

con | si

CONSIDERAÇÕES
INICIAIS SOBRE
O PROJETO
ESTRUTURAL

de
ra
ções

USUALMENTE A PRIMEIRA prancha de um projeto estrutural é a *locação dos pilares*. Isso acontece porque a lógica por detrás da numeração das pranchas é que sigam a ordem em que os elementos serão construídos. Na sequência, portanto, encontram-se as pranchas com os detalhes de fundações, armadura de pilares, escada, formas, armaduras de lajes e vigas de cada um dos pavimentos, culminando com a casa de máquinas e a caixa-d'água.

Como foi dito, a locação dos pilares geralmente é a primeira prancha do projeto a ser apresentada, mas não é por ela que o projeto se inicia. Aliás, pode-se dizer que, a rigor, o projeto começa bem antes da fase de apresentação gráfica. Envolve a escolha dos materiais, a concepção do sistema estrutural, a determinação das cargas que atuarão na estrutura, a análise dos esforços, passando pelo dimensionamento e detalhamento de todos os elementos.

1.1 MATERIAIS

Pode-se dizer que o projeto estrutural se inicia pela escolha dos materiais de que a estrutura será feita. Será uma estrutura de aço, madeira, alumínio, concreto? No caso específico das estruturas de concreto, que é o objeto de estudo deste livro, é preciso que se definam as classes de resistência e os tipos de aço que serão utilizados na sua execução. Caso se empreguem apenas aços do tipo CA, diz-se que a estrutura é de concreto armado. O uso de aços do tipo CA e CP numa mesma estrutura implica dizer que ela é feita de concreto protendido.

Como é realizada essa escolha da classe de resistência que o concreto deverá ter? O engenheiro estrutural geralmente consulta seu cliente sobre os valores usuais empregados em suas obras. No caso dos novos construtores, pode-se sugerir valores habituais adotados em certa região. Hoje em dia dificilmente se encontra uma estrutura com valores de f_{ck} (resistência característica do concreto à

compressão) inferiores a 30 MPa, valor bem superior aos praticados nas décadas de 1970, 1980 e 1990, quando se especificava f_{ck} entre 15 MPa e 20 MPa mesmo para edifícios altos.

Pode-se dizer o mesmo a respeito do aço. Algumas construtoras preferem trabalhar com estruturas de concreto armado, pois muitas vezes essa já é a sua prática há décadas e não desejam mudar. Já outras não se importam de utilizar novos materiais, como o concreto protendido com cordoalha não aderente.

1.2 SISTEMAS ESTRUTURAIS

Um sistema é um conjunto de elementos interconectados de modo a formar um todo organizado. Todo sistema possui um objetivo geral a ser atingido. No caso dos sistemas estruturais, o objetivo é suportar os carregamentos que incidem sobre a estrutura e conduzi-los de forma segura para o solo.

Para cada concepção arquitetônica existem várias possibilidades de sistemas estruturais. O fato de se optar por certas soluções para os pavimentos implica arranjos estruturais bastante diversos.

Uma solução concebida para ser executada em concreto protendido tenderá a ser bem diferente de uma solução para concreto armado. Comumente essas estruturas possuem vãos maiores e conseqüentemente menos pilares quando comparadas às estruturas projetadas para concreto armado. No pavimento, pode-se optar por solução com lajes maciças, nervuradas, lajes planas diretamente apoiadas em pilares e lajes pré-fabricadas com ou sem o uso de protensão.

Pode-se dizer que é nessa fase que os grandes profissionais se sobressaem. É a fase da concepção, em que a criatividade e o conhecimento sobre o comportamento dos materiais vão resultar em uma estrutura mais adequada às restrições impostas pela arquitetura, pelos métodos construtivos e pelos custos envolvidos para executá-la. Um mesmo projeto arquitetônico entregue a dez enge-

nheiros diferentes resultará em dez soluções diferentes. Haverá a solução que gastará menos materiais, a de mais fácil execução e a que conduzirá à obra mais barata.

1.3 CARREGAMENTOS

A determinação dos carregamentos que incidem sobre a estrutura é uma das fases mais importantes do desenvolvimento do projeto estrutural naquilo que diz respeito à segurança. É preciso que se estimem essas cargas com certa precisão para que o dimensionamento dos elementos possa ser feito de modo a evitar o desperdício ou, o que é pior, a perda da estabilidade, que poderia resultar num inteiro colapso.

Quanto à ocorrência dessas cargas, as normas brasileiras as classificam em permanentes, variáveis (ou acidentais) e excepcionais.

Entendem-se como cargas permanentes aquelas que atuam com valores praticamente constantes durante toda a vida útil da estrutura. Tome-se como exemplo o peso próprio que passa a atuar no momento da desforma e vai até o momento do colapso do elemento. Outros exemplos de cargas permanentes são pisos, revestimentos, paredes e protensão.

As cargas acidentais, por outro lado, são aquelas cuja atuação varia com o tempo. A grande maioria são as cargas de utilização, como o peso de pessoas e objetos. Imagine-se uma laje que suporta uma sala de aula. No momento da aula, a laje está carregada com o professor e sua turma de alunos, mas no intervalo ou durante a madrugada o peso daquelas pessoas não mais estará presente.

A NBR 6120 (ABNT, 1980) prescreve os valores de cargas acidentais que devem ser usados para cada tipo de utilização. Os valores mais usuais podem ser visualizados na Tab. 1.1.

Já as cargas excepcionais são as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida

da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas. De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003), consideram-se como excepcionais as cargas decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

Tab. 1.1 VALORES DE CARGA ACIDENTAL

Utilização	Carga acidental	
	(kN/m ²)	(kgf/m ²)
Forro sem acesso a pessoas	0,50	50
Residência	1,50	150
Escritório	2,00	200
Sala de aula	3,00	300
Estacionamento	3,00	300
Loja	4,00	400
Sala de ginástica	5,00	500

Fonte: NBR 6120 (ABNT, 1980).

Outra carga acidental de grande importância é o vento. Especialmente em galpões e edifícios altos, sua influência sobre a estrutura é bastante significativa. Numa dada localidade, a força do vento numa edificação é fortemente influenciada pela topografia do terreno, pelas características das construções vizinhas e por sua aerodinâmica.

No Brasil, a NBR 6123 (ABNT, 1988) fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações. Uma ressalva é que essa norma não se aplica a edificações de formas, dimensões ou localização fora do comum, casos em que estudos especiais devem ser feitos para determinar as forças atuantes do vento e seus efeitos.

1.4 CÁLCULO

Hoje em dia, o cálculo dos esforços a que os elementos estarão submetidos, bem como o dimensionamento de suas seções e o detalhamento de sua armadura, é realizado por meio de sistemas computacionais extremamente sofisticados. No Brasil, esses sistemas precisam trazer na sua programação os métodos de cálculo preconizados pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

São sistemas que simulam o comportamento do edifício em modelos 3D e por isso conseguem prever se as oscilações da estrutura causarão desconforto aos ocupantes. Por serem bastante complexos, esses sistemas exigem um alto grau de perícia na sua utilização.

1.5 APRESENTAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL

Do ponto de vista da apresentação gráfica, o projeto estrutural tem basicamente dois tipos de desenhos: forma e armadura.

Como o nome diz, os desenhos de forma (fôrma) determinam a forma (fórma) da estrutura. Nessa planta, portanto, está definida toda a geometria da edificação, o que inclui a indicação dos elementos estruturais acompanhados de suas respectivas dimensões. Assim como a planta baixa utilizada nos projetos arquitetônicos, o desenho de forma é obtido a partir de um corte horizontal feito à altura de 1,50 m em relação a um plano de referência. A diferença é que na planta baixa representa-se o que está abaixo do plano e na forma representa-se o que está acima.

Os desenhos de armadura detalham a forma das barras e cabos e especificam suas quantidades e diâmetros, bem como seu posicionamento dentro dos elementos estruturais.

Os aços mais utilizados em estruturas de concreto armado são os do tipo *CA50* e *CA60*. As barras de *CA50* são fabricadas pelo processo de laminação a quente, com saliências longitudinais e nervuras transversais. Na sua nomenclatura, o *CA* significa aço para concreto armado

e o 50 refere-se à sua tensão de escoamento, que é de 50 kgf/mm² ou 5.000 kgf/cm². Esses aços são geralmente comercializados em barras de 12 m. Tamanhos maiores precisam ser encomendados diretamente dos fabricantes.

Os aços do tipo CA60, por terem diâmetros inferiores a 10 mm e serem obtidos pelo processo de trefilação de máquina, são classificados como fios pela NBR 7480 (ABNT, 2007). São fornecidos em rolos com peso aproximado de 170 kg. De modo similar ao CA50, são aços para concreto armado cuja tensão de escoamento é de 60 kgf/mm².

Na Tab. 1.2 podem-se observar os diâmetros mais usuais encontrados nos projetos estruturais, acompanhados de suas respectivas áreas e pesos. O Boxe 1.1 demonstra como se pode obter o peso linear para qualquer bitola de aço.

Tab. 1.2 DIÂMETROS USUAIS DE AÇOS DO TIPO CA

Tipo de aço	φ (mm)	Área (cm²)	Peso (kg/m)
CA60	5,0	0,20	0,16
	6,0	0,28	0,22
	8,0	0,50	0,40
	10,0	0,80	0,63
CA50	12,5	1,25	1,00
	16,0	2,00	1,60
	20,0	3,15	2,50
	25,0	4,91	3,85

Em cada prancha de armadura encontram-se a tabela e o resumo de armadura. O objetivo da *tabela de armadura* é orientar o corte das barras, pois, conforme pode ser visto na Tab. 1.3, ela especifica o elemento estrutural com suas repetições e a bitola da barra com suas quantidades e seu comprimento unitário.

Tab. 1.3 TABELA DE ARMADURA

Elemento	Posição	Bitola (mm)	Quantidade	Comprimento unitário (cm)
B0260 (X8)	1	12,5	80	290
	2	25	96	400
	3	12,5	64	396
	4	10	160	355
B0260A (X2)	1	20	12	453
	2	20	12	563
	3	12,5	16	559
	4	10	66	355
B0360 (X4)	1	20	52	425
	2	20	60	405
	3	12,5	40	292
	4	12,5	40	272
	5	12,5	44	290
	6	12,5	48	270
B0460 (X16)	1	25	480	460
	2	12,5	384	292
	3	12,5	384	290
B0760 (X2)	1	25	50	615
	2	25	44	655
	3	12,5	80	400
	4	12,5	36	440
	5	12,5	32	402
	6	12,5	32	442
	7	8	16	342
	8	8	14	382
	9	8	112	200

Por exemplo, para preparar a armadura de oito elementos B0260, o armador de ferragens cortará:

- 80 barras de $\phi 12,5$ mm com 290 cm de comprimento;
- 96 barras de $\phi 25$ mm com 400 cm de comprimento;
- 64 barras de $\phi 12,5$ mm com 396 cm de comprimento;
- 160 barras de $\phi 10$ mm com 355 cm de comprimento.

Notar que a coluna *Posição* identifica a barra. Por exemplo, no desenho de armadura, a barra identificada como *N1* aparecerá na tabela de armadura na Posição 1, *N2* na Posição 2 e assim por diante.

O *resumo de armaduras* tem por objetivo indicar a quantidade de aço necessária para executar os elementos constantes na prancha. É um item importante, pois, como o aço é comprado pelo peso, essa tabela facilita o processo. Um exemplo de resumo pode ser visto na Tab. 1.4. Para executar os elementos detalhados na prancha são necessários 133 kg de $\phi 8,0$ mm, 505 kg de $\phi 10,0$ mm etc. Ao todo serão precisos quase 19 t de aço para a execução dos elementos.

Tab. 1.4 RESUMO DE ARMADURAS

Resumo aço CA50-60			
Aço	Bitola (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)
50A	8	332	133
50A	10	802	505
50A	12,5	4.041	4.041
50A	20	586	1.465
50A	25	3.188	12.751
Peso total 50A = 18.895 kg			

Um aspecto importante dos desenhos de armadura é que não se desenha cada uma das barras que serão colocadas dentro das peças estruturais, como está demonstrado na Fig. 1.1A. O desenho ficaria confuso e muito carregado. Em vez disso, desenha-se um ferro representativo e nele se põe uma codificação, conforme pode ser visto na Fig. 1.1B.

O termo *ferro* ou *ferragem* é largamente utilizado nas construções, apesar do fato de o material constituinte dos fios e vergalhões ser o aço.

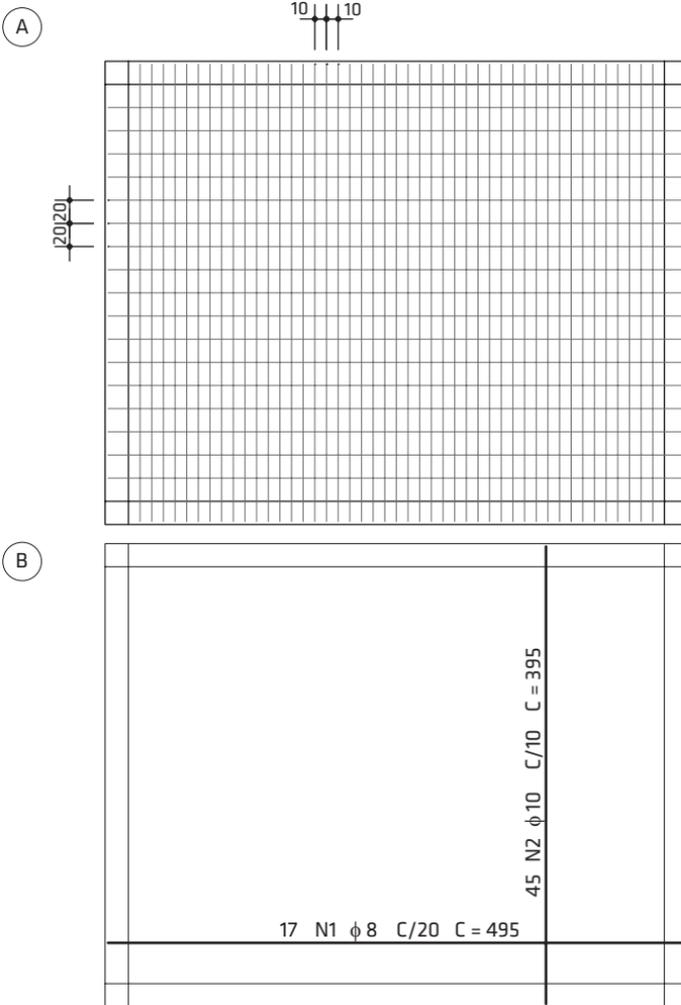


Fig. 1.1 Representação de armadura de lajes: (A) com todas as barras desenhadas; (B) com a codificação adotada nos projetos estruturais

Existem duas maneiras de codificar as armaduras. A primeira, utilizada em armaduras distribuídas, está demonstrada na Fig. 1.2.

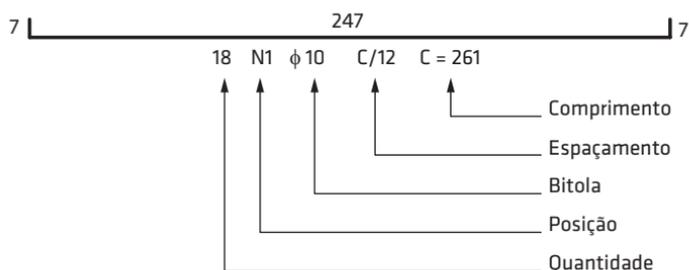


Fig. 1.2 Representação de armadura distribuída

A leitura que se faz do ferro N1 é: 18 barras de $\phi 10,0$ mm espaçadas a cada 12 cm e com comprimento de 261 cm. O ferro terá ainda duas dobras de 7 cm. Esse tipo de representação é utilizada em armadura de sapatas, blocos de coroamento de estacas e lajes.

Para armadura não distribuída, a representação é feita conforme a Fig. 1.3. No exemplo mostrado nessa figura, a leitura do ferro N3 é feita do seguinte modo: duas barras de 12,5 mm com comprimento de 580 cm; dobra esquerda, 40 cm, e dobra direita, 40 cm. Essa representação é comumente encontrada em armadura de vigas e pilares.

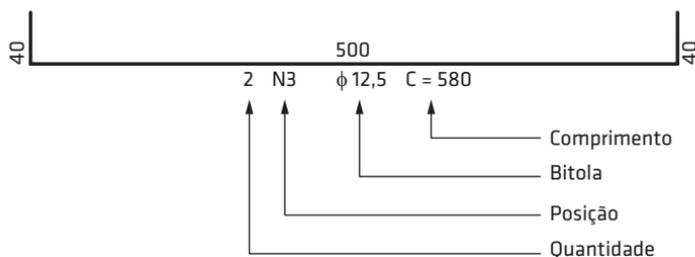


Fig. 1.3 Representação de armadura

Boxe 1.1 CÁLCULO DO PESO LINEAR DE UMA BARRA DE AÇO

Para calcular o quanto determinada barra de aço pesa por metro de comprimento, é preciso saber seu peso específico e seu diâmetro.

O peso específico de um material é definido como:

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (1.1)$$

em que P é o peso do material (kgf) e V é o volume (m^3).

O peso então é calculado conforme a equação:

$$P = \gamma \cdot V \quad (1.2)$$

A barra tem formato cilíndrico (Fig. 1.4), então seu volume pode ser expresso pelo produto da área do círculo pelo comprimento. Como

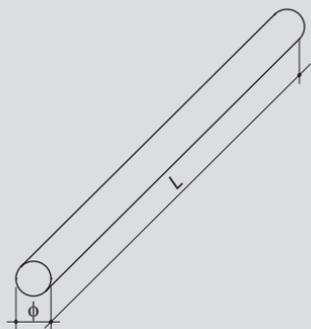


Fig. 1.4 Barra com formato cilíndrico

os diâmetros são expressos em milímetros, é preciso convertê-los em metros para que o volume seja calculado em metros cúbicos. Isso é feito dividindo-os por 1.000. A equação do volume fica como mostrado a seguir:

$$V = \frac{\pi \left(\frac{\phi}{1.000} \right)^2}{4} L \quad (1.3)$$

Ao fazer $L = 1$ m, tem-se o volume da barra para 1 m de comprimento. Simplificando a Eq. 1.3, chega-se a:

$$V = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4.000.000} \quad (1.4)$$

Para o aço, $\gamma = 7.850$ kgf/ m^3 . Ao substituir γ e V na Eq. 1.2, tem-se:

$$P = \frac{7.850\pi}{4.000.000} \phi^2 \quad (1.5)$$

Simplificando a Eq. 1.5, obtém-se a expressão para o cálculo do peso linear das barras de aço:

$$P = 0,006165\phi^2 \quad (1.6)$$

Exemplo:

Calcular o peso linear de uma barra de 12,5 mm de diâmetro.

Resposta: $P = 0,006165(12,5)^2 = 0,9633 \text{ kg/m} \approx 1 \text{ kg/m}$

MOMENTO DA CHARGE



Mesmo tendo disponível a NBR 6120 (ABNT, 1980), pode-se dizer que prever as cargas que atuarão na estrutura ao longo de toda sua vida útil pode ser um exercício de futurologia. Por exemplo, em Fortaleza (CE) há vários casarões construídos entre as décadas de 1940 e 1970 que posteriormente foram transformados em escolas

de idiomas ou receberam órgãos governamentais. Via de regra, essas edificações são amplas, com quartos grandes com áreas que podem chegar a 20 m² ou mais. Para quartos, a NBR 6120 (ABNT, 1980) preconiza cargas acidentais de 150 kgf/m². Hoje esses espaços projetados para abrigar um casal funcionam como salas de aula cuja carga é de 300 kgf/m². Ou seja, o dobro do projetado! Também não é incomum que, após algum tempo, se deseje utilizar as lajes de cobertura dos edifícios para outras atividades, tais como terraços para uso comum ou mesmo como espaços para a instalação de condensadores de aparelhos de ar condicionado, placas solares acopladas a sistemas de aquecimento de água, ou mesmo antenas de celular, com todo seu conjunto de aparelhos usado para processar os sinais. Por isso, esta charge é pertinente e o Dr. Chico tenta prever o que acontecerá daqui a alguns anos com a edificação que ele está projetando.