

## **PARTE II**

# **ESTRUTURAS USUAIS DAS CONSTRUÇÕES**

# Capítulo ESTRUTURAS USUAIS DE CONCRETO ARMADO

# 4

## 4.1 INTRODUÇÃO

Os resultados obtidos na prática da construção de obras de concreto armado demonstram que, em geral, o custo da estrutura fica em torno de 20% a 25% do valor total da obra. Esse percentual se refere apenas à estrutura, não englobando a fundação.

A composição do custo do concreto da estrutura envolve basicamente o concreto, o aço utilizado como armadura e as formas, obviamente incluindo a mão-de-obra.

No que diz respeito às formas, tanto o material quanto a mão-de-obra necessários são caros. Além do trabalho para preparar as formas, ainda são gastas muitas horas-homem para a colocação, escoramento, desforma, limpeza e acondicionamento das formas. O custo das formas representa cerca de 40% a 50% do custo total da estrutura de concreto armado. É um percentual bastante relevante.

Em função do acima exposto, fica evidente que, no caso das obras em concreto armado, as dimensões adotadas para os elementos da estrutura influenciam no custo. As dimensões além de determinar o volume de concreto gasto, influenciam na área de formas, quantidade de recortes, mão-de-obra, etc.

A fração que o custo da estrutura representa no custo final da obra é relativamente pequena. Um acréscimo de 10% no custo da estrutura representa um aumento de apenas 2% no custo final de obra.

A definição das dimensões da estrutura deve levar em conta:

- custo do aço;
- custo do concreto;
- custo das formas.

A padronização de dimensões e formas das peças pode significar uma economia bastante significativa, permitindo o reaproveitamento de formas ou, em alguns casos, a utilização de sistemas especiais de formas e escoramento que propiciam grande agilidade na execução da estrutura.

Outro fator importante que deve ser considerado no projeto é o processo construtivo a ser adotado. O processo construtivo condiciona a solução estrutural. A opção, por exemplo, por um sistema de lajes maciças ou outro com lajes cogumelo (sem vigamento, apenas lajes e pilares), tem implicações nos vãos aceitáveis, no número e espaçamento dos pilares, no sistema de formas, no tipo de material utilizado (concreto armado ou concreto protendido), no pé direito dos pavimentos, na rigidez global da estrutura, etc.

Pequenas modificações no projeto arquitetônico podem favorecer grandemente a solução estrutural em concreto armado.

## 4.2 ASPECTOS DA CONCEPÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

### 4.2.1 Lançamento estrutural

O primeiro passo para a concepção de uma estrutura envolve a definição do **arranjo estrutural**. Nos edifícios usuais de concreto armado, o arranjo estrutural é constituído por lajes, vigas e pilares ou pela união desses elementos. No nível da fundação, os pilares transmitem as cargas da estrutura ao terreno, através de elementos estruturais como sapatas diretas, blocos, estacas, tubulões, etc.

A definição do arranjo estrutural é chamada comumente de **lançamento estrutural**. O lançamento estrutural é uma das etapas mais importantes do projeto de uma estrutura de concreto armado. O lançamento estrutural envolve:

- a definição da posição dos elementos estruturais que compõem a estrutura (lajes, vigas, pilares, etc...);
- a definição da forma e dimensões dos elementos estruturais.

Considerando as ações verticais e horizontais que solicitam uma estrutura, deve-se procurar dispor e definir os elementos estruturais de forma a criar condições de absorvê-las, conduzindo-as até as fundações, tendo sempre em vista minimizar as interferências com o arranjo arquitetônico.

A definição da disposição das peças estruturais num edifício é influenciada por diversos fatores. No caso dos edifícios residenciais usuais, por exemplo, a posição da caixa d'água, a posição das escadas, a posição dos elevadores, a cobertura, o leiaute do pavimento tipo, a garagem, etc., trazem implicações importantes para a concepção da estrutura. Além dos fatores citados acima, é necessário avaliar a interferência com os projetos de instalações (hidro-sanitário, elétrico, incêndio, etc.).

No caso dos edifícios com garagem ou estacionamento, a definição das vagas condiciona a disposição dos pilares e vice-versa. A posição dos pilares influencia no arranjo das vigas que, por sua vez, delimitam as lajes. Por isso a estrutura é chamada de sistema, ou seja, um conjunto de elementos que interagem.

O estudo detalhado do projeto arquitetônico é fundamental para a definição de um arranjo estrutural compatível com mesmo. Quanto melhor for o lançamento estrutural, menores serão as modificações a serem introduzidas no dimensionamento da estrutura.

## 4.2.2 Pavimento Tipo

A escolha da estrutura de um edifício de andares múltiplos começa pelo PAVIMENTO TIPO, fixando-se a posição de vigas e pilares, levando sempre em consideração a posição da caixa d'água. Em boa parte dos casos, a posição da caixa d'água coincide com a caixa de escadas.

Com a estrutura do PAVIMENTO TIPO resolvida, verifica-se se posição dos pilares pode ser mantida nos outros pavimentos. Nesta análise são considerados aspectos estéticos e funcionais das garagens, pilotis, salões de festas, "play-grounds", etc.

Caso não seja possível manter a posição dos pilares, tenta-se reformular a estrutura do PAVIMENTO TIPO até compatibilizar a posição dos pilares com os outros pavimentos.

## 4.3 SUGESTÕES PRÁTICAS

### 4.3.1 Estruturas de transição

No caso de edifícios, pode ocorrer uma incompatibilidade entre a posição dos pilares em dois pavimentos diferentes. Essa situação pode existir em função de diferenças no leiaute dos pavimentos, como é o caso nos edifícios residenciais, que possuem garagem e pavimento tipo. Nesses casos, utiliza-se uma estrutura de transição como a mostrada na Figura 4.1.

As estruturas de transição, na grande maioria das vezes, são caras e de grande responsabilidade estrutural. Portanto, deve-se procurar conceber o arranjo estrutural de forma a minimizar sua ocorrência.

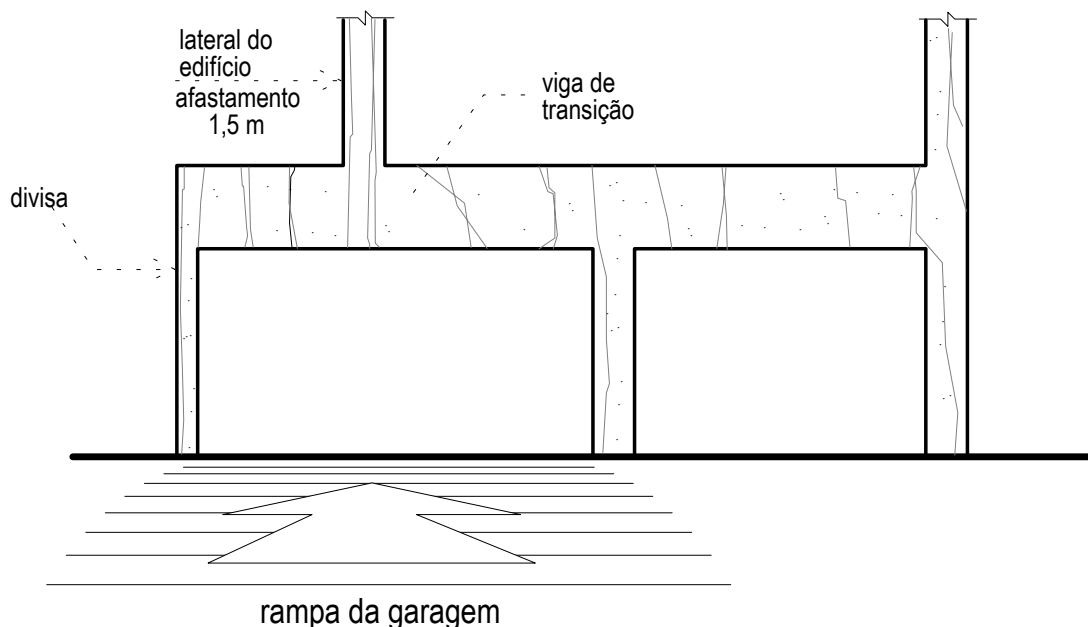
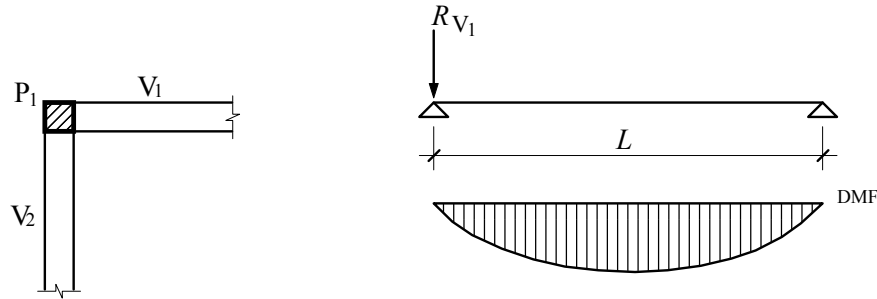


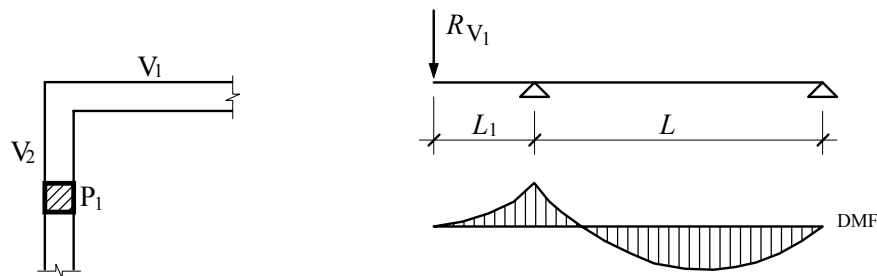
Figura 4.1 - Viga de transição

### 4.3.2 Balanços

Outro artifício que muitas vezes ajuda a resolver o problema do lançamento estrutural é a execução de balanços. O balanço proporciona também uma melhor distribuição dos momentos fletores, contanto que o comprimento do balanço  $L_1$  fique em torno de  $0,25 L$  (Figura 4.2).



(a) pilar na extremidade da viga



(b) viga em balanço

Figura 4.2 - Viga em balanço.

### 4.3.3 Outras recomendações

- Toda estrutura deve ser projetada levando-se em consideração as cargas verticais e horizontais. Nos casos de estruturas de pequeno porte, quando a ação do vento não é preponderante, podendo até mesmo ser desconsiderada em projeto, é suficiente enrijecer determinados elementos da estrutura, tais como: caixa de escada, poços de elevadores, torres de caixas d'água, etc.
- Toda caixa de escada deve ter pilares e vigas no seu contorno.
- Deve-se observar a necessidade ou não de juntas de dilatação na estrutura. A consideração dos efeitos térmicos em uma estrutura é complexa e, portanto, deve ser evitada.
- Desníveis entre partes da estrutura podem exigir muros de arrimo ou cortinas de contenção. Pode-se projetar esses elementos ligados à estrutura do edifício com a finalidade de diminuir os esforços que neles surgiriam, caso fossem considerados isolados.

## 4.4 ELEMENTOS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A NBR 6118, norma brasileira que regulamenta o projeto e a execução de estruturas de concreto armado, determina dimensões mínimas para os elementos constituintes da estrutura. Ressalta-se que as dimensões mínimas não são necessariamente as mais econômicas.

### 4.4.1 Lajes

A distinção entre os diversos tipos de laje se faz basicamente em função do processo construtivo. Assim, nos próximos tópicos, citam-se alguns tipos distintos de laje usualmente empregados e suas particularidades.

#### 4.4.1.1 Lajes maciças

Historicamente, a laje maciça tem sido muito empregada na construção de edificações de concreto armado. Chama-se de laje maciça à laje de concreto com espessura constante, moldada *in loco* a partir do lançamento do concreto fresco sobre um sistema de formas planas.

O custo de uma laje maciça está diretamente relacionado com a espessura da laje. Como as outras duas dimensões são de ordem de grandeza muito maior, qualquer alteração da espessura implica numa variação considerável do volume de concreto da laje e, conseqüentemente, do seu peso próprio. Assim, lajes esbeltas, ou seja, com espessura pequena, são normalmente mais econômicas.

Por outro lado, lajes de pequena espessura com frequência vibram bastante quando solicitadas por cargas dinâmicas, proporcionam pouco isolamento acústico e podem sofrer deformações acentuadas, causando desconforto para os usuários.

O quadro 4.1 apresenta as dimensões mínimas para lajes, regulamentadas pela NBR 6118, norma brasileira que regulamenta o projeto e a execução de estruturas de concreto armado.

**Quadro 4.1** - Dimensões mínimas para lajes maciças segundo a NBR 6118

tipo da laje	espessura mínima
laje de cobertura	$h = 5,0$ cm
laje de piso	$h = 7,0$ cm
laje em balanço	$h = 7,0$ cm
laje de garagem	$h = 12,0$ cm

Lajes de dimensões muito reduzidas conduzem a um maior consumo de fôrmas. Portanto, na medida do possível, procura-se projetar lajes com área não inferior a  $6,0 \text{ m}^2$ . Por outro lado, lajes que ultrapassem a dimensão de  $6,0$  m na menor dimensão, podem se tornar anti-econômicas e exigirem um aumento considerável da espessura para atenderem os critérios de deformação.

A espessura econômica para lajes está associada ao tamanho dos vãos. Os vãos econômicos para lajes maciças de concreto armado ficam em torno de  $4,0$  m, resultando áreas de  $15$  a  $20 \text{ m}^2$ .

As ações usualmente atuantes nas lajes são as seguintes:

- peso próprio;
- peso de revestimento (pavimento: granito, tábua corrida; revestimento da face inferior);
- impermeabilização / isolamento;
- sobrecargas de utilização (NBR 6120);
- coberturas.

Nas áreas destinadas a sanitários e áreas de serviço, era comum se projetar lajes rebaixadas, sobre as quais eram colocadas as instalações sanitárias. Já há algum tempo tem-se preferido projetar a laje dessas áreas nivelada com as demais, colocando-se a tubulação na sua face inferior, escondida por um forro falso, que permite o acesso às instalações no caso de eventuais problemas, sem grandes transtornos.

#### 4.4.2 Vigas

As vigas são os elementos da estrutura que recebem as reações das lajes, e eventualmente de outras vigas, e as transmitem para os pilares. São elementos geralmente horizontais, sujeitos a cargas transversais ao seu eixo longitudinal, trabalhando essencialmente à flexão.

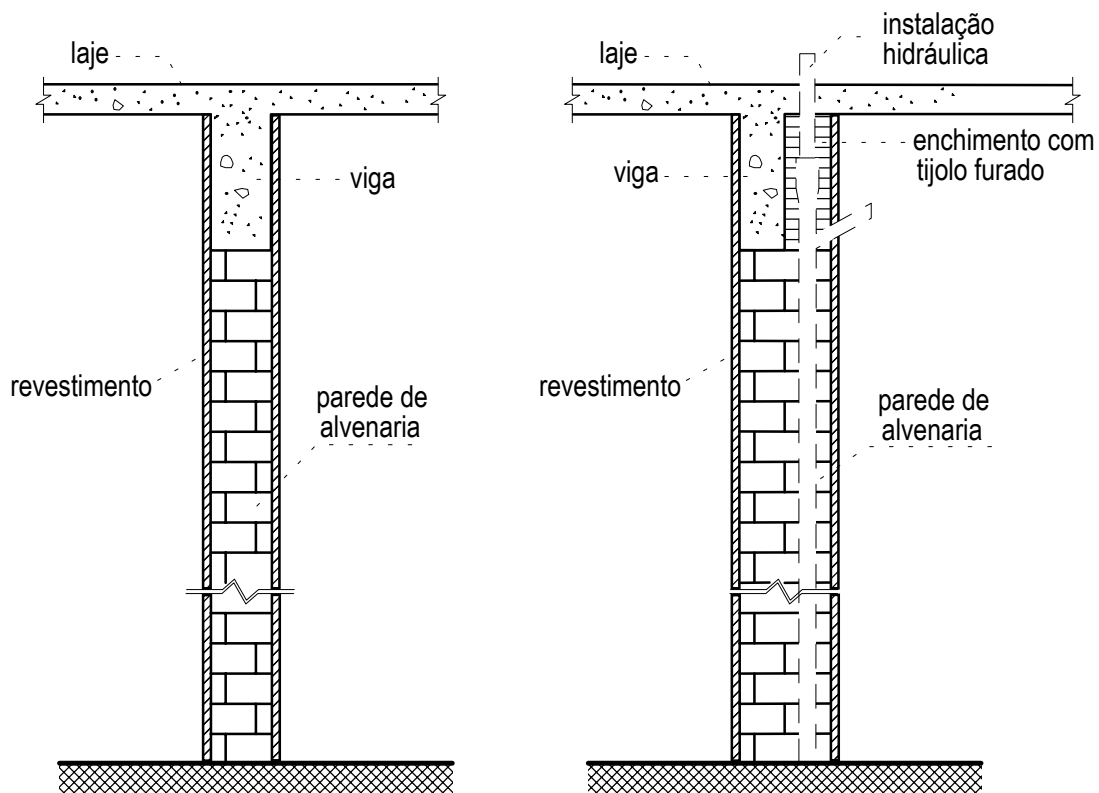


Figura 4.3 - Vigas embutidas na parede.

As vigas numa estrutura de concreto armado podem ser revestidas ou aparentes. Para edifícios residenciais e comerciais, com frequência opta-se por esconder a estrutura, ou seja, o

revestimento cobre as vigas e pilares (Figura 4.3). Nesses casos, a largura das vigas depende da espessura das paredes.

- paredes externas com 25 cm  $\Rightarrow$  vigas com 20 cm
- paredes externas com 15 cm  $\Rightarrow$  vigas com 12 cm
- paredes internas com 15 cm  $\Rightarrow$  vigas com 10 a 12 cm

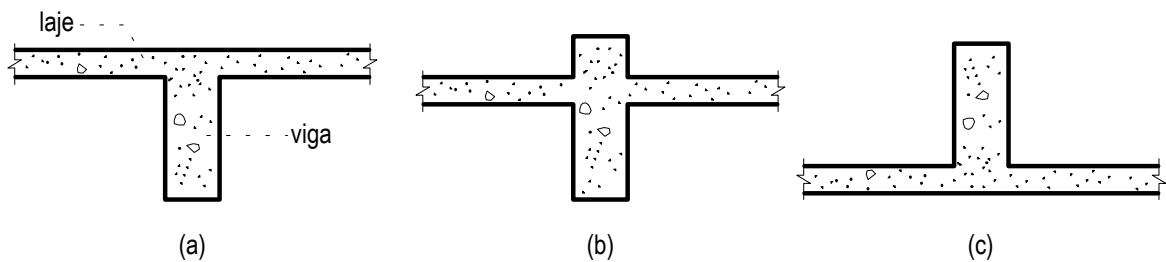
Em geral, vigas aparentes em locais de mudança de ambiente não ferem a estética.

A alguns anos atrás, era comum projetar vigas em quase todas as posições de paredes, o que levava a um grande consumo de fôrmas. Atualmente, dado ao custo das fôrmas e à agilidade construtiva, é comum se considerar paredes descarregando seu peso próprio diretamente sobre lajes, o que conduz a estruturas menos recortadas, lajes maiores e menos vigas.

As vigas não precisam descarregar diretamente sobre pilares, podendo existir apoio de viga sobre viga. A viga de maior altura, sendo a de menor vão, tem rigidez muito superior àquela de menor altura, de modo que a menor se apoia na maior, denominada viga principal.

Um dos aspectos a ser levado em consideração para definir o afastamento entre dois pilares é a altura que a viga que se apoia neles vai assumir, tomando-se os devidos cuidados quanto à verificação da dimensão desses elementos sobre as aberturas em geral.

A posição mais comum das vigas nas estruturas de concreto armado é sob as lajes. Todavia pode-se construir a viga sobre a laje ou com a laje passando por seu intermédio. Nesses casos tem-se as chamadas vigas invertidas ou semi-invertidas (Figura 4.4).

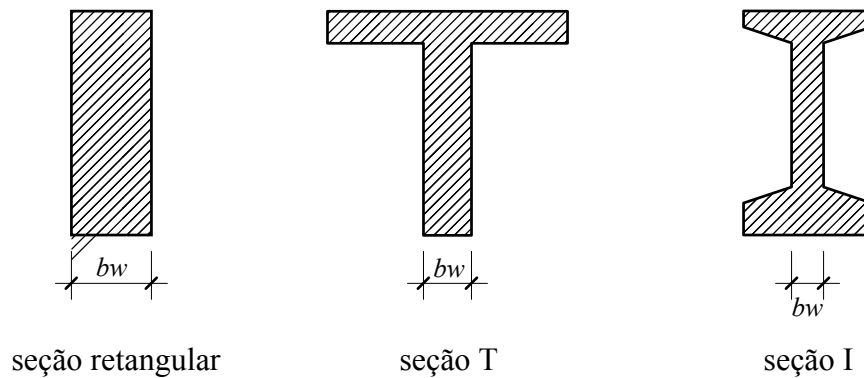


**Figura 4.4** - Vigas invertidas: (a) normal; (b) semi-invertida; (c) invertida.

As vigas invertidas são utilizadas em situações nas quais se deseja que a viga não apareça na face inferior da laje, geralmente por questões de estética. As semi-invertidas são empregadas em situações nas quais o pé-direito ou as esquadrias limitem a altura útil da viga e o projeto estrutural exija uma viga alta.

A limitação que a NBR 6118 impõe para as vigas é que a espessura da alma seja de pelo menos 8,0 cm (Figura 4.5).





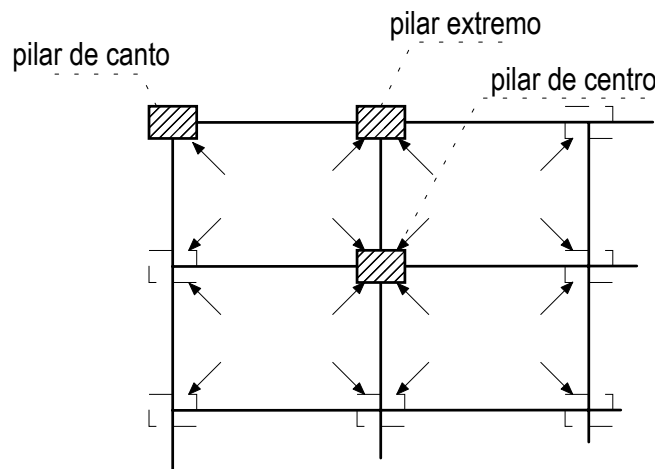
**Figura 4.4** - Seções típicas de vigas de concreto armado.

#### 4.4.3 Pilares

O pilar é a peça de mais responsabilidade da estrutura. Se uma viga ou uma laje sofre uma ruptura, em geral é possível recuperar a estrutura. Se a mesma coisa ocorre com um pilar, a recuperação é difícil.

Usualmente, concretam-se primeiramente os pilares e posteriormente as vigas e lajes.

A distribuição do carregamento nos pilares de um edifício ocorre conforme a representação na Figura 4.5 abaixo.



**Figura 4.5** - Distribuição do carregamento nos pilares de um edifício.

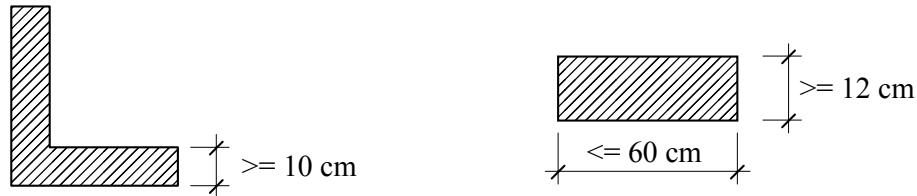
A princípio, seria interessante colocar pilares em todos os cruzamentos de vigas, o que faria com que as cargas percorressem o caminho mais curto entre o ponto de aplicação e a fundação. Entretanto, uma estrutura pode se tornar anti-econômica e até mesmo, proibitiva sob o ponto de vista funcional, caso sejam projetados pilares muito próximos uns dos outros.

Os pilares devem se localizar em pontos que não interfiram no conjunto arquitetônico e não comprometam a circulação de halls, salas, pilotis, garagens, etc.

Para pilares com função estrutural, a NBR 6118 determina que a menor dimensão atenda aos seguintes limites:

$$b \text{ (menor dimensão)} \geq \begin{cases} 20 \text{ cm} \\ 1/25 \text{ da altura livre} \end{cases}$$

Em alguns casos especiais a norma admite  $b < 20$  cm, contanto que o coeficiente de majoração das cargas  $\gamma_f = 1,8$ .



**Figura 4.6** - Dimensões mínimas para pilares.

#### 4.4.4 Vigas baldrame

Na construção convencional de edifícios, ao nível dos blocos de fundação é executado um vigamento cuja função é dar suporte às paredes e ligar os pilares, travando a estrutura na horizontal. Essas vigas são denominadas cintas de fundação ou vigas baldrame.

As cargas atuantes nas cintas de fundação são o peso próprio e carga de parede, se houver.

As cintas são usadas entre pilares vizinhos, de modo contínuo ou não, e sempre que existir parede nesse nível. Para as cintas, são válidas as mesmas recomendações feitas para as vigas em geral, com a ressalva de que as cintas ficam "embutidas" no próprio solo de fundação.

Em geral, o cintamento não recebe o carregamento de lajes. O contrapiso é executado diretamente sobre o terreno compactado.

## 4.5 ASPECTOS DO DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

### 4.5.1 Desenhos de fôrmas

Os desenhos de fôrmas devem permitir um perfeito conhecimento da forma e dimensões de todos os elementos da estrutura. Envolvem plantas, cortes, elevações e detalhes dos elementos estruturais. São usualmente feitos na escala 1:50 ou 1:100, desde que não haja prejuízo da clareza do desenho.

Na Figura 4.7 apresenta-se um desenho de fôrmas de um pavimento tipo de um edifício de concreto armado. Na Figura 4.8 apresenta-se um desenho de fôrmas de uma escada de quatro lances.

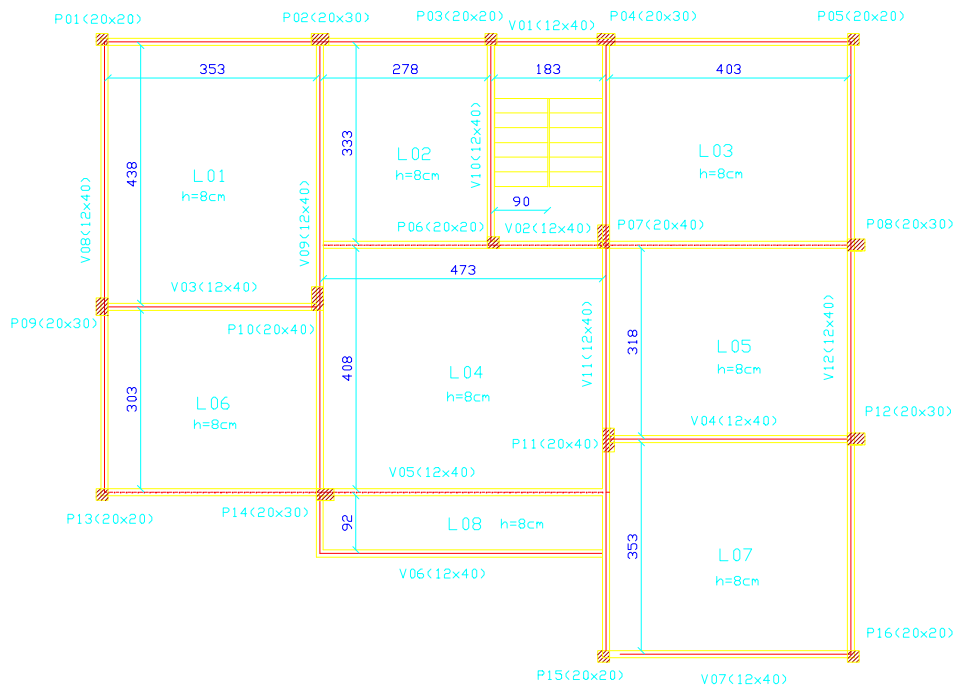


Figura 4.7 - Desenho de fôrmas de um pavimento tipo de um edifício de concreto armado.

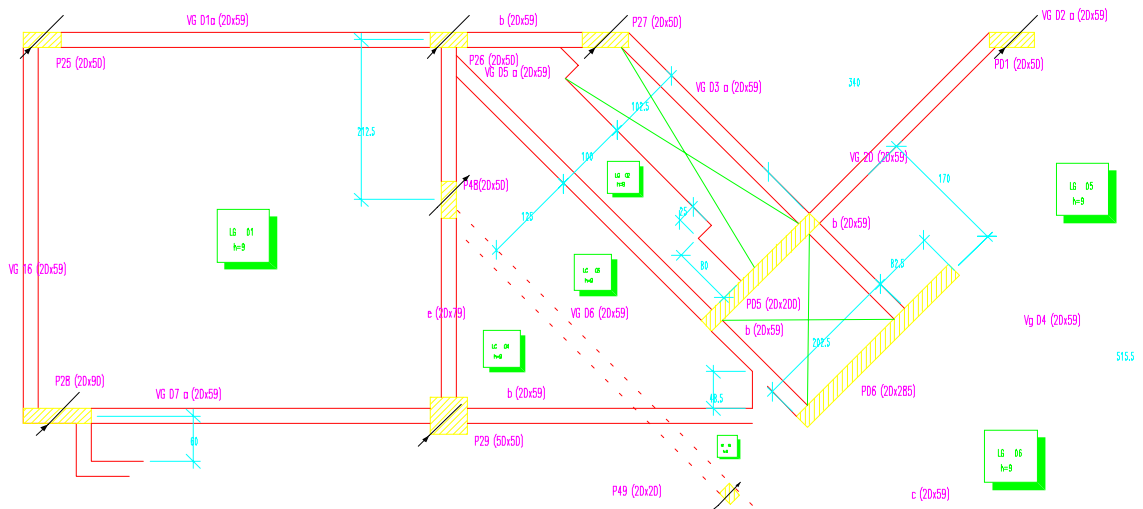
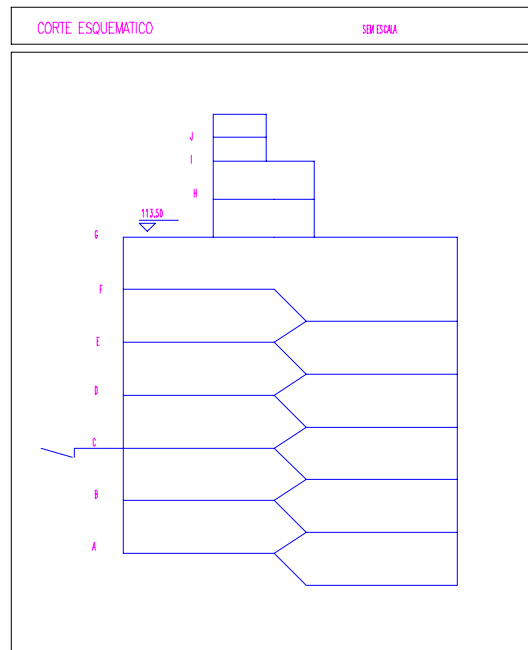


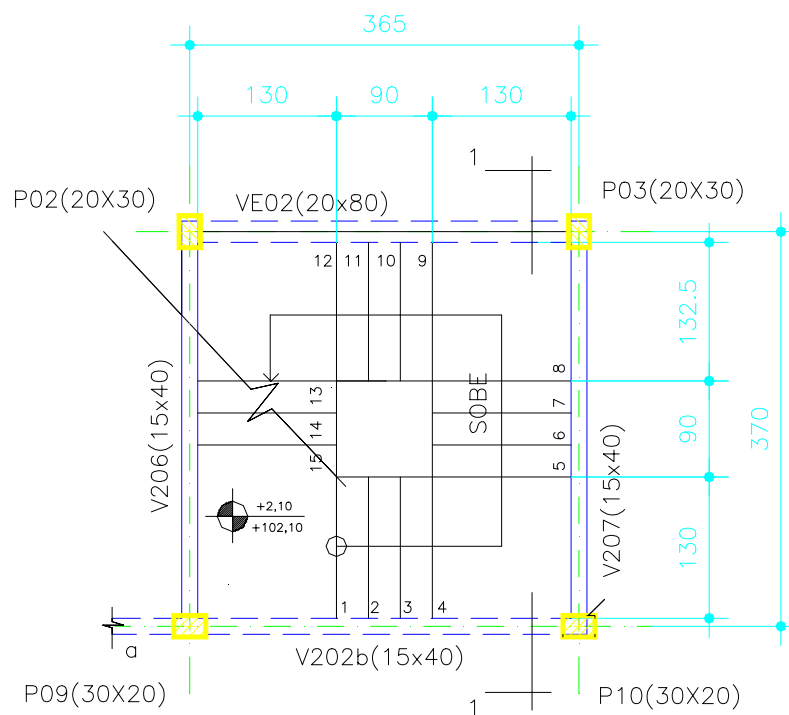
Figura 4.8 - Desenho de fôrmas de parte de um pavimento de um edifício de concreto armado

Na Figura 4.9 apresenta-se um corte esquemático de um edifício de concreto armado, representado usualmente junto à planta de fôrmas, com a finalidade de facilitar a identificação do pavimento a que o desenho de fôrmas se refere.



**Figura 4.9** - Corte esquemático de um edifício de concreto armado

Na Figura 4.10 apresenta-se um desenho de fôrmas de uma escada de quatro lances.



**Figura 4.10** - Desenho de fôrmas de uma escada de quatro lances.

Alguns princípios devem ser seguidos no desenvolvimento de um desenho de fôrmas:

- A planta de fôrmas de um pavimento representa a sua projeção em um plano paralelo, situado na parte inferior. As arestas visíveis são aquelas que ficam voltadas para o plano de projeção. A exceção nesta regra ocorre no desenho de fôrmas de escadas, sapatas e blocos de fundação, nos quais as arestas visíveis são aquelas que ficam voltadas para um plano paralelo situado na parte superior.
- O corte compreende a projeção, em plano vertical, que passa imediatamente antes da seção a representar.
- A elevação compreende a projeção, em plano vertical, que passa imediatamente antes do conjunto a representar, sem corte de qualquer elemento.

#### 4.5.2 Designação das peças

A designação das peças na planta de fôrmas é feita através de símbolos, seguidos do respectivo número de ordem. Os símbolos utilizados são:

- |           |     |
|-----------|-----|
| • Lajes   | L   |
| • Vigas   | V   |
| • Pilares | P   |
| • Blocos  | B   |
| • Paredes | PAR |

Para que um elemento estrutural possa ficar perfeitamente definido em um desenho de fôrmas, é necessário definir suas dimensões, locação e posição em relação a eixos, divisas, testadas ou linhas de referência relevantes.

#### 4.5.3 Recomendações gerais para o desenho de fôrmas

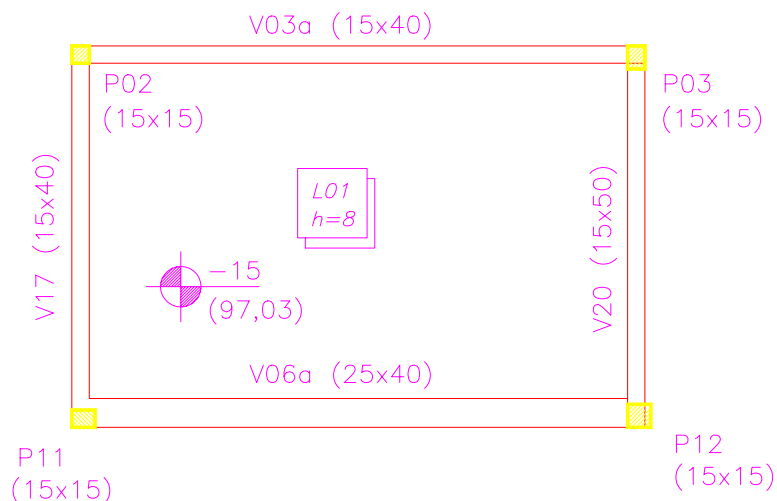
Para confecção de desenhos de fôrmas devem ser observadas uma série recomendações de acordo com o tipo de elemento representado:

##### 4.5.3.1 Lajes

A numeração das lajes deverá ser feita começando do canto superior esquerdo do desenho, prosseguindo-se para a direita, sempre em linhas sucessivas, de modo a facilitar a localização de cada laje. Ou seja, a numeração deverá ser feita de cima para baixo e da esquerda para a direita (Figura 4.7). As lajes simétricas podem ser identificadas pelo mesmo número.

As espessuras das lajes devem ser indicadas em cada laje ou em nota à parte.

Os rebaixos ou superelevações da face superior das lajes serão indicados pelo valor em centímetros, precedido do sinal (-) ou (+), utilizando-se uma simbologia apropriada (Figura 4.11)



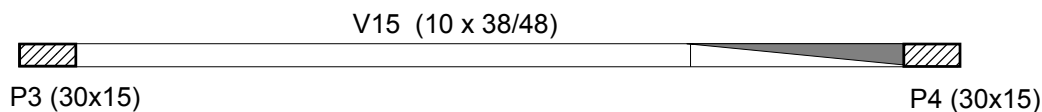
**Figura 4.11-** Indicação de rebaixo em uma laje

#### 4.5.3.2 Vigas

Para as vigas horizontais a numeração deverá ser feita a partir do canto superior esquerdo, prosseguindo-se por alinhamentos sucessivos até atingir o canto inferior direito. Para as vigas verticais, partindo-se do canto inferior esquerdo, para cima, por fileiras sucessivas, até atingir o canto superior direito. Numera-se primeiramente as vigas horizontais e depois as verticais (Figura 4.7).

Para as vigas cuja inclinação com a horizontal variar de 0 a 45° podem ser consideradas como dispostas horizontalmente.

Cada vão das vigas contínuas será designado pelo número comum à viga, seguido de uma letra maiúscula. Junto da designação de cada viga deverão ser indicadas suas dimensões. Quando houver mísula, traça-se uma diagonal do retângulo representativo da mísula e hachura-se um dos triângulos resultantes, assinalando-se a variação numérica das dimensões (Figura 4.11).



**Figura 4.11-** Representação de uma mísula em uma viga

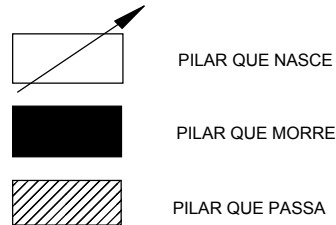
#### 4.5.3.3 Pilares

A numeração dos pilares deverá ser feita partindo-se do canto superior esquerdo, prosseguindo-se por alinhamentos sucessivos até atingir o canto inferior direito (Figura 4.7). As dimensões dos pilares deverão ser indicadas ao lado de cada pilar, acompanhadas de sua identificação. Na numeração dos pilares, normalmente não se utiliza a simetria da estrutura por se considerar que este procedimento poderia causar sérias dúvidas durante a execução.

A variação das dimensões dos pilares é um procedimento comum quando se tem pavimentos-tipo em uma edificação. Admite-se que esta variação de dimensões das seções

transversais possa ser mostrada através de uma tabela, sem a necessidade de modificar a planta de fôrmas do pavimento tipo.

Para que se tenha uma perfeita definição dos pilares em um desenho de fôrmas é necessário se adotar uma convenção apropriada, indicando os elementos que nascem, passam ou morrem no nível detalhado (Figura 4.12).



**Figura 4.12** - Convenção típica de pilares

#### 4.5.3.4 Sistema de cotagem

De uma forma geral, as cotas de um desenho de fôrmas são calculadas a partir da planta de arquitetura, descontando-se 2,5cm de revestimento de cada face das paredes, mantendo-se a posição dos eixos das paredes.

Na planta de fôrmas as cotas são dadas de eixo a eixo de pilares e complementadas por outras, de face a face de vigas.

