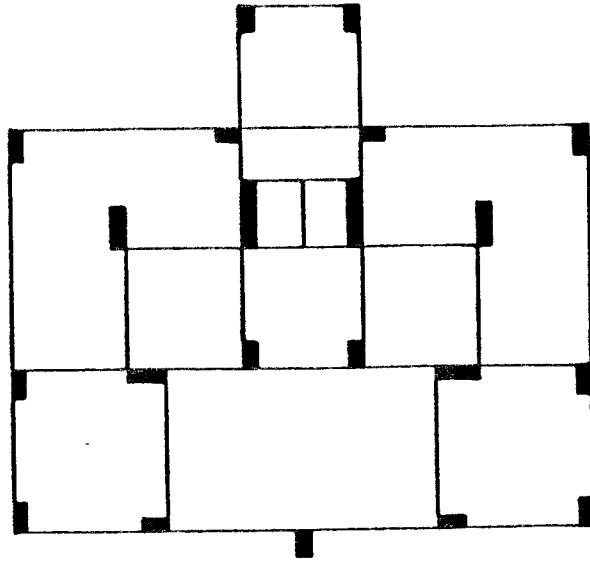


fig. 7.10c - Cobertura
estrutura após geração automática de "offsets"

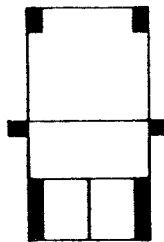


fig. 7.10d - Cobertura Casa de Máquinas
estrutura após geração automática de "offsets"

PROJETO GRELHA
PROGRAMA GPLUS

ARQUIVO DE ENTRADA - GR1V.GPL

ARQUIVO DE DADOS - GR1V.LST

ARQUIVO DE GRELHA - GGR1V.DAT

ARQUIVO DE REACOES - RGR1V.DAT

ARQUIVO DE LAJES - GR1V.LPL

ARQUIVO DE PORTICO - GR1V.UNT

OPCAO DE RENUMERACAO - (A,B,C) : A

FIM DA CONSISTENCIA DE DADOS - CONTINUA (S/N) : S

FIM DO PROCESSAMENTO !

tela 7.14 - Programa GPLUS
Pavimento Térreo

EXEMPLO 1

ADMILSON

TERREO

10.0

100.0

1

NR

0.00,0.00,0.00,

1,0.00,2.00,

2,0.00,3.00,

3,0.00,5.00,

4,0.00,6.00,

5,0.00,11.00,

6,0.00,12.00,

7,3.00,2.00,

8,3.00,6.00,

9,3.00,9.00,

10,3.00,10.00,

11,3.00,12.00,

12,4.00,2.00,

13,4.00,6.00,

14,5.00,12.00,

15,6.00,6.00,

16,6.00,7.00,

17,6.00,9.00,

18,6.00,10.50,

19,6.00,12.00,

20,6.00,14.50,

21,6.00,15.00,

22,7.50,2.00,

23,7.50,6.00,

24,7.50,9.00,

25,7.50,10.50,

26,9.00,6.00,

27,9.00,7.00,

28,9.00,9.00,

29,9.00,10.50,

30,9.00,12.00,

31,9.00,14.50,

32,9.00,15.00,

33,10.00,12.00,

34,11.00,2.00,

35,11.00,6.00,

36,12.00,2.00,

37,12.00,6.00,

38,12.00,9.00,

39,12.00,10.00,

40,12.00,12.00,

41,15.00,2.00,

42,15.00,3.00,

43,15.00,5.00,

44,15.00,6.00,

45,15.00,11.00,

46,15.00,12.00,

MT

1,10.00,10.00,10.00,

FR

1,1,0.15,0.35,0.03,0.01,

2,1,0.15,0.40,0.04,0.01,

3,1,0.15,0.45,0.04,0.01,

4,1,0.10,0.30,0.03,0.01,

VR

V01

1,21,32,1,1,1,

V03

2,6,46,2,1,1,

V05

3,18,29,1,1,1,

V07

4,17,28,1,1,1,

V09

5,4,44,2,1,1,

V11

6,1,41,2,1,1,

V02

7,1,6,3,1,1,

V04

8,8,9,1,1,1,

9,9,11,1,1,0,

V06

10,12,13,3,1,1,

V08

11,15,21,1,1,1,

V10

12,22,23,3,1,0,

V12

13,24,25,4,1,1,

V14

14,26,32,1,1,1,

V16

15,34,35,3,1,1,

V18

16,37,38,1,1,1,

17,38,40,1,1,0,

V20

18,41,46,3,1,1,

P1

P01,1,1,

20,1,

21,1,

P02,1,1,

31,1,

32,1,

P03,1,1,

5,1,

6,1,

P04,1,1,

14,1,

19,1,

P05,1,1,

30,1,

33,1,

P06,1,1,

45,1,

46,1,

P07,1,1,

17,1,

18,1,

P08,1,1,

28,1,

29,1,

P09,1,1,

9,1,

10,1,

P10,1,1,

38,1,

39,1,

P11,1,1,

15,1,

16,1,

P12,1,1,

26,1,

27,1,

P13,1,1,

3,1,

4,1,

P14,1,1,

8,1,

13,1,

P15,1,1,

35,1,

37,1,

P16,1,1,

43,1,

44,1,

P17,1,1,

1,1,

2,1,

P18,1,1,

7,1,

12,1,

P19,1,1,

34,1,

36,1,

P20,1,1,

41,1,

42,1,

P21,1,1,

22,1,

FN

relatório 7.19 - Programa GPLUS
arquivo de grelha - Pavimento Térreo

Apresentam-se, a seguir, a tela proporcionada pelo Programa PPLUS, tela 7.15, o arquivo de dados responsável pela concatenação dos pavimentos no edifício, arquivo 7.10 os relatórios finais de processamento, 7.20 e 7.21, e as representações geométricas da estrutura, figuras 7.11, geradas a partir destes relatórios.

Os relatórios apresentados são o arquivo de dados contendo a definição e as características da geometria da estrutura do edifício, relatório 7.20, e um relatório final, 7.21, resumindo toda a definição geométrica dos elementos da estrutura em termos de barras e níveis.

O relatório obedece à formatação definida em [20]. No relatório final, para os dados relativos aos pavimentos, Bar/Nv significa o número de barras utilizadas na discretização do elemento viga relativo a cada pavimento.

As figuras 7.11 representam a estrutura do edifício e são obtidas a partir do arquivo de dados gerado pelo Programa PPLUS. Mostram a estrutura do edifício sob as três vistas ortogonais e sob duas perspectivas.

PROJETO PORTICO

PROGRAMA PPLUS

ARQUIVO DE ENTRADA - PEX1.PPL

ARQUIVO DE SAIDA - PEX1.DAT

FIM DA CONSISTENCIA DE DADOS - CONTINUA (S/N) : S

FIM DO PROCESSAMENTO !

tela 7.15 - Programa PPLUS
edificio tridimensional

EXEMPLD 1

ADMILSON

1

CT

1,0.00,

2,3.00,

3,7.00,

4,10.00,

5,13.00,

6,16.00,

7,19.00,

PV

1,GR1V.VNT,2,2,1,

2,GR2V.VNT,3,5,1,

3,GR3V.VNT,6,6,1,

4,GR4V.VNT,7,7,1,

MT

1,10.00,-0.50,10.00,

2,20.00,-0.50,20.00,

PR

1,1,0.20,0.50,0.04,

2,2,0.20,0.50,0.04,

3,1,0.20,1.00,0.04,

4,1,0.20,1.50,0.04,

KP

1,100.00,7.50,10.00,

2,7.50,100.00,10.00,

P1

P01

1,6.00,14.75,1,7,1,2,2,

P02

1,9.00,14.75,1,7,1,2,2,

P03

1,0.00,11.50,1,5,1,3,2,

2,0.00,11.75,5,6,0,1,2,

P04

1,5.50,12.00,1,5,1,3,1,

2,5.75,12.00,5,7,0,1,1,

P05

1,9.50,12.00,1,5,1,3,1,

2,9.25,12.00,5,7,0,1,1,

P06

1,15.00,11.50,1,5,1,3,2,

2,15.00,11.75,5,6,0,1,2,

P07

1,6.00,9.75,1,7,1,4,2,

P08

1,9.00,9.75,1,7,1,4,2,

P09

1,3.00,9.50,1,6,1,3,2,

P10

1,12.00,9.50,1,6,1,3,2,

P11

1,6.00,6.50,1,5,1,3,2,

2,6.00,6.25,5,6,0,1,2,

P12

1,9.00,6.50,1,5,1,3,2,

2,9.00,6.25,5,6,0,1,2,

P13

1,0.00,5.50,1,5,1,3,2,

2,0.00,5.75,5,6,0,1,2,

P14

1,3.50,6.00,1,6,1,3,1,

P15

1,11.50,6.00,1,6,1,3,1,

P16

1,15.00,5.50,1,5,1,3,2,

2,15.00,5.75,5,6,0,1,2,

P17

1,0.00,2.50,1,5,1,3,2,

2,0.00,2.25,5,6,0,1,2,

P18

1,3.50,2.00,1,5,1,3,1,

2,3.75,2.00,5,6,0,1,1,

P19

1,11.50,2.00,1,5,1,3,1,

2,11.25,2.00,5,6,0,1,1,

P20

1,15.00,2.50,1,5,1,3,2,

2,15.00,2.25,5,6,0,1,2,

P21

1,7.50,1.50,1,5,1,3,2,

2,7.50,1.75,5,6,0,1,2,

KV

1,7.50,7.50,100.00,

NM

1,7.50,7.50,

FN

EXEMPLO 1 - EFEITO DO VENTO - ADMILSON											
154	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	6.000	14.750	0.000	0	0.000 0 0
2	1	1	1	1	1	1	9.000	14.750	0.000	0	0.000
3	1	1	1	1	1	1	0.000	11.500	0.000	0	0.000
4	1	1	1	1	1	1	5.500	12.000	0.000	0	0.000
5	1	1	1	1	1	1	9.500	12.000	0.000	0	0.000
6	1	1	1	1	1	1	15.000	11.500	0.000	0	0.000
7	1	1	1	1	1	1	6.000	9.750	0.000	0	0.000
8	1	1	1	1	1	1	9.000	9.750	0.000	0	0.000
9	1	1	1	1	1	1	3.000	9.500	0.000	0	0.000
10	1	1	1	1	1	1	12.000	9.500	0.000	0	0.000
11	1	1	1	1	1	1	6.000	6.500	0.000	0	0.000
12	1	1	1	1	1	1	9.000	6.500	0.000	0	0.000
13	1	1	1	1	1	1	0.000	5.500	0.000	0	0.000
14	1	1	1	1	1	1	3.500	6.000	0.000	0	0.000
15	1	1	1	1	1	1	11.500	6.000	0.000	0	0.000
16	1	1	1	1	1	1	15.000	5.500	0.000	0	0.000
17	1	1	1	1	1	1	0.000	2.500	0.000	0	0.000
18	1	1	1	1	1	1	3.500	2.000	0.000	0	0.000
19	1	1	1	1	1	1	11.500	2.000	0.000	0	0.000
20	1	1	1	1	1	1	15.000	2.500	0.000	0	0.000
21	1	1	1	1	1	1	7.500	1.500	0.000	0	0.000
22	1	1	1	1	1	1	7.500	7.500	0.000	0	0.000
23	1	1	0	0	0	1	6.000	14.750	3.000	0	0.000
24	1	1	0	0	0	1	9.000	14.750	3.000	0	0.000
25	1	1	0	0	0	1	0.000	11.500	3.000	0	0.000
26	1	1	0	0	0	1	5.500	12.000	3.000	0	0.000
27	1	1	0	0	0	1	9.500	12.000	3.000	0	0.000
28	1	1	0	0	0	1	15.000	11.500	3.000	0	0.000
29	1	1	0	0	0	1	6.000	9.750	3.000	0	0.000
30	1	1	0	0	0	1	9.000	9.750	3.000	0	0.000
31	1	1	0	0	0	1	3.000	9.500	3.000	0	0.000
32	1	1	0	0	0	1	12.000	9.500	3.000	0	0.000
33	1	1	0	0	0	1	6.000	6.500	3.000	0	0.000
34	1	1	0	0	0	1	9.000	6.500	3.000	0	0.000
35	1	1	0	0	0	1	0.000	5.500	3.000	0	0.000
36	1	1	0	0	0	1	3.500	6.000	3.000	0	0.000
37	1	1	0	0	0	1	11.500	6.000	3.000	0	0.000
38	1	1	0	0	0	1	15.000	5.500	3.000	0	0.000
39	1	1	0	0	0	1	0.000	2.500	3.000	0	0.000
40	1	1	0	0	0	1	3.500	2.000	3.000	0	0.000
41	1	1	0	0	0	1	11.500	2.000	3.000	0	0.000
42	1	1	0	0	0	1	15.000	2.500	3.000	0	0.000
43	1	1	0	0	0	1	7.500	1.500	3.000	0	0.000
44	1	1	0	0	0	1	7.500	10.500	3.000	0	0.000
45	1	1	0	0	0	1	7.500	9.000	3.000	0	0.000
46	0	0	1	1	1	0	7.500	7.500	3.000	0	0.000
47	1	1	0	0	0	1	6.000	14.750	7.000	0	0.000
48	1	1	0	0	0	1	9.000	14.750	7.000	0	0.000
49	1	1	0	0	0	1	0.000	11.500	7.000	0	0.000
50	1	1	0	0	0	1	5.500	12.000	7.000	0	0.000
51	1	1	0	0	0	1	9.500	12.000	7.000	0	0.000
52	1	1	0	0	0	1	15.000	11.500	7.000	0	0.000
53	1	1	0	0	0	1	6.000	9.750	7.000	0	0.000
54	1	1	0	0	0	1	9.000	9.750	7.000	0	0.000
55	1	1	0	0	0	1	3.000	9.500	7.000	0	0.000
56	1	1	0	0	0	1	12.000	9.500	7.000	0	0.000
57	1	1	0	0	0	1	6.000	6.500	7.000	0	0.000
58	1	1	0	0	0	1	9.000	6.500	7.000	0	0.000
59	1	1	0	0	0	1	0.000	5.500	7.000	0	0.000
60	1	1	0	0	0	1	3.500	6.000	7.000	0	0.000
61	1	1	0	0	0	1	11.500	6.000	7.000	0	0.000

relatório 7.20 - Programa PPLUS
pórtico espacial

62	1 1 0 0 0 1	15.000	5.500	7.000	0	0.000
63	1 1 0 0 0 1	0.000	2.500	7.000	0	0.000
64	1 1 0 0 0 1	3.500	2.000	7.000	0	0.000
65	1 1 0 0 0 1	11.500	2.000	7.000	0	0.000
66	1 1 0 0 0 1	15.000	2.500	7.000	0	0.000
67	1 1 0 0 0 1	7.500	1.500	7.000	0	0.000
68	1 1 0 0 0 1	7.500	10.500	7.000	0	0.000
69	1 1 0 0 0 1	7.500	9.000	7.000	0	0.000
70	0 0 1 1 1 0	7.500	7.500	7.000	0	0.000
71	1 1 0 0 0 1	6.000	14.750	10.000	0	0.000
72	1 1 0 0 0 1	9.000	14.750	10.000	0	0.000
73	1 1 0 0 0 1	0.000	11.500	10.000	0	0.000
74	1 1 0 0 0 1	5.500	12.000	10.000	0	0.000
75	1 1 0 0 0 1	9.500	12.000	10.000	0	0.000
76	1 1 0 0 0 1	15.000	11.500	10.000	0	0.000
77	1 1 0 0 0 1	6.000	9.750	10.000	0	0.000
78	1 1 0 0 0 1	9.000	9.750	10.000	0	0.000
79	1 1 0 0 0 1	3.000	9.500	10.000	0	0.000
80	1 1 0 0 0 1	12.000	9.500	10.000	0	0.000
81	1 1 0 0 0 1	6.000	6.500	10.000	0	0.000
82	1 1 0 0 0 1	9.000	6.500	10.000	0	0.000
83	1 1 0 0 0 1	0.000	5.500	10.000	0	0.000
84	1 1 0 0 0 1	3.500	6.000	10.000	0	0.000
85	1 1 0 0 0 1	11.500	6.000	10.000	0	0.000
86	1 1 0 0 0 1	15.000	5.500	10.000	0	0.000
87	1 1 0 0 0 1	0.000	2.500	10.000	0	0.000
88	1 1 0 0 0 1	3.500	2.000	10.000	0	0.000
89	1 1 0 0 0 1	11.500	2.000	10.000	0	0.000
90	1 1 0 0 0 1	15.000	2.500	10.000	0	0.000
91	1 1 0 0 0 1	7.500	1.500	10.000	0	0.000
92	1 1 0 0 0 1	7.500	10.500	10.000	0	0.000
93	1 1 0 0 0 1	7.500	9.000	10.000	0	0.000
94	0 0 1 1 1 0	7.500	7.500	10.000	0	0.000
95	1 1 0 0 0 1	6.000	14.750	13.000	0	0.000
96	1 1 0 0 0 1	9.000	14.750	13.000	0	0.000
97	1 1 0 0 0 1	0.000	11.500	13.000	0	0.000
98	1 1 0 0 0 1	5.500	12.000	13.000	0	0.000
99	1 1 0 0 0 1	9.500	12.000	13.000	0	0.000
100	1 1 0 0 0 1	15.000	11.500	13.000	0	0.000
101	1 1 0 0 0 1	6.000	9.750	13.000	0	0.000
102	1 1 0 0 0 1	9.000	9.750	13.000	0	0.000
103	1 1 0 0 0 1	3.000	9.500	13.000	0	0.000
104	1 1 0 0 0 1	12.000	9.500	13.000	0	0.000
105	1 1 0 0 0 1	6.000	6.500	13.000	0	0.000
106	1 1 0 0 0 1	9.000	6.500	13.000	0	0.000
107	1 1 0 0 0 1	0.000	5.500	13.000	0	0.000
108	1 1 0 0 0 1	3.500	6.000	13.000	0	0.000
109	1 1 0 0 0 1	11.500	6.000	13.000	0	0.000
110	1 1 0 0 0 1	15.000	5.500	13.000	0	0.000
111	1 1 0 0 0 1	6.000	2.500	13.000	0	0.000
112	1 1 0 0 0 1	3.500	2.000	13.000	0	0.000
113	1 1 0 0 0 1	11.500	2.000	13.000	0	0.000
114	1 1 0 0 0 1	15.000	2.500	13.000	0	0.000
115	1 1 0 0 0 1	7.500	1.500	13.000	0	0.000
116	1 1 0 0 0 1	7.500	10.500	13.000	0	0.000
117	1 1 0 0 0 1	7.500	9.000	13.000	0	0.000
118	0 0 1 1 1 0	7.500	7.500	13.000	0	0.000
119	1 1 0 0 0 1	6.000	14.750	16.000	0	0.000
120	1 1 0 0 0 1	9.000	14.750	16.000	0	0.000
121	1 1 0 0 0 1	0.000	11.750	16.000	0	0.000
122	1 1 0 0 0 1	5.750	12.000	16.000	0	0.000
123	1 1 0 0 0 1	9.250	12.000	16.000	0	0.000
124	1 1 0 0 0 1	15.000	11.750	16.000	0	0.000

125	1	1	0	0	0	1	6.000	9.750	16.000	0	0.000
126	1	1	0	0	0	1	9.000	9.750	16.000	0	0.000
127	1	1	0	0	0	1	3.000	9.500	16.000	0	0.000
128	1	1	0	0	0	1	12.000	9.500	16.000	0	0.000
129	1	1	0	0	0	1	6.000	6.250	16.000	0	0.000
130	1	1	0	0	0	1	9.000	6.250	16.000	0	0.000
131	1	1	0	0	0	1	0.000	5.750	16.000	0	0.000
132	1	1	0	0	0	1	3.500	6.000	16.000	0	0.000
133	1	1	0	0	0	1	11.500	6.000	16.000	0	0.000
134	1	1	0	0	0	1	15.000	5.750	16.000	0	0.000
135	1	1	0	0	0	1	0.000	2.250	16.000	0	0.000
136	1	1	0	0	0	1	3.750	2.000	16.000	0	0.000
137	1	1	0	0	0	1	11.250	2.000	16.000	0	0.000
138	1	1	0	0	0	1	15.000	2.250	16.000	0	0.000
139	1	1	0	0	0	1	7.500	1.750	16.000	0	0.000
140	1	1	0	0	0	1	7.500	10.500	16.000	0	0.000
141	1	1	0	0	0	1	7.500	9.000	16.000	0	0.000
142	0	0	1	1	1	0	7.500	7.500	16.000	0	0.000
143	1	1	0	0	0	1	6.000	14.750	19.000	0	0.000
144	1	1	0	0	0	1	9.000	14.750	19.000	0	0.000
145	1	1	0	0	0	1	5.750	12.000	19.000	0	0.000
146	1	1	0	0	0	1	9.250	12.000	19.000	0	0.000
147	1	1	0	0	0	1	6.000	9.750	19.000	0	0.000
148	1	1	0	0	0	1	9.000	9.750	19.000	0	0.000
149	1	1	0	0	0	1	7.500	10.500	19.000	0	0.000
150	1	1	0	0	0	1	7.500	9.000	19.000	0	0.000
151	0	0	1	1	1	0	7.500	7.500	19.000	0	0.000
152	1	1	1	1	1	1	100.000	7.500	10.000	0	0.000
153	1	1	1	1	1	1	7.500	100.000	10.000	0	0.000
154	1	1	1	1	1	1	7.500	7.500	100.000	0	0.000
2	290	8	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1	1.000E+01	-5.000E-01	1.000E+01	1.000E+01	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
2	2.000E+01	-5.000E-01	2.000E+01	2.000E+01	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
1	1.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	9.981E-04	3.333E-04	2.083E-03	0	0	0	0	0
2	1.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	9.981E-04	3.333E-04	2.083E-03	0	0	0	0	0
3	2.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	2.331E-03	6.667E-04	1.667E-02	0	0	0	0	0
4	3.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	3.664E-03	1.000E-03	5.625E-02	0	0	0	0	0
5	5.250E-02	0.000E+00	0.000E+00	2.877E-04	9.844E-05	5.359E-04	0	0	0	0	0
6	6.000E-02	0.000E+00	0.000E+00	3.439E-04	1.125E-04	8.000E-04	0	0	0	0	0
7	6.750E-02	0.000E+00	0.000E+00	4.000E-04	1.266E-04	1.139E-03	0	0	0	0	0
8	3.000E-02	0.000E+00	0.000E+00	7.902E-05	2.500E-05	2.250E-04	0	0	0	0	0
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1	1	23	153	2	2	0	0	0	0	22	46
2	23	47	153	2	2	0	0	0	0	46	70
3	47	71	153	2	2	0	0	0	0	70	94
4	71	95	153	2	2	0	0	0	0	94	118
5	95	119	153	2	2	0	0	0	0	118	142
6	119	143	153	2	2	0	0	0	0	142	151
7	2	24	153	2	2	0	0	0	0	22	46
8	24	48	153	2	2	0	0	0	0	46	70
9	48	72	153	2	2	0	0	0	0	70	94
10	72	96	153	2	2	0	0	0	0	94	118
11	96	120	153	2	2	0	0	0	0	118	142
12	120	144	153	2	2	0	0	0	0	142	151
13	3	25	153	1	3	0	0	0	0	22	46
14	25	49	153	1	3	0	0	0	0	46	70
15	49	73	153	1	3	0	0	0	0	70	94
16	73	97	153	1	3	0	0	0	0	94	118
17	97	121	153	1	1	0	0	0	0	118	142
0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	4	26	152	1	3	0	0	0	0	22	46

19	26	50	152	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
20	50	74	152	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
21	74	98	152	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
22	98	122	152	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.250	0.000	0.000			0.000	0.000		0.000				
23	122	145	152	1	1	0	0	0	0	0	0	142	151
24	5	27	152	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
25	27	51	152	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
26	51	75	152	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
27	75	99	152	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
28	99	123	152	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	-0.250	0.000	0.000			0.000	0.000		0.000				
29	123	146	152	1	1	0	0	0	0	0	0	142	151
30	6	28	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
31	28	52	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
32	52	76	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
33	76	100	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
34	100	124	153	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.000	0.250	0.000			0.000	0.000		0.000				
35	7	29	153	1	4	0	0	0	0	0	0	22	46
36	29	53	153	1	4	0	0	0	0	0	0	46	70
37	53	77	153	1	4	0	0	0	0	0	0	70	94
38	77	101	153	1	4	0	0	0	0	0	0	94	118
39	101	125	153	1	4	0	0	0	0	0	0	118	142
40	125	147	153	1	4	0	0	0	0	0	0	142	151
41	8	30	153	1	4	0	0	0	0	0	0	22	46
42	30	54	153	1	4	0	0	0	0	0	0	46	70
43	54	78	153	1	4	0	0	0	0	0	0	70	94
44	78	102	153	1	4	0	0	0	0	0	0	94	118
45	102	126	153	1	4	0	0	0	0	0	0	118	142
46	126	148	153	1	4	0	0	0	0	0	0	142	151
47	9	31	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
48	31	55	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
49	55	79	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
50	79	103	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
51	103	127	153	1	3	0	0	0	0	0	0	118	142
52	10	32	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
53	32	56	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
54	56	80	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
55	80	104	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
56	104	128	153	1	3	0	0	0	0	0	0	118	142
57	11	33	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
58	33	57	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
59	57	81	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
60	81	105	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
61	105	129	153	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.000	-0.250	0.000			0.000	0.000		0.000				
62	12	34	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
63	34	58	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
64	58	82	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
65	82	106	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
66	106	130	153	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.000	-0.250	0.000			0.000	0.000		0.000				
67	13	35	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
68	35	59	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
69	59	83	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
70	83	107	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
71	107	131	153	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.000	0.250	0.000			0.000	0.000		0.000				
72	14	36	152	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
73	36	60	152	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
74	60	84	152	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
75	84	108	152	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118

76	108	132	152	1	3	0	0	0	0	0	0	118	142
77	15	37	152	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
78	37	61	152	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
79	61	85	152	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
80	85	109	152	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
81	109	133	152	1	3	0	0	0	0	0	0	118	142
82	16	38	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
83	38	62	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
84	62	86	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
85	86	110	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
86	110	134	153	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.000	0.250	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
87	17	39	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
88	39	63	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
89	63	87	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
90	87	111	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
91	111	135	153	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.000	-0.250	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
92	18	40	152	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
93	40	64	152	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
94	64	88	152	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
95	88	112	152	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
96	112	136	152	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.250	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
97	19	41	152	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
98	41	65	152	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
99	65	89	152	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
100	89	113	152	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
101	113	137	152	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	-0.250	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
102	20	42	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
103	42	66	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
104	66	90	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
105	90	114	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
106	114	138	153	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.000	-0.250	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
107	21	43	153	1	3	0	0	0	0	0	0	22	46
108	43	67	153	1	3	0	0	0	0	0	0	46	70
109	67	91	153	1	3	0	0	0	0	0	0	70	94
110	91	115	153	1	3	0	0	0	0	0	0	94	118
111	115	139	153	1	1	0	0	0	0	0	1	118	142
	0.000	0.250	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
112	23	24	154	1	5	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.000	0.250	0.000			0.000	0.000	0.250	0.000	0.000			
113	25	26	154	1	6	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.000	0.500	0.000			-0.500	0.000	0.000	0.000	0.000			
114	26	27	154	1	6	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.500	0.000	0.000			-0.500	0.000	0.000	0.000	0.000			
115	27	28	154	1	6	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.500	0.000	0.000			0.000	0.000	0.500	0.000	0.000			
116	29	44	154	1	5	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.000	0.750	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
117	44	30	154	1	5	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.750	0.000	0.000			
118	29	45	154	1	5	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.000	-0.750	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
119	45	30	154	1	5	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.000	0.000	0.000			0.000	-0.750	0.000	0.000	0.000			
120	35	36	154	1	6	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.000	0.500	0.000			-0.500	0.000	0.000	0.000	0.000			
121	36	33	154	1	6	0	0	0	0	0	1	46	46
	0.500	0.000	0.000			0.000	-0.500	0.000	0.000	0.000			
122	33	34	154	1	6	0	0	0	0	0	1	46	46

0.000	-0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000		
123 34	37 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	-0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000		
124 37	38 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000		
125 39	40 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	-0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000		
126 40	43 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000		
127 43	41 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000		
128 41	42 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000		
129 39	35 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000		
130 35	25 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000		
131 36	31 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
-0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000		
132 40	36 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.500	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000		
133 33	29 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000		
134 29	26 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.750	0.000	0.500	0.000	0.000		
135 26	23 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000		
136 45	44 154	1 8	0 0 0 0	0 0 0	0	46	46
137 34	30 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000		
138 30	27 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.750	0.000	-0.500	0.000	0.000		
139 27	24 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
-0.500	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000		
140 41	37 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
-0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000		
141 37	32 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000		
142 42	38 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000		
143 38	28 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	46	46
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000		
144 47	48 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70
0.000	0.250	0.000	0.000	0.250	0.000		
145 71	72 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94
0.000	0.250	0.000	0.000	0.250	0.000		
146 95	96 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118
0.000	0.250	0.000	0.000	0.250	0.000		
147 49	50 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70
0.000	0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000		
148 50	51 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70
0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000		
149 51	52 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70
0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000		
150 73	74 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94
0.000	0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000		
151 74	75 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94
0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000		
152 75	76 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94
0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000		
153 97	98 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118
0.000	0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000		
154 98	99 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118

0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000	0.000		
155 99	100 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	0 1	118 118		
0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000			
156 53	68 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000			
157 68	54 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.000			
158 77	92 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000			
159 92	78 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.000			
160 101	116 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1 118 118			
0.000	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000			
161 116	102 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1 118 118			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.000			
162 55	53 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	-0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000			
163 53	69 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	-0.750	0.000	0.000	0.000	0.000			
164 69	54 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	0.000	0.000	0.000	-0.750	0.000			
165 54	56 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	-0.750	0.000	0.000	-0.500	0.000			
166 79	77 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	-0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000			
167 77	93 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	-0.750	0.000	0.000	0.000	0.000			
168 93	78 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	0.000	0.000	0.000	-0.750	0.000			
169 78	80 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	-0.750	0.000	0.000	-0.500	0.000			
170 103	101 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 118 118			
0.000	-0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000			
171 101	117 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 118 118			
0.000	-0.750	0.000	0.000	0.000	0.000			
172 117	102 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 118 118			
0.000	0.000	0.000	0.000	-0.750	0.000			
173 102	104 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 118 118			
0.000	-0.750	0.000	0.000	-0.500	0.000			
174 59	60 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000			
175 60	57 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000			
176 57	58 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	-0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000			
177 58	61 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.000	-0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000			
178 61	62 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 70 70			
0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000			
179 83	84 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000			
180 84	81 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000			
181 81	82 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	-0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000			
182 82	85 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.000	-0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000			
183 85	86 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 94 94			
0.500	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000			
184 107	108 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 118 118			
0.000	0.500	0.000	-0.500	0.000	0.000			
185 108	105 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1 118 118			
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000			

186	105	106	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.000		-0.500		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
187	106	109	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.000		-0.500		0.000		-0.500		0.000		0.000		0.000	
188	109	110	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.500		0.000		0.000		0.000		0.500		0.000		0.000	
189	63	64	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.000		-0.500		0.000		-0.500		0.000		0.000		0.000	
190	64	67	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.500		0.000		0.000		0.000		0.500		0.000		0.000	
191	67	65	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.000		0.500		0.000		-0.500		0.000		0.000		0.000	
192	65	66	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.500		0.000		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
193	87	88	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	0.000		-0.500		0.000		-0.500		0.000		0.000		0.000	
194	88	91	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	0.500		0.000		0.000		0.000		0.500		0.000		0.000	
195	91	89	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	0.000		0.500		0.000		-0.500		0.000		0.000		0.000	
196	89	90	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	0.500		0.000		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
197	111	112	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.000		-0.500		0.000		-0.500		0.000		0.000		0.000	
198	112	115	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.500		0.000		0.000		0.000		0.500		0.000		0.000	
199	115	113	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.000		0.500		0.000		-0.500		0.000		0.000		0.000	
200	113	114	154	1	6	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.500		0.000		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
201	63	59	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.000		0.500		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
202	59	49	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.000		0.500		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
203	87	83	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	0.000		0.500		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
204	83	73	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	0.000		0.500		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
205	111	107	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.000		0.500		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
206	107	97	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.000		0.500		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
207	60	55	154	1	5	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	-0.500		0.000		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
208	84	79	154	1	5	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	-0.500		0.000		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
209	108	103	154	1	5	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	-0.500		0.000		0.000		0.000		-0.500		0.000		0.000	
210	64	60	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.500		0.000		0.000		0.500		0.000		0.000		0.000	
211	88	84	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	0.500		0.000		0.000		0.500		0.000		0.000		0.000	
212	112	108	154	1	7	0	0	0	0	0	0	1	118	118
	0.500		0.000		0.000		0.500		0.000		0.000		0.000	
213	57	53	154	1	5	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.000		0.500		0.000		0.000		-0.750		0.000		0.000	
214	53	50	154	1	5	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.000		0.750		0.000		0.500		0.000		0.000		0.000	
215	50	47	154	1	5	0	0	0	0	0	0	1	70	70
	0.500		0.000		0.000		0.000		-0.250		0.000		0.000	
216	81	77	154	1	5	0	0	0	0	0	0	1	94	94
	0.000		0.500		0.000		0.000		-0.750		0.000		0.000	
217	77	74	154	1	5	0	0	0	0	0	0	1	94	94

0.000	0.750	0.000	0.500	0.000	0.000				
218 74	71 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	0 1	94	94		
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000				
219 105	101 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000				
220 101	98 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
0.000	0.750	0.000	0.500	0.000	0.000				
221 98	95 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000				
222 69	68 154	1 8	0 0 0 0	0 0 0	0	70	70		
223 93	92 154	1 8	0 0 0 0	0 0 0	0	94	94		
224 117	116 154	1 8	0 0 0 0	0 0 0	0	118	118		
225 58	54 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000				
226 54	51 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70		
0.000	0.750	0.000	-0.500	0.000	0.000				
227 51	48 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70		
-0.500	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000				
228 82	78 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000				
229 78	75 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94		
0.000	0.750	0.000	-0.500	0.000	0.000				
230 75	72 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94		
-0.500	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000				
231 106	102 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.750	0.000				
232 102	99 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
0.000	0.750	0.000	-0.500	0.000	0.000				
233 99	96 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
-0.500	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000				
234 65	61 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70		
-0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000				
235 89	85 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94		
-0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000				
236 113	109 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
-0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000				
237 61	56 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70		
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000				
238 85	80 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94		
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000				
239 109	104 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
0.500	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000				
240 66	62 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000				
241 62	52 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	70	70		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000				
242 90	86 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000				
243 86	76 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	94	94		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000				
244 114	110 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000				
245 110	100 154	1 7	0 0 0 0	0 0 0	1	118	118		
0.000	0.500	0.000	0.000	-0.500	0.000				
246 119	120 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	142	142		
0.000	0.250	0.000	0.000	0.250	0.000				
247 121	122 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	142	142		
0.000	0.250	0.000	-0.250	0.000	0.000				
248 122	123 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	142	142		
0.250	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000				
249 123	124 154	1 6	0 0 0 0	0 0 0	1	142	142		
0.250	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000				
250 125	140 154	1 5	0 0 0 0	0 0 0	1	142	142		

0.000	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
251	140	126	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.000	0.000	
252	127	125	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	-0.500	0.000	0.000	0.000	-0.750	0.000	0.000	
253	125	141	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	-0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
254	141	126	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.750	0.000	0.000	
255	126	128	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	-0.750	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000	
256	131	132	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.250	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000	0.000	
257	132	129	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
258	129	130	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	-0.250	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
259	130	133	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	-0.250	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000	0.000	
260	133	134	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	
261	135	136	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	-0.250	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	0.000	
262	136	139	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	
263	139	137	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.250	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	0.000	
264	137	138	154	1	6	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
265	135	131	154	1	7	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
266	131	121	154	1	7	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
267	132	127	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
-0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000	
268	136	132	154	1	7	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.250	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	
269	129	125	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	-0.750	0.000	0.000	
270	125	122	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.750	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	
271	122	119	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
272	141	140	154	1	8	0 0 0 0	0 0	0 142 142
273	130	126	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	-0.750	0.000	0.000	
274	126	123	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.750	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	0.000	
275	123	120	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
-0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
276	137	133	154	1	7	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
-0.250	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000	0.000	
277	133	128	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.000	0.000	
278	138	134	154	1	7	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
279	134	124	154	1	7	0 0 0 0	0 0	0 1 142 142
0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	
280	143	144	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 151 151
0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	
281	145	146	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 151 151
0.250	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	0.000	
282	147	149	154	1	5	0 0 0 0	0 0	0 1 151 151

0.000	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	151	151
283	149	148	154	1	5	0 0 0 0	0 0 0	1	151
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.000	0.000	0.000	
284	147	150	154	1	5	0 0 0 0	0 0 0	1	151
0.000	-0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
285	150	148	154	1	5	0 0 0 0	0 0 0	1	151
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.750	0.000	0.000	0.000	
286	147	145	154	1	5	0 0 0 0	0 0 0	1	151
0.000	0.750	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
287	145	143	154	1	5	0 0 0 0	0 0 0	1	151
0.250	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	
288	150	149	154	1	8	0 0 0 0	0 0 0	0	151
289	148	146	154	1	5	0 0 0 0	0 0 0	1	151
0.000	0.750	0.000	-0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
290	146	144	154	1	5	0 0 0 0	0 0 0	1	151
-0.250	0.000	0.000	0.000	-0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	

RELATORIOS DA GEOMETRIA

Projeto : EXEMPLO 1
 Cliente : ADMILSON

Pilar	Nivel i	Nivel f	Barra i	Barra f
P01	1	7	1	6
P02	1	7	7	12
P03	1	6	13	17
P04	1	7	18	23
P05	1	7	24	29
P06	1	6	30	34
P07	1	7	35	40
P08	1	7	41	46
P09	1	6	47	51
P10	1	6	52	56
P11	1	6	57	61
P12	1	6	62	66
P13	1	6	67	71
P14	1	6	72	76
P15	1	6	77	81
P16	1	6	82	86
P17	1	6	87	91
P18	1	6	92	96
P19	1	6	97	101
P20	1	6	102	106
P21	1	6	107	111

Pavimento	Nivel i	Nivel f	Viga	Barra i	Barra f	Bar/Nv
TERREO	2	2	V01	112	112	1
TERREO	2	2	V03	113	115	3
TERREO	2	2	V05	116	117	2
TERREO	2	2	V07	118	119	2
TERREO	2	2	V09	120	124	5
TERREO	2	2	V11	125	126	4
TERREO	2	2	V02	129	130	2
TERREO	2	2	V04	131	131	1
TERREO	2	2	V06	132	132	1
TERREO	2	2	V08	133	135	3
TERREO	2	2	V12	136	136	1
TERREO	2	2	V14	137	139	3
TERREO	2	2	V16	140	140	1
TERREO	2	2	V18	141	141	1
TERREO	2	2	V20	142	143	2
TIPO	3	5	V01	144	146	1
TIPO	3	5	V03	147	155	3
TIPO	3	5	V05	156	161	2
TIPO	3	5	V11	162	173	4
TIPO	3	5	V13	174	188	5
TIPO	3	5	V15	189	200	4
TIPO	3	5	V02	201	206	2
TIPO	3	5	V04	207	209	1
TIPO	3	5	V06	210	212	1

relatório 7.21 - Programa PPLUS
 resumo da geometria

TIPO	3	5	V08	213	221	3
TIPO	3	5	V12	222	224	1
TIPO	3	5	V14	225	233	3
TIPO	3	5	V16	234	236	1
TIPO	3	5	V18	237	239	1
TIPO	3	5	V20	240	245	2
COBERTURA	6	6	V01	246	246	1
COBERTURA	6	6	V03	247	249	3
COBERTURA	6	6	V05	250	251	2
COBERTURA	6	6	V11	252	255	4
COBERTURA	6	6	V13	256	260	5
COBERTURA	6	6	V15	261	264	4
COBERTURA	6	6	V02	265	266	2
COBERTURA	6	6	V04	267	267	1
COBERTURA	6	6	V06	268	268	1
COBERTURA	6	6	V08	269	271	3
COBERTURA	6	6	V12	272	272	1
COBERTURA	6	6	V14	273	275	3
COBERTURA	6	6	V16	276	276	1
COBERTURA	6	6	V18	277	277	1
COBERTURA	6	6	V20	278	279	2
CASA MAG	7	7	V01	280	280	1
CASA MAG	7	7	V03	281	281	1
CASA MAG	7	7	V05	282	283	2
CASA MAG	7	7	V07	284	285	2
CASA MAG	7	7	V02	286	287	2
CASA MAG	7	7	V04	288	288	1
CASA MAG	7	7	V06	289	290	2

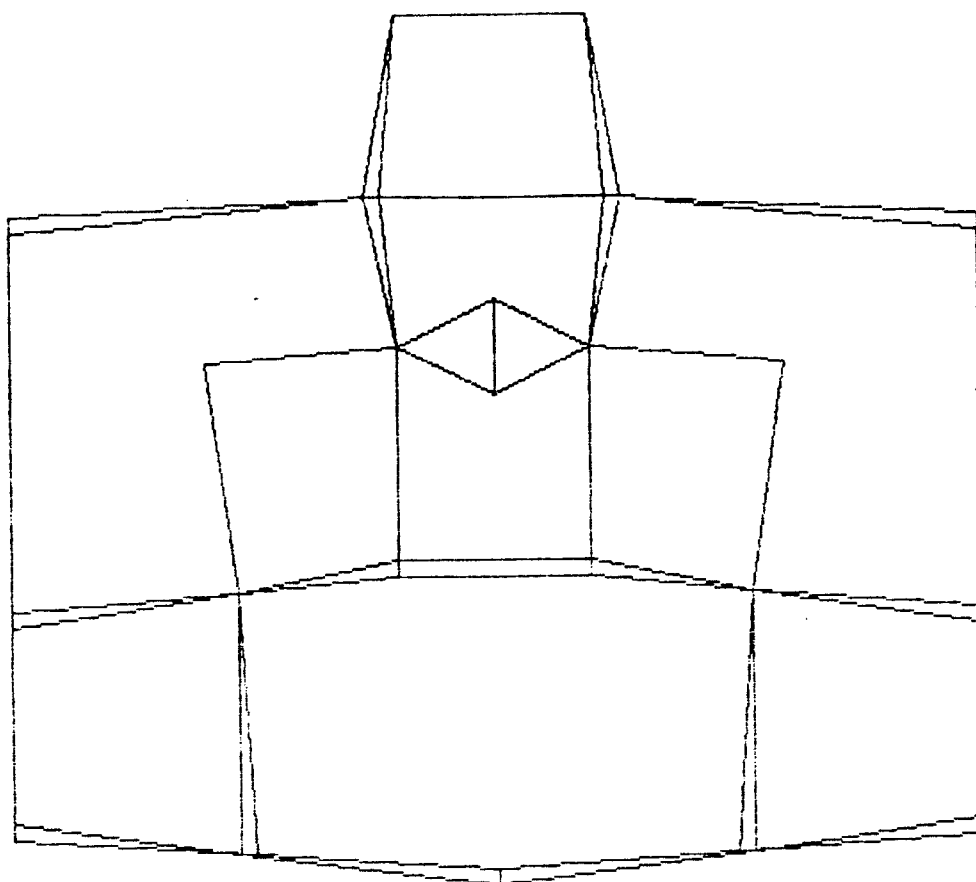


fig. 7.11a - Pórtico espacial
plano xy

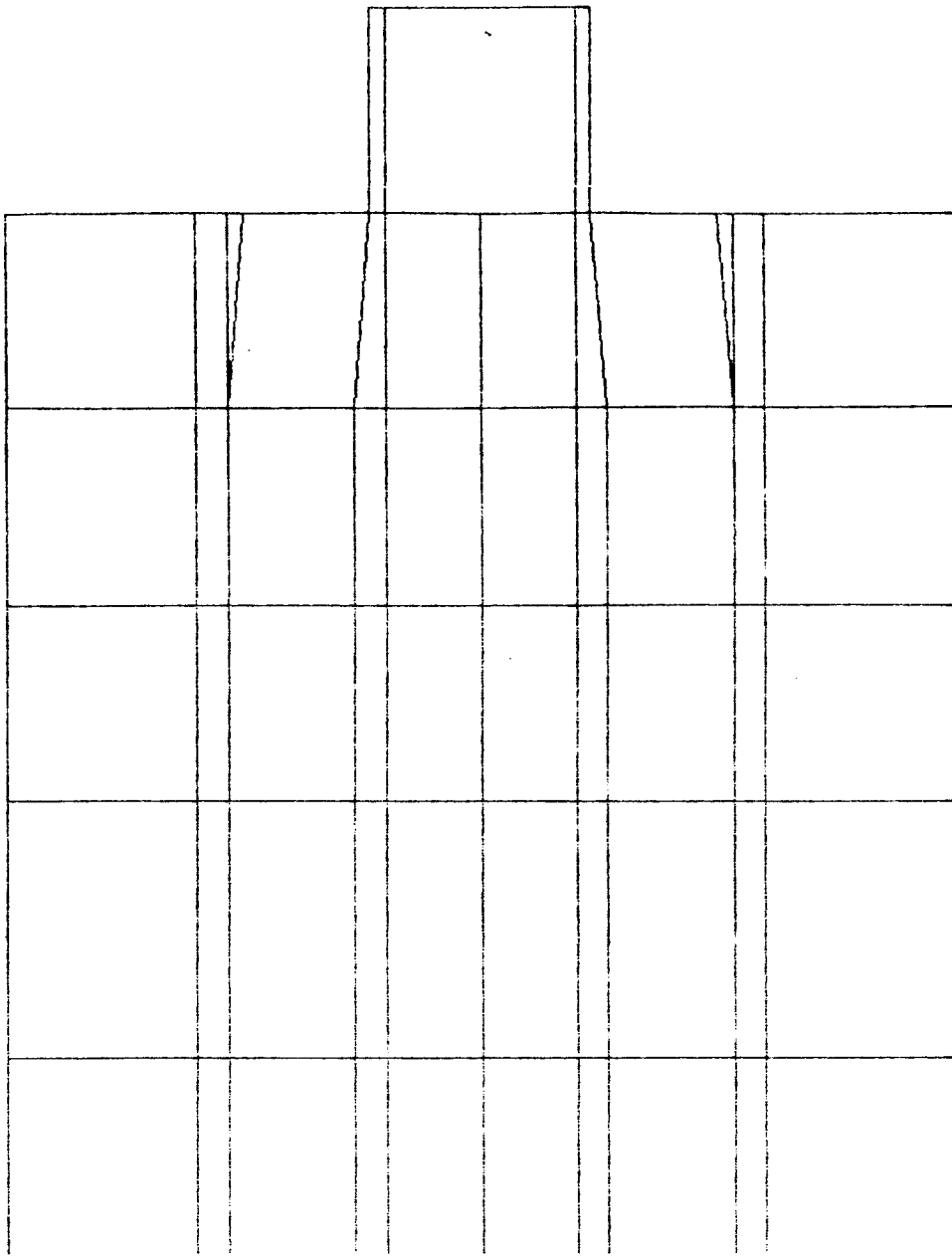


fig. 7.11b - Pórtico espacial
plano xz

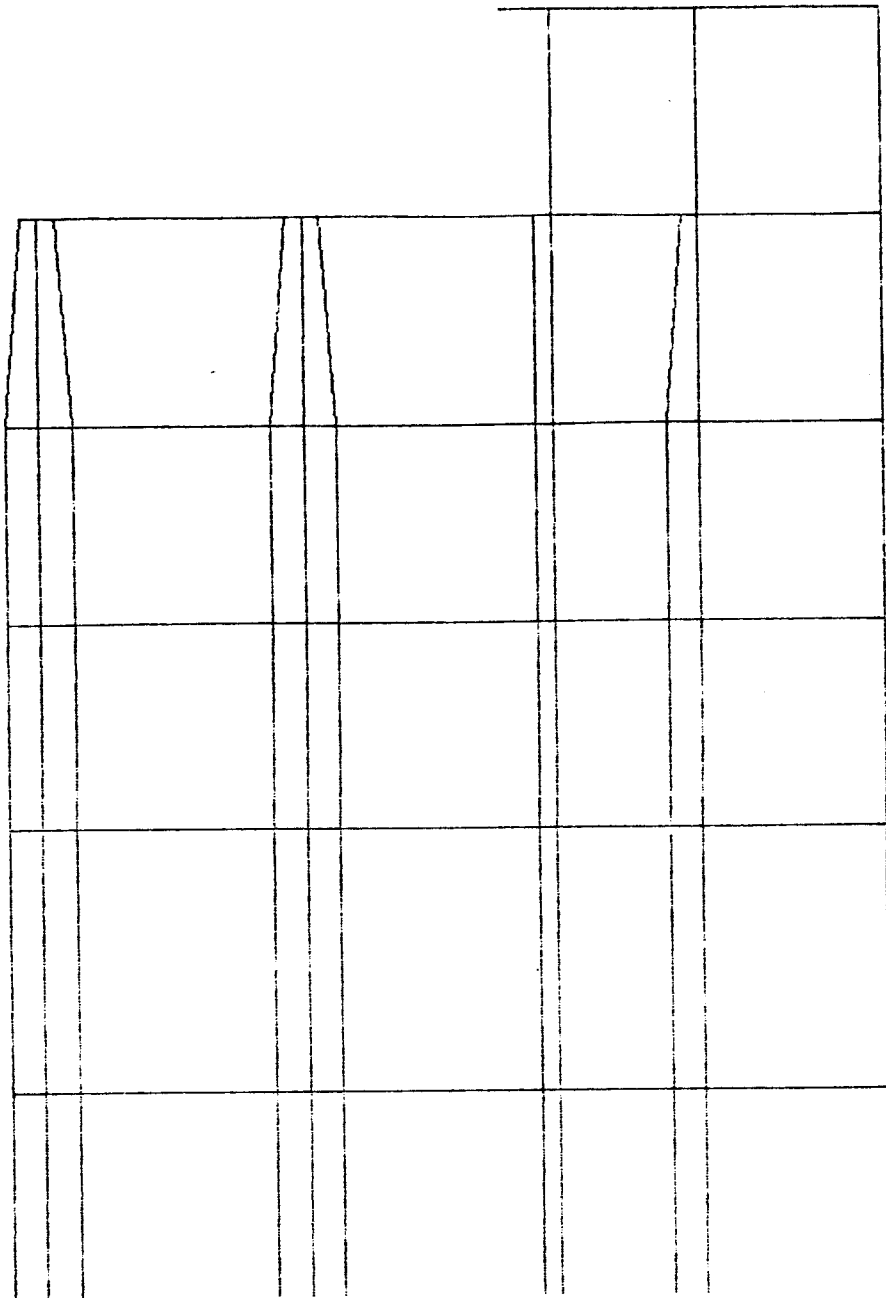


fig. 7.11c - Pórtico espacial
plano yz

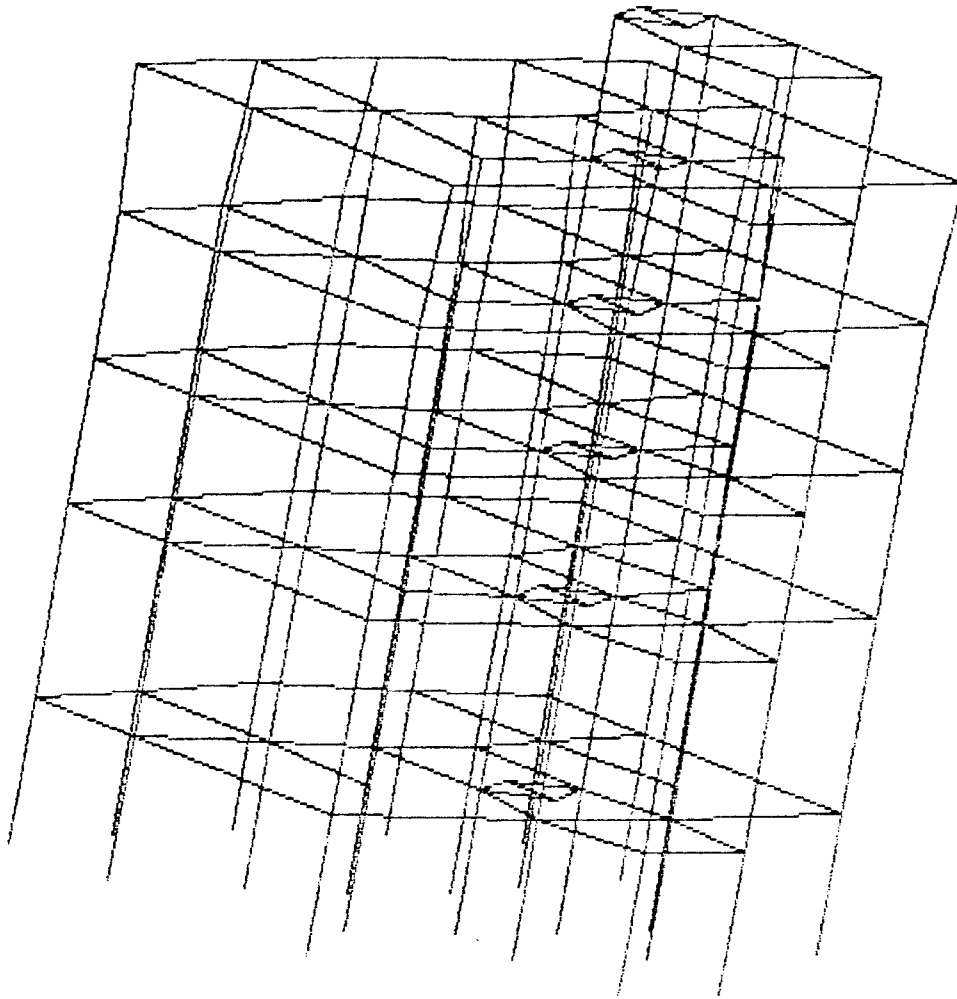


fig. 7.11d - Pórtico espacial
perspectiva 1

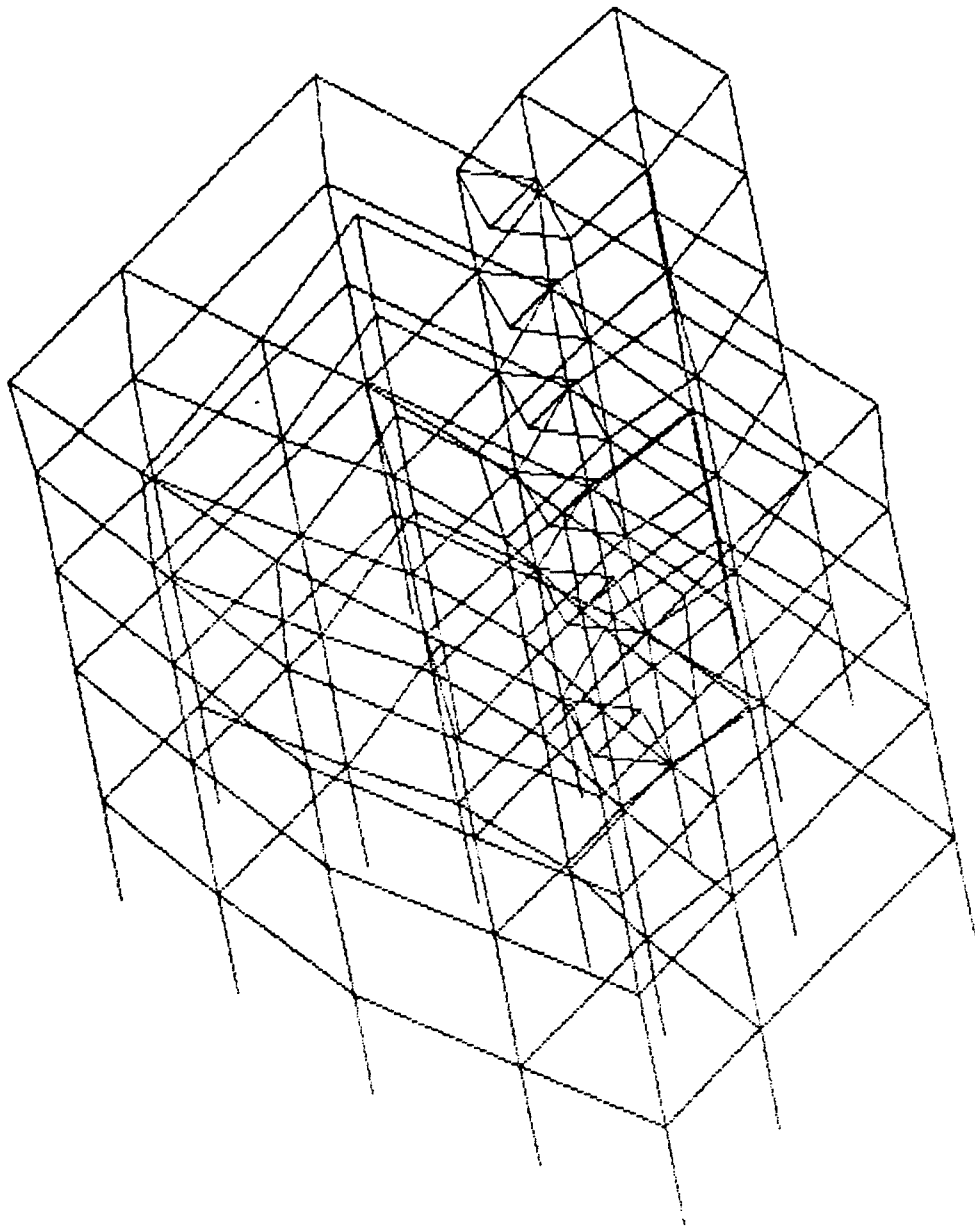


fig. 7.11e - Pórtico espacial
perspectiva 2

CAPÍTULO VIII

OBSERVAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado refere-se a dois temas distintos em primeira análise : o dimensionamento de seções transversais de concreto armado submetidas a solicitações normais, e a geração de geometria de estruturas reticuladas para a análise de esforços.

O dimensionamento de seções transversais está intimamente ligado ao processo de análise da estrutura, já que este é que promove a determinação dos esforços solicitantes nas seções dos elementos estruturais. Os esforços, por sua vez, estão ligados ao método ou processo de análise a que foi submetida a estrutura. Para cada concepção, uma massa de dados deve estar presente para a definição da geometria correspondente.

Observam-se, neste trabalho, o dimensionamento de seções transversais, retangulares ou "T", solicitadas à flexão normal simples, e seções retangulares solicitadas à flexão oblíqua composta, pertinentes a peças lineares de concreto armado, e a geração de geometrias específicas para estruturas reticuladas discretizadas por barras e nós.

O objetivo inicial do trabalho, a criação de um sistema iterativo para o dimensionamento e a racionalização da estrutura do edifício, não foi totalmente concluído em função do pouco tempo disponível. Criou-se uma nova concepção para a discretização da geometria de pavimentos planos horizontais, grelha, bem

como o equacionamento de seções transversais de concreto armado submetidas a solicitações normais. Os programas, rotinas deste sistema, estão em fase de testes, faltando somente sua concatenação e o desenvolvimento de um interpretador de dados, com função de promover a leitura automática de esforços provenientes dos programas de análise.

O processo de racionalização da estrutura do edifício, enquanto processo iterativo, necessita do acoplamento dos programas em um sistema, de tal forma que possa, automaticamente, promover a geração, a análise e o dimensionamento da estrutura, bem como a atualização, em arquivo, das modificações provenientes dos processos de dimensionamento e de racionalização estruturais.

Dando-se continuidade ao projeto proposto, promover-se-á a efetivação do sistema e a determinação das reais condições de funcionamento deste para estruturas tridimensionais.

Com o objetivo de aproximar o processo de dimensionamento ao cotidiano e à experiência do calculista usuário, nos programas referentes ao assunto, introduz-se o coeficiente de cálculo cc , discutido a seguir.

A análise de seções retangulares e seções "T" de concreto armado submetidas à flexão normal simples, presentes em vigas de edifícios, relaciona-se a condições peculiares a cada tipo de seção. Para seções retangulares, a observação das tabelas de cálculo apresentadas no Capítulo VII, Exemplos, mostra a economia proporcionada pela fixação de cc em um valor maior que 1,00 .

Os picos de momento negativo que ocorrem em vigas contínuas de edifícios de concreto armado devem ser resistidos com a utilização de armadura dupla. Em função do detalhamento da seção transversal, o valor do coeficiente de cálculo cc não deve ultrapassar 1,50 . Ultrapassando-se esse valor, levar-se-ia a seção a receber armaduras exageradas, pondo em risco a própria funcionabilidade, enquanto concreto armado, da seção, já

que a concretagem, nestas condições, fica prejudicada.

Em contrapartida, os processos de cálculo de seções retangulares de concreto armado que levam à armadura simples deprezam a contribuição da armadura comprimida, necessária no detalhe. Esta armadura determina maior capacidade à seção na resistência aos esforços solicitantes.

A seguir, apresentam-se duas tabelas em que dimensionam-se as armaduras e verificam-se as seções em função dos valores calculados e dos porta-estribos adotados. A primeira tabela apresenta os resultados obtidos para uma seção fixa, variando-se os momentos fletores solicitantes. Na segunda tabela, para diversas seções transversais solicitadas pelos respectivos momentos limites, apresentam-se as variações encontradas. Os dados necessários encontram-se definidos nas respectivas tabelas.

tab. 8.1 - Verificação da resistência : seção fixa

$b \times h$: 15x40 cm d' : 3 cm C18 CA-50A
 Porta-estribos : $2\phi 10$ (1,60 cm²)
 $M_{lim} = 8448,69$ kN.cm

Dimensionamento					Verificação					
M_d	β_x	x	A_s	A'_s	x	β_x	ϵ_s	ϵ'_s	M_d	$\Delta\%$
1000	0,06	2,11	0,64	-	-	-	-	-	-	-
2000	0,12	4,32	1,30	-	-	-	-	-	-	-
4000	0,25	9,14	2,76	-	-	-	-	-	-	-
6000	0,40	14,7	4,44	-	9,98	0,27	9,48	2,45	6426	7,10
8000	0,58	21,5	6,48	-	16,7	0,45	4,23	2,87	8761	9,51
M_{lim}	0,628	23,2	7,02	-	18,5	0,50	3,49	2,93	9297	10,1
10000	"	"	8,09	1,07	22,1	0,60	2,37	3,02	10263	2,63
12000	"	"	9,47	2,46	-	-	-	-	-	-
14000	"	"	10,9	3,84	-	-	-	-	-	-

tab. 8.2 - Verificação da resistência : seção variável

$d' : 3 \text{ cm}$

C18

CA-50A

Dimensionamento				Verificação						
Seção	M_{lim}	x_{lim}	A_s	A'_s	x	β_x	ϵ_s	ϵ'_s	M_d	$\Delta\%$
20x40	11265	23,2	9,35	2 ϕ 10	19,7	0,53	3,1	3,0	12144	7,8
20x60	26735	35,8	14,4	2 ϕ 10	32,3	0,57	2,7	3,2	28237	5,6
20x80	48787	48,4	19,5	2 ϕ 10	42,1	0,55	2,9	3,2	52446	7,5
25x100	96778	60,9	30,7	2 ϕ 12 ⁵	55,9	0,58	2,6	3,3	101601	5,0
30x120	168962	73,5	44,4	2 ϕ 12 ⁵	69,4	0,59	2,4	3,3	174930	3,5

As seções "T" necessitam ainda de maiores cuidados. A observação das tabelas de cálculo apresentadas no Capítulo VII, Exemplos, apontam no sentido do equacionamento da seção em função das relações b_v/b_f e h/h_f . Deve-se, portanto, retomar-se os dois temas para que determinem-se relações mais concretas quanto ao equacionamento das seções.

O processo de dimensionamento de seções retangulares de concreto armado submetidas à flexão oblíqua composta demonstra a rapidez e a segurança desejadas neste trabalho. A determinação do programa responsável pelo dimensionamento passa por quatro etapas de desenvolvimento, com cinco programas no total, levando ao resultado esperado : um programa confiável e rápido.

Este programa viabiliza o objetivo inicial deste trabalho, a racionalização da estrutura tridimensional do edifício, na medida em que trata os pilares do edifício de forma eficaz.

Os critérios de cálculo adotados são simplesmente intervalos de esforços em que a seção pode atuar, observando-se suas condições últimas. São perfeitamente adaptáveis aos diferentes critérios dos diversos calculistas.

A concepção de discretização proposta para a definição da geometria de pavimentos planos horizontais deve estar em desenvolvimento contínuo. O processo é dinâmico. Este desenvolvimento somente pode ser obtido através da utilização do conjunto gerador de dados em condições de trabalho, com a geração de estruturas reais. Na discretização da grelha, por exemplo, novas gerações automáticas de dados e consistências devem enriquecer o processo de geração. É indispensável a criação de um pacote gráfico para o sistema, utilizado tanto no processo de consistência como na apresentação dos dados e da estrutura.

A definição geométrica das lajes, a partir da discretização da grelha, deve estar inserida num processo interativo, a fim de que todos os dados possam ser corretamente determinados, inclusive a definição dos carregamentos, através da intervenção direta do usuário no momento da edição do arquivo.

Com relação à geração do pórtico espacial, a numeração nodal por pavimentos visa obter uma diminuição da largura da semi-banda da matriz de rigidez que representa a estrutura, à medida que reduz a diferença da numeração nodal relativa à incidência dos elementos. A largura da semi-banda da matriz de rigidez é responsável pelo desempenho dos processos de resolução numérica do sistema linear de equações proporcionado pela modelagem da estrutura. Há processos de otimização da largura da semi-banda através da ordenação da numeração nodal e da incidência dos elementos que podem ser utilizados.

A especificação dos elementos estruturais do pórtico espacial responsável pela absorção das ações horizontais, vigas e pilares, enquanto barras, procura ser o mais precisa possível. Pode-se, entretanto, obter uma especificação que atenda com mais contundência às necessidades de individualização dos elementos.

No caso específico das vigas, seus tramos, entre pilares, são individualizados por letras, prática corrente

em escritórios de cálculo. Este processo de definição dos elementos pode ser utilizado pelo sistema, com a geração automática da especificação, por letras, dos tramos.

Todos estes aspectos devem ser retomados oportunamente a fim de promover a atualização do sistema, à medida que tornarem-se necessários.

Finalmente, observa-se, neste trabalho, a divisão entre pavimentos planos horizontais e pórtico espacial para a análise de cargas verticais e de forças horizontais, respectivamente. Modelam-se os pavimentos e, a partir deles, o pórtico espacial.

Este procedimento possui vantagens em relação a alguns processos tradicionais como a simulação do efeito de grelha por vigas contínuas para a resistência dos carregamentos verticais, e a divisão do pórtico espacial em painéis planos de contraventamento para a absorção dos efeitos horizontais. Note-se que os procedimentos acima descritos têm as mesmas características gerais dos processos apresentados neste trabalho : as lajes são tratadas como elementos isolados nos pavimentos e os elementos estruturais de grande rigidez presentes nos pavimentos e pórticos, vigas e pilares, são idealizados como elementos lineares.

Processos e métodos de concepções diferentes podem ser propostos para a resolução do problema. São os casos do Método dos Elementos Finitos para a idealização do pavimento plano horizontal, enquanto estrutura, e a Técnica do Meio Contínuo na avaliação dos esforços relativos aos efeitos provocados pelo vento, por exemplo.

Note-se que estes processos têm concepções diferentes dos processos tratados neste trabalho e mesmo entre si. O Método dos Elementos Finitos discretiza a estrutura em pequenas partes finitas, e pode considerar a contribuição de todos os elementos do pavimento na resistência às cargas verticais. A Técnica do Meio Contínuo necessita da regularidade para sua aplicação, já que transforma a estrutura, discreta, num meio contínuo. Outros processos e

métodos podem ser citados, como por exemplo o Método dos Elementos de Contorno para a análise do pavimento como meio contínuo associado a estruturas lineares.

Não é objeto de análise deste trabalho a discussão e a indicação dos métodos e processos de cálculo para cada tipo de estrutura ou carregamento. Somente a geração da geometria das mesmas para um processo específico em que seus elementos são definidos através de barras e nós.

Com a conclusão deste trabalho, pretende-se dar subsídios ao início de um projeto de automação do cálculo de estruturas de edifícios de concreto armado, em que a concepção estrutural seja a estrutura espacial. Independentemente do método ou processo utilizado na modelagem e discretização da estrutura, é objetivo promover gerações, inclusive de carregamentos, a fim de que todos os dados necessários à definição da mesma sejam confiáveis e rapidamente determinados. Contando-se com a viabilidade dos programas de dimensionamento de viga e de pilar, em termos de tempo real de processamento, promover a racionalização das seções perante os esforços obtidos e os critérios adotados.

Como proposta de continuidade do trabalho, ressalta-se a necessidade de um tratamento semelhante àquele dado à geometria da estrutura para a definição de seu carregamento. É importante ressaltar-se também a necessidade de desenvolvimento de sistemas computacionais para a geração de dados para a análise de estruturas com o auxílio de outros métodos, como o Método dos Elementos Finitos, por exemplo. Em função do avanço tecnológico do ferramental de cálculo, "software", "hardware" e métodos para resolução de grandes sistemas de equações, a análise de estruturas através de métodos que possibilitam a consideração de elementos lineares e planos como integrantes da estrutura portante determina resultados mais realistas para esforços e deslocamentos, inclusive sob o ponto de vista dos processos construtivos empregados atualmente.

CAPÍTULO IX

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. "NBR-6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado". Rio de Janeiro, 1980.
- [2] COMITÉ EUROPÉEN DU BÉTON. "CEB-FIP: recommandations internationales pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton". Paris, 1970.
- [3] LEONHARDT, F. , MÖNNING, E. "Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado". Rio de Janeiro: Interciência, 1977.
- [4] PFEIL, W. "Concreto armado: dimensionamento". Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983. 3v.
- [5] SÜSSEKIND, J.C. "Curso de concreto". Rio de Janeiro: Globo, 1985. 2v.
- [6] ANDRADE, J.R.L. "Estruturas correntes de concreto armado: 1a. Parte". São Carlos: EESC-USP, 1982. Publicação n° 011/86
- [7] PINHEIRO, L.M. "Concreto armado: tabelas e ábacos". São Carlos: EESC-USP, 1986. Publicação n° 020/86

- [8] COSTA, J.B. "Automação de projetos de pavimentos tipo de edifícios de concreto armado". São Carlos, 1990. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- [9] VENTURINI, W. S. "Dimensionamento de peças retangulares de concreto armado solicitadas à flexão reta". São Carlos: EESC-USP, 1987. Publicação n° 025/91
- [10] VENTURINI, W.S. , BORTOLIN, A.A. , FERREIRA, A. "Dimensionamento de peças retangulares de concreto armado solicitadas à flexão oblíqua". São Carlos: EESC-USP, 1990. Publicação n° 063/90
- [11] MORAN CABRÉ, F. "Cálculo de secciones de hormigón armado, sometidas a silicitacion normales, em el estado limite último". Madrid: Instituto Torroja, 1972.
- [12] JIMENES MONTOYA, P. , GARCIA MESEGUER, A. , MORAN CABRÉ, F. "Hormigon armado". 7.ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1973.
- [13] FUSCO, P.B. "Estruturas de concreto: solicitações normais". Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.
- [14] FUSCO, P.B. "Fundamentos do projeto estrutural". São Paulo: Editora da USP/McGraw-Hill do Brasil, 1976.
- [15] SANTOS, L.M. "Cálculo de concreto armado". São Paulo: LMS, 1983. v.1
- [16] SANTOS, L.M. "Cálculo de concreto armado". São Paulo: LMS, 1981. v.2

- [17] FORNI, F.E.B. "Flexão oblíqua composta no concreto armado: seções quaisquer". São Paulo, 1980. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica-USP.
- [18] CORRÊA, M.R.S. , RAMALHO, M.A. "Manuais dos programas do projeto ANSER". São Carlos: [s.n.], 1984.
- [19] CORRÊA, M.R.S. "A utilização de modelos numéricos na análise de estruturas de edifícios". São Carlos, 1991. Tese (Doutorado) a ser apresentada - Escola de Engenharia de São Carlos-USP.SC-USP.
- [20] RAMALHO, M.A. "Sistema para análise de estruturas considerando interação com meio elástico". São Carlos, 1990. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos-USP.SC-USP.
- [21] GERE, J. , WEAVER JR., W. "Análise de estruturas reticuladas". Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985.
- [22] MOREIRA, D.F. "Análise matricial das estruturas". Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.
- [23] WEAVER JR., W. "Computer programs for structural analysis". Princeton: D. Van Nostrand, 1967.
- [24] BORLAND INTERNATIONAL. "Turbo Pascal: reference manual - Version 3.0". 1985.
- [25] BORLAND INTERNATIONAL. "Turbo Pascal: user's guide - Version 5.0". 1988.
- [26] GRILLO, M.C. "Turbo Pascal". Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988.

