



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 / 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 210-3122
Fax: (21) 220-1762/220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2001
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

DEZ 2001

NBR 9062

Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado

Origem: Projeto de Emenda NBR 9062:2001
ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:003.06 - Comissão de Estudo de Estruturas de Elementos de Concreto
Pré-Fabricados
NBR 9062 - Design and execution of preshape concrete
Descriptors: Preshape concrete
Esta Emenda complementa a NBR 9062:1985
Válida a partir de 30.01.2002

Palavra-chave: Concreto pré-moldado

1 página

Esta **Emenda nº 1 de DEZ 2001**, em conjunto com a NBR 9062:1985, equivale à NBR 9062:2001.

Esta **Emenda nº 1 de DEZ 2001** tem por objetivo alterar a NBR 9062:1985 no seguinte:

- Excluir da seção 2 o seguinte:

NBR 5627 - Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo - Procedimento.

- Incluir na seção 2 o seguinte:

Eurocode 2 - Design of concrete structures Part 1.2 General rules - Structural fire design.

- Alterar a seção 9.2.1.1.1 como a seguir:

“No caso de estruturas que devem ser resistentes ao fogo o cobrimento deve atender às prescrições do Eurocode 2 - Design of concrete structures Part 1.2 General rules - Structural fire design, para aqueles casos em que seja necessária a verificação do projeto em condições de incêndio”.



**ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (21) 210-3122
Fax: (21) 220-1762/220-6436
Endereço Telegráfico:
www.abnt.org.br

Copyright © 1992,
ABNT—Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 1985

NBR 9062

Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado

Procedimento

Origem: NB-949/1985 (Projeto 02:003.06-006)
CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:003.06 - Comissão de Estudo de Estruturas de Elementos de Concreto Pré-fabricados
NBR 9062 - Reinforced and prestressed concrete - Design and construction of pre-molded concrete structures - Procedure
Descriptors: Concrete structure. Concrete wonte. Reinforced concrete. Prestressed concrete
Incorpora Errata Nº 1 de OUT 1986

Palavras-chave: Concreto. Estrutura. Obra de concreto

36 páginas

SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Documentos complementares
- 3 Definições
- 4 Símbolos gráficos
- 5 Projeto de estruturas pré-moldadas
- 6 Projeto de elementos pré-moldados
- 7 Ligações
- 8 Materiais
- 9 Produção de elementos pré-moldados
- 10 Manuseio, armazenamento e transporte de elementos pré-moldados
- 11 Montagem de elementos pré-moldados
- 12 Controle de qualidade e inspeção

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis no projeto, na execução e no controle de estruturas pré-moldadas de concreto armado ou protendido, excluídas aquelas em que se empreguem concreto leve ou outros especiais.

1.2 Esta Norma aplica-se também em estruturas mistas, ou seja, aquelas constituídas parcialmente de elementos pré-moldados e elementos moldados no local.

1.3 O objetivo imediato desta Norma é o uso de estruturas pré-moldadas em edifícios; porém, suas prescrições podem ser utilizadas, quando pertinentes, no projeto e execução de estruturas para fundações, obras viárias e demais elementos de utilização isolada.

1.4 Esta Norma distingue os elementos pré-moldados dos pré-fabricados (conforme definições de 3.5 e 3.6), estabelecendo condições específicas de projeto, produção e controle de qualidade conforme 5.2.6, 8.1.2.1, 9.1.2, 9.2.1.1, 9.2.5.3 e 12.2.

2 Documentos complementares

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 5601 - Classificação por composição química dos aços inoxidáveis - Padronização

NBR 5627 - Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo - Procedimento

NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos - Método de ensaio

NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto - Método de ensaio

NBR 6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado - Procedimento

NBR 6122 - Projeto e execução de fundações - Procedimento

NBR 6649 - Chapas finas a frio de aço-carbono para uso estrutural - Especificação

NBR 6650 - Chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural - Especificação

NBR 7197 - Cálculo e execução de obras de concreto protendido - Procedimento

NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação

NBR 7480 - Barras e fios de aço destinados a armadura para concreto armado - Especificação

NBR 7481 - Telas de aço soldadas para armadura de concreto - Especificação

NBR 7182 - Fios de aço para concreto protendido - Especificação

NBR 7483 - Cordoalhas de aço para concreto protendido - Especificação

NBR 7681 - Calda de cimento para injeção - Especificação

NBR 7808 - Símbolos gráficos para projetos de estruturas - Simbologia

NBR 8681 - Ações e seguranças nas estruturas - Procedimento

3 Definições

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições de 3.1 a 3.15.

3.1 Ajuste

Diferença entre a medida nominal de dimensão de projeto reservado para a colocação de um elemento e a medida

nominal da dimensão correspondente do elemento. O ajuste pode ser positivo ou negativo (ver Figura 1).

3.2 Colarinho

Conjunto de paredes salientes do elemento de fundação, que contornam a cavidade destinada ao encaixe dos pilares.

3.3 Desvio

Diferença entre a dimensão básica e a correspondente executada.

3.4 Dimensão básica

Dimensão do elemento pré-moldado estabelecida no projeto, consideradas as folgas necessárias para possibilitar a montagem.

3.5 Elemento pré-moldado

Elemento que é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade, conforme 12.3.

3.6 Elemento pré-fabricado

Elemento pré-moldado, executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade, conforme 12.2.

3.7 Folga para ajuste negativo

Diferença entre a medida máxima da dimensão de projeto reservada para a colocação de um elemento e a medida mínima da dimensão correspondente do elemento. Equivale à menor extensão possível do apoio (ver Figura 1).

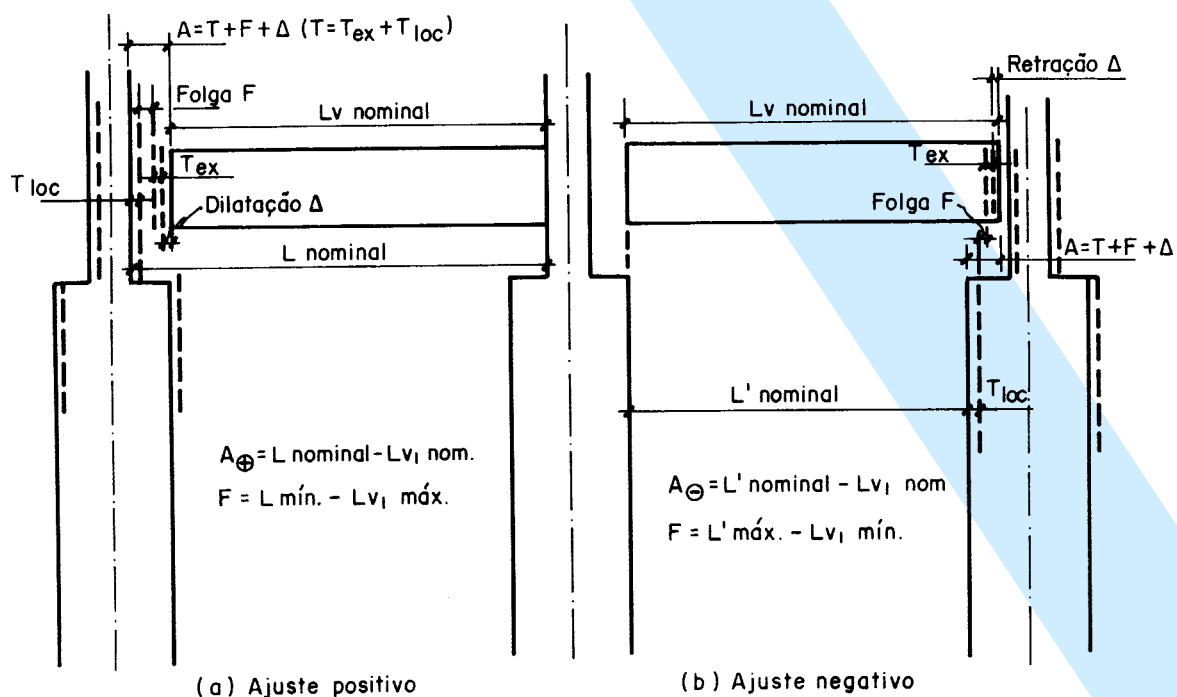


Figura 1

3.8 Folga para ajuste positivo

Diferença entre a medida mínima da dimensão de projeto reservada para a colocação de um elemento e a medida máxima da dimensão correspondente do elemento. Equivale ao espaço mínimo para viabilizar a montagem (ver Figura 1).

3.9 Inserto

Qualquer peça incorporada ao concreto na fase de produção, para atender a uma finalidade de ligação estrutural ou para permitir fixações de outra natureza.

3.10 Ligações

Dispositivos utilizados para compor um conjunto estrutural a partir de seus elementos, com a finalidade de transmitir os esforços solicitantes, em todas as fases de utilização, dentro das condições de projeto.

3.11 Peças compostas

Elementos de concreto executados em moldagens distintas e interligados de forma a atuar em conjunto sob o efeito das ações aplicadas após a sua junção. A seção transversal de tal peça é denominada "seção composta".

3.12 Rugosidade

Saliências e reentrâncias conseguidas através de apicoamento do concreto endurecido ou de dispositivos, ou processos especiais por ocasião da moldagem do concreto, de maneira a criar irregularidade na superfície do elemento. Para os efeitos desta Norma, a rugosidade é medida pela relação entre as alturas das saliências ou reentrâncias e sua extensão.

3.13 Tolerância (desvio permitido)

Valor máximo aceito para o desvio, prescrito obrigatoriamente no projeto.

3.14 Tolerância global do elemento

Soma estatística das tolerâncias positivas e negativas, em módulo, constatadas na fabricação e no posicionamento do elemento, somada com a tolerância de locação em módulo.

3.15 Variação inerente

Variação de dimensões, correspondente a fenômenos físicos, como dilatação térmica, retração e fluência.

4 Símbolos gráficos

4.1 Notações

As notações nesta Norma correspondem àquelas fixadas na NBR 7808, na NBR 6118 para concreto armado e na NBR 7197 para concreto protendido, mais as específicas do concreto pré-moldado definidas no texto.

4.2 Unidades

As expressões desta Norma são dadas para o Sistema Internacional de Unidades.

Nota: Admite-se $10 \text{ kgf/cm}^2 = 1 \text{ MPa}$.

5 Projeto de estruturas pré-moldadas

5.1 Processos de cálculo

5.1.1 Generalidades

5.1.1.1 De modo geral, aplicam-se às estruturas de concreto pré-moldado as regras e processos de cálculo relativos às estruturas moldadas no local, conforme disposto na NBR 6118, complementados pelo prescrito nos Capítulos 5,6 e 7.

5.1.1.2 As estruturas devem ser verificadas em relação aos graus de liberdade adicionais, completos ou parciais, introduzidos pelos elementos pré-moldados.

5.1.1.3 Consideração especial deve ser dada às incertezas que podem afetar as reações mútuas dos elementos e de suas ligações.

5.1.1.4 Devem ser tomados cuidados especiais na organização geral da estrutura e nos detalhes construtivos, de forma a minimizar a possibilidade de colapso progressivo.

5.1.2 Análise da estabilidade

5.1.2.1 A estabilidade das estruturas constituídas de elementos pré-moldados deve ser verificada tanto para os elementos constituintes isolados como para o conjunto. Deve ser levada em conta a diminuição de rigidez das peças para a situação de carga de projeto, adotando-se para os coeficientes de majoração das ações os valores γ_f prescritos na NBR 6118. O valor do comprimento de flambagem que se deve usar na determinação de γ_f deve ser analisado em cada caso particular, em função das condições de vínculo do elemento isolado. Nos casos em que essas condições de vínculo são difíceis de determinar previamente, variando do engastamento perfeito à articulação fixa, deve-se determinar diretamente a carga de flambagem e deduzir o comprimento de flambagem a partir da carga crítica de Euler, $F_{\text{crit},E}$:

$$L_e = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{F_{\text{crit},E}}{EI}}}$$

5.1.2.2 A carga crítica $F_{\text{crit},E}$ de cada elemento considerado isoladamente é determinada a partir da carga crítica do conjunto, mantendo as proporções da carga de serviço na situação mais desfavorável para o elemento em estudo.

5.1.2.3 A carga crítica do conjunto é determinada por qualquer processo em regime elástico, aplicável às estruturas de concreto armado ou protendido, consideradas as condições de vínculo mais desfavoráveis.

5.1.2.4 A rigidez EI a ser adotada é a rigidez efetiva que pode ser obtida a partir do produto $E_c I_c$ da seção bruta com o seguinte coeficiente de redução, aplicável a pilares de pórticos com armadura simétrica:

$$k = 0,2 + 15 \rho$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$EI = k \cdot E_c \cdot I_c$$

5.1.3 Determinação aproximada do efeito de 2ª ordem

5.1.3.1 Na ausência de um cálculo rigoroso, permite-se substituir o efeito de 2ª ordem por um acréscimo nas ações horizontais de vento (q_w) e desaprumo (q_θ) usando a seguinte expressão:

$$q = (q_w + q_\theta) \left(1 + \frac{1}{\mu} \right)$$

Sendo:

$$\mu = 1,275 \left(\frac{7,83}{\alpha^2} - 1 \right) > 0$$

$$\alpha = H \sqrt{\frac{\sum N_i}{\sum (EI)_i}}$$

Onde:

$\sum N_i$ = carga total nas fundações

H = altura total da edificação, acima do nível da fundação

$\sum (EI)_i$ = soma das rigidezes ao nível da fundação

5.1.3.2 Estas expressões devem ser aplicadas nas duas direções principais determinadas na planta no nível das fundações.

5.1.3.3 Para edifícios de planta retangular, podem ser consideradas direções principais as que correspondem à atuação de vento perpendicularmente a cada fachada.

5.2 Especificações gerais

5.2.1 Generalidades

5.2.1.1 A análise dos elementos componentes da estrutura pré-moldada deve partir da definição do comportamento efetivo das ligações, sob o ponto de vista dos graus de liberdade existentes.

5.2.1.2 As dimensões dos elementos, inclusive a geometria das seções transversais, devem ser fixadas levando em conta as tolerâncias globais compatíveis com o processo construtivo (fabricação e montagem) conforme estabelecido em 5.2.2.

5.2.1.3 A análise da estrutura deve levar em conta as retrações e as eventuais deformações diferenciais entre concretos de diferentes idades, composições e propriedades mecânicas.

5.2.1.4 A análise deve ser efetuada considerando todas as fases por que possam passar os elementos, susceptíveis de apresentarem condições desfavoráveis quanto aos estados limites último e de utilização. As fases frequentes que exigem dimensionamento e verificação dos elementos são:

- a) de fabricação;
- b) de manuseio;
- c) de armazenamento;
- d) de transporte;
- e) de montagem;
- f) de serviço (preliminar e final).

5.2.1.5 A fase final de serviço não se considera encerrada, senão quando houver a ligação definitiva do elemento com os outros elementos da estrutura.

5.2.1.6 As zonas dos elementos que serão ligadas aos demais elementos da estrutura constituem trechos singulares, devendo ser dimensionadas e ter sua segurança demonstrada através dos requisitos do Capítulo 7.

5.2.2 Tolerâncias

5.2.2.1 No projeto de estruturas compostas de elementos pré-moldados, é necessário estabelecer folgas e tolerâncias e dimensionar os elementos e as ligações, levando-se em conta os desvios de produção, de locação e verticalidade da obra e de montagem dos elementos, conforme definido no Capítulo 3. De acordo com as definições, o ajuste é igual à tolerância global somada com as variações inerentes e a folga. A partir do ajuste são determinadas as dimensões nominais de fabricação.

5.2.2.2 A tolerância para a dimensão longitudinal dos elementos é a indicada na Tabela 1.

5.2.2.3 A tolerância para as dimensões transversais e a altura dos elementos é de $\pm 0,5$ cm para peças isoladas. Na montagem de elementos que tenham um contorno justaposto a um contorno semelhante, de outro elemento, a tolerância de justaposição é de 2,0 cm.

Tabela 1 - Tolerâncias para as dimensões longitudinais

Comprimento (m)	Tolerância (cm)
até 5,00	$\pm 1,0$
de 5,00 a 15,00	$\pm 1,5$
acima de 15,00	$\pm 2,0$

5.2.2.4 O desvio em relação à linearidade da peça é de no máximo $L/1000$.

5.2.2.5 A tolerância para montagem em planta é de $\pm 1,0$ cm entre apoios consecutivos, não podendo exceder o valor acumulado de 0,1% do comprimento da estrutura.

5.2.2.6 A tolerância em relação à verticalidade é de $\pm 1/300$ da altura até o máximo de 2,5 cm.

5.2.2.7 A tolerância em relação ao nível dos apoios é de $\pm 1,0$ cm, não podendo exceder o valor acumulado de 3,0 cm, quaisquer que sejam as dimensões longitudinal e transversal da estrutura, exceto para caminhos de rolamento, quando este valor é de 2,0 cm.

5.2.2.8 No caso de as fundações terem sido executadas com desvio em relação ao projeto que impeça a montagem conforme as diretrizes expressas em 5.2.2.5, exige-se a execução de uma estrutura intermediária de transição que possibilite a montagem dentro das especificações aqui definidas.

5.2.2.9 A tolerância em planta e em elevação para montagem dos pilares é de $\pm 1,0$ cm.

5.2.2.10 A tolerância em planta para montagem dos blocos pré-moldados sobre a fundação é de $\pm 5,0$ cm.

5.2.2.11 A tolerância em planta para a posição final das estacas ou tubulões é de $\pm 10,0$ cm.

5.2.2.12 No cálculo e dimensionamento de todos os elementos pré-moldados, de suas ligações e da estrutura resultante, devem ser levados em conta os efeitos desfavoráveis dos ajustes sobre as ações e solicitações.

5.2.3 Esforços solicitantes

5.2.3.1 Ações a considerar

5.2.3.1.1 Ações em geral:

- a) no cálculo dos esforços solicitantes, deve ser considerada a influência das ações constituídas pela carga permanente, carga acidental, vento, variação de temperatura, choques, vibrações, esforços repetidos e deslocamentos de apoio conforme prescrito na NBR 6118;
- b) a determinação dos esforços solicitantes deve ser feita considerando-se as combinações desfavoráveis das ações e respectivos coeficientes de ponderação, de acordo com o prescrito na NBR 6118, e na NBR 7197.

5.2.3.1.2 Fluência e retração do concreto e relaxação do aço:

- ao levar em conta a fluência, a retração e a relaxação, na determinação dos esforços solicitantes, devem ser obedecidas as prescrições da NBR 7197.

5.2.3.1.3 Influência do processo de execução:

- a) os esforços provenientes das fases de fabricação, manuseio, armazenamento, transporte e monta-

gem devem ser considerados de acordo com os programas de execução previstos;

b) os efeitos dinâmicos devidos ao manuseio, transporte e montagem dos elementos, devem ser levados em conta de acordo com 5.2.3.6;

c) devem ser considerados os esforços aplicados nos elementos pelos dispositivos de manuseio, transporte e montagem.

5.2.3.1.4 Força de protensão:

- para as ações provenientes da força de protensão, deve ser observado o prescrito na NBR 7197.

5.2.3.2 Engastamento parcial

Sempre que o projeto para execução das ligações for tal que a condição de engastamento perfeito não seja uma evidência comprovável, deve ser considerada no cálculo a influência desfavorável de um engastamento parcial. Deve-se dedicar especial atenção ao comportamento da ligação nos casos de ocorrências de cargas repetidas ou alternadas.

5.2.3.3 Apoios semimóveis

Devem ser considerados os esforços provenientes de apoios não totalmente móveis. Neste caso, deve ser considerada a influência desfavorável da ação do tempo no comportamento do apoio.

5.2.3.4 Continuidade estabelecida posteriormente à montagem

5.2.3.4.1 Nas estruturas com continuidade estabelecida posteriormente à montagem, o projeto da ligação deve ser realizado de maneira a limitar a rotação relativa entre as seções ligadas ao valor de cálculo. Neste caso, a eficiência da ligação deve ser comprovada.

5.2.3.4.2 Na falta de comprovação especial, um coeficiente corretivo $\gamma_n = 1,2$ deve ser aplicado para determinação das solicitações de cálculo da estrutura.

5.2.3.4.3 Quando no cálculo for considerado o efeito da ligação na determinação dos esforços solicitantes, deve ser feita obrigatoriamente a análise da redistribuição das solicitações devidas à fluência do concreto e aos efeitos da retração e da variação de temperatura.

5.2.3.4.4 Permite-se reduzir os momentos sobre os apoios de no máximo 15%, dispensando-se qualquer justificação direta, unicamente alterando-se a posição da linha de fecho determinada no regime elástico.

5.2.3.5 Solicitações dinâmicas no transporte de elementos

5.2.3.5.1 Quando uma análise dinâmica não puder ser efetuada, a solicitação dinâmica pode ser considerada,

aproximadamente, por uma estática equivalente, calculada através do coeficiente de amplificação dinâmica, pela expressão:

$$\text{mín. } g_e = \beta_a \cdot g$$

Onde:

g = carga estática permanente no transporte

g_e = carga estática equivalente

β_a = coeficiente de ação dinâmica

5.2.3.5.2 As solicitações de cálculo são determinadas aplicando-se o coeficiente de majoração γ_f , prescrito na NBR 6118.

5.2.3.5.3 O posicionamento do elemento sobre os apoios no veículo durante o transporte deve ser estudado de maneira que a frequência natural de vibração do elemento esteja suficientemente afastada das frequências de excitação do sistema de transporte.

5.2.3.5.4 Para levar em conta a ação dinâmica, deve ser usado o coeficiente de majoração de pelo menos $\beta_a = 1,3$ para determinar a carga estática equivalente a ser utilizada no dimensionamento ou verificação dos elementos, na ocasião do transporte. Deve ser analisado o possível alívio de "g" por efeito da ação dinâmica resultante das condições de transporte do elemento. Na falta de verificação experimental desse efeito, de acordo com 5.2.6, permite-se utilizar o valor $\beta_a = 0,8$.

5.2.3.6 Manuseio no canteiro e na montagem

5.2.3.6.1 Durante o manuseio e a montagem, os elementos são submetidos a ações dinâmicas.

5.2.3.6.2 Na fixação da carga estática equivalente, deve ser usado o coeficiente $\beta_a = 1,3$. Sob circunstâncias desfavoráveis, como formato do elemento ou detalhes que dificultem a sua extração da forma, superfície de contato com a forma maior que 50 m², deve ser usado um coeficiente $\beta_a = 1,4$.

5.2.3.6.3 Para elementos de peso superior a 300 kN, permite-se utilizar um valor β_a = inferior a 1,3 de acordo com a experiência local, função da forma do elemento e do equipamento de levantamento.

5.2.3.7 Solicitações dinâmicas nos dispositivos de levantamento

Os dispositivos de levantamento, para manuseio e montagem, em contato com a superfície do elemento ou ancorados no concreto devem ser projetados para uma solicitação de cálculo no mínimo igual a quatro vezes a solicitação obtida para o peso próprio do elemento, isto é:

$$\beta_a \cdot \gamma_f \geq 4$$

Nota: É vedado o uso dos aços das categorias CA50 e CA60 em alças de levantamento.

5.2.4 Dimensionamento e verificação dos elementos

5.2.4.1 Estado limite último (de ruína)

5.2.4.1.1 Os elementos devem ser verificados, obrigatoriamente, à ruína por ruptura, por deformação plástica excessiva ou à ruína por instabilidade. Essa verificação deve ser efetuada conforme prescrito na NBR 6118 para concreto armado, completada pela NBR 7197, para concreto protendido, em todas as fases por que possam passar os elementos.

5.2.4.1.2 A armadura de cisalhamento deve obedecer, inclusive com referência aos valores mínimos, ao que prescreve a NBR 6118 e a NBR 7197.

5.2.4.1.3 Em painéis alveolados ou vigotas, destinados à execução de lajes de concreto armado ou protendido, permite-se a dispensa de armadura transversal, desde que seja obedecida a limitação prescrita pela NBR 6118, permitindo-se elevar o limite absoluto de τ_{wu} para 1,5 Mpa. Não sendo obedecida essa exigência, deve-se proceder conforme 5.2.6.

5.2.4.2 Estados limites de utilização

5.2.4.2.1 Os elementos de concreto armado e protendido devem ser verificados obrigatoriamente nas fases de fabricação, manuseio, armazenamento, transporte, montagem e serviço quanto à fissuração, e eventualmente quanto às deformações, conforme prescrito nas NBR 6118 e NBR 7197.

5.2.4.2.2 Na ocasião da aplicação da protensão ao concreto em elementos protendidos de armadura aderente, permitem-se tensões de tração na zona de compressão previamente tracionada de no máximo 1,5 f_{ctj} . A máxima tensão de tração na zona de tração previamente comprimida é determinada apenas pela possibilidade de alojamento das barras de armadura passiva necessárias para que seja garantida a resistência ao estado limite último de ruína.

5.2.4.2.3 A máxima tensão de compressão na zona de compressão (eventualmente previamente tracionada) só pode ultrapassar o limite $f_{cj}/2$ na data em estudo ($f_{cj}/2$ quando forem computadas todas as perdas progressivas) se for possível garantir uma resistência no estado limite último com $\gamma_f > 1,5$. Em nenhum caso, porém, admite-se uma compressão superior a 0,75 f_{cmj} , podendo-se, entretanto, aplicar armadura passiva para essa finalidade.

5.2.4.2.4 Os valores de f_{ctj} e f_{cj} devem ser medidos na ocasião da liberação (ver 9.2.5.3), sendo permitido adotar-se $f_{ctj} = 0,1 f_{cj}$. No comprimento de implantação a_b que define a zona de ancoragem, admite-se variação linear da força de protensão aplicada por armadura aderente, para efeito da verificação da resistência do elemento à força cortante. O valor de a_b é calculado de acordo com a NBR 7197.

5.2.4.2.5 Na determinação dos característicos das seções transversais, deve ser observado o disposto na NBR 7197. Quando se tratar de protensão com armadura aderente, deve ser adotada a seção homogeneizada calculada com relação de equivalência α_p determinada a partir do módulo secante do concreto, podendo adotar-se para este 90% do módulo tangente na origem.

5.2.4.2.6 Na determinação das tensões a longo prazo, tendo sido considerada a perda total de protensão, permite-se, na aceitação da máxima compressão no concreto, usar o valor de f_{co} .

5.2.5 Estado limite de deformação

As flechas e contraflechas limites permitidas dependem da utilização do elemento estrutural, considerando separadamente os casos descritos de 5.2.5.1 a 5.2.5.4.

5.2.5.1 Elementos estruturais de cobertura sem contato, fora dos apoios, com outros elementos, estruturais ou não

As limitações exigidas são:

- a) de contraflechas, iniciais ou a longo prazo, incluído o efeito das seções permanentes:

$$|a| \leq \frac{L}{150}$$

- b) de flechas positivas (considerada carga eventual de empoçamento de água):

$$a \leq \frac{L}{400}$$

- c) de flechas positivas, desde que o elemento tenha inclinação que evite o empoçamento de água:

$$a \leq \frac{L}{200}$$

5.2.5.2 Elementos estruturais de cobertura em contato, fora dos apoios, com outros elementos, estruturais ou não

Atendido o disposto em 5.2.5.1, a variação da flecha Δ_a , proveniente de ações a longo prazo e carga acidental, deve atender a:

$$|\Delta_a| \leq \frac{L}{250}$$

Nota: Exceções devem ser estudadas em cada caso particular, quando os elementos em contato possam sofrer danos.

5.2.5.3 Elementos de piso não suportando ou sem contato com elementos não estruturais

5.2.5.3.1 As limitações exigidas são que a flecha positiva máxima, sob ação da carga total, não deva ultrapassar a:

$$\text{- flecha inicial: } a_0 \leq \frac{L}{500}$$

$$\text{- flecha a longo prazo: } a_\infty \leq \frac{L}{300}$$

5.2.5.3.2 A variação da flecha Δ_a , proveniente de ações a longo prazo e carga acidental, deve atender a:

$$|\Delta_a| \leq \frac{L}{250}$$

5.2.5.4 Elementos de piso suportando ou em contato, fora dos apoios, com elementos estruturais ou não

Devem ser verificados os efeitos de flechas excessivas sobre os elementos suportados ou em contato, estabelecendo-se os limites de acordo com as conseqüências em cada caso. De qualquer forma, os limites devem ser os estabelecidos em 5.2.5.3.

5.2.6 Verificação experimental da capacidade portante

No caso de elementos consagrados na prática, cujo cálculo analítico aproximado não conduz a resultados teóricos satisfatórios, é permitida a constatação experimental da capacidade portante, mediante ensaios conclusivos. Os elementos classificados como pré-fabricados podem ser ensaiados pelo próprio produtor. Os elementos classificados como pré-moldados devem ser ensaiados sob a supervisão de laboratório especializado. Nestes ensaios devem ser obedecidos os seguintes requisitos:

- o número de elementos ensaiados deve ser suficiente para uma correta interpretação estatística dos resultados;
- não devem ser feitas extrapolações de ensaios efetuados em outros países com elementos executados com diferentes tipos de materiais e equipamentos;
- os ensaios devem reproduzir fielmente as condições de carregamento e de apoio;
- o valor mínimo do coeficiente de segurança aplicado ao carregamento é 2, para cargas de curta duração (24 h);
- para que os ensaios possam ser considerados conclusivos, a dispersão dos resultados da carga de ruptura não deve ser superior a 50%;
- nas usinas produtoras de elementos em série, os ensaios devem ser periodicamente repetidos e sempre que houver qualquer modificação significativa nos materiais, no processo executivo ou no equipamento;
- casos de carga de ação prolongada, ou repetitiva, ou de efeito dinâmico, devem ser analisados diferentemente, e os coeficientes de segurança convenientemente aumentados, a menos que os ensaios reproduzam fielmente esses carregamentos.

5.3 Documentos técnicos

5.3.1 Desenhos

5.3.1.1 Os desenhos de execução, com formatos devidamente normalizados, devem apresentar de forma clara e precisa as dimensões e posição dos elementos pré-moldados, assim como das armaduras, insertos, furos, saliências e aberturas projetadas. Os desenhos devem ser elaborados com vistas não somente à produção e montagem da estrutura, como também à facilidade do controle de qualidade durante o processo de produção e do elemento acabado e devem conter referências, quando for o caso, a outros desenhos relacionados. No caso de subsequente alteração de um desenho, todos os outros desenhos devem ser devidamente corrigidos, mantendo-se registro das modificações.

5.3.1.2 Os desenhos devem incluir ainda, pelo menos, as seguintes informações:

- a) o tipo de concreto e a resistência característica prevista f_{ck} ;
- b) a resistência característica do concreto exigida para o manuseio, transporte e aplicação da protensão, nos elementos protendidos por pós-tração ou resistência efetiva f_{ej} , conforme a NBR 6118, exigida para a liberação da armadura nos elementos protendidos por pré-tração, determinada de acordo com 9.2.5.3;
- c) os tipos de aços com suas dimensões, bitolas, quantidades, formas, detalhes de soldas e das emendas;
- d) o cobrimento da armadura e dos insertos em todas as faces, inclusive as alturas dos suportes da armadura superior no caso de lajes ou vigas de seção T;
- e) a armadura adicional a ser colocada na obra, quando for o caso, identificada independentemente;
- f) o volume e o peso de cada elemento pré-moldado;
- g) os detalhes das ligações a serem executadas na obra durante ou após a montagem, incluindo os característicos dos materiais constituintes;
- h) as tolerâncias dimensionais dos elementos pré-moldados.

5.3.2 Especificações

Adicionalmente ao estabelecido nas Normas Brasileiras, devem ser apresentadas especificações detalhadas dos processos construtivos e de manuseio, armazenamento, transporte e montagem dos elementos pré-moldados.

6 Projeto de elementos pré-moldados

6.1 Elementos em flexão simples - Vigas e lajes

6.1.1. Estabilidade lateral de vigas

6.1.1.1 Nas vigas de concreto armado, biapoiadas, carregadas no plano médio da peça, o espaçamento entre travamentos transversais efetivos não deve exceder $\frac{L}{b_f} \leq 50$; no caso da existência de uma excentricidade da carga ou inclinação da mesma em relação ao plano médio, o referido espaçamento deve ser reduzido.

6.1.1.2 Pode-se adotar, no caso de vigas biapoiadas, como valor de referência, que o estado limite por instabilidade será atingido antes do estado limite por ruptura, na flexão, se $\frac{Lh}{b_f^2} \geq 500$, conforme a Figura 2.

6.1.1.3 Uma análise teórica exata deve ser elaborada, em todos os outros casos, para a determinação da carga crítica de instabilidade.

6.1.1.4 Nas fases de manuseio, transporte e montagem, os elementos devem ter rigidez lateral suficiente para evitar deformação e fissuração excessiva que possam reduzir sua capacidade resistente.

6.1.1.5 Recomenda-se que, de acordo com a nomenclatura indicada na Figura 3, seja obedecida a seguinte inequação: $\frac{h_m}{a} \geq 2$.

6.2 Elementos em flexão composta

6.2.1 Pilares vazados

Para os pilares que possuam em seu interior um vazio para funcionar como condutor de águas pluviais, a redução da área de concreto deve ser levada em conta no seu dimensionamento. Neste caso, a espessura mínima da parede do pilar deve ser de 10,0 cm. Na região do furo lateral para saída d'água, deve ser previsto reforço da armadura. Veda-se utilização permanente do pilar como conduto forçado.

6.2.2 Engastamento na base

6.2.2.1 Para superfícies de contato lisas, o comprimento de engastamento do pilar na fundação deve ser:

$$L_{eng} \geq 1,5 h, \text{ para } \frac{M}{N \cdot h} \leq 0,15$$

$$L_{eng} \geq 2,0 h, \text{ para } \frac{M}{N \cdot h} \geq 2,00$$

Onde:

h = dimensão paralela ao plano de ação do momento M

N = força normal atuante no pilar

Nota: Permite-se interpolar linearmente para valores intermediários da relação $M/N \cdot h$.

6.2.2.2 Para superfícies de contato com rugosidade mínima de 1 cm, em 10 cm, os valores anteriores de L_{eng} podem ser multiplicados por 0,8.

6.2.2.3 A adoção destes valores não exclui a necessidade de comprovar a resistência e o comportamento em serviço da base do pilar, da superfície de contato e do colarinho do elemento de fundação.

6.2.2.4 O comprimento de engastamento não deve ser inferior a 40 cm e deve ser compatível com o comprimento de ancoragem da armadura do pilar.

6.2.3 Reforço no topo do pilar

6.2.3.1 A armadura transversal no topo do pilar é dimensionada para resistir aos esforços internos provenientes do efeito de bloco parcialmente carregado, adicionando-se uma armadura complementar calculada por:

$$A_{s, comp} = \frac{\gamma_n H_d}{f_{yd}}$$

Onde:

H_d = força horizontal de cálculo transmitida ao topo do pilar pelo aparelho de apoio

Nota: Não deve ser adotado para H_d valor inferior ao disposto em 7.3.9.

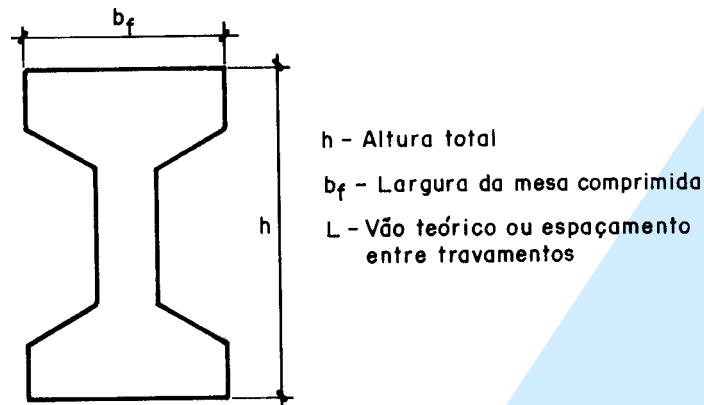


Figura 2

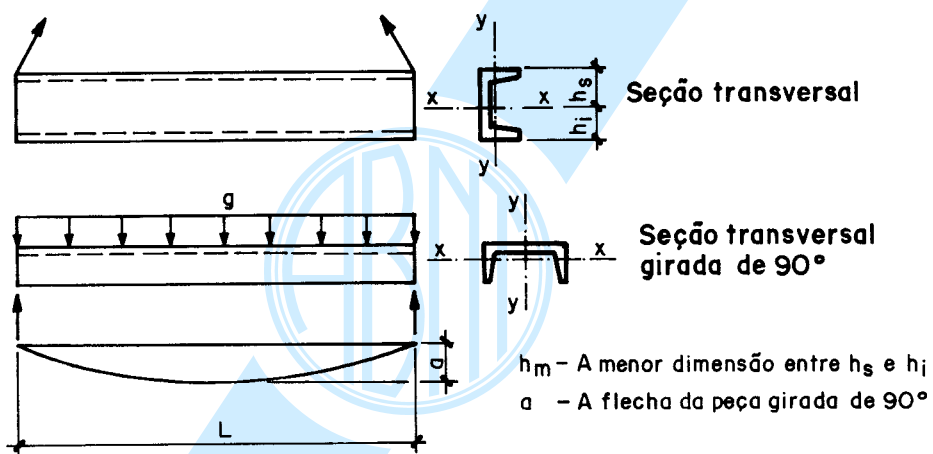


Figura 3

6.2.3.2 A armadura transversal é distribuída na altura $h_1 \leq b$, com 2/3 da seção disposta no terço superior de h_1 , sendo b a menor dimensão do pilar (ver Figura 4).

6.2.4 Ligações de segmentos de pilares

As ligações de segmentos de pilares devem ser executadas, preferencialmente, nas seções com momento fletor mínimo absoluto e devem ter sua eficiência comprovada por cálculo ou ensaios.

6.2.5 Condições de armazenamento e transporte

Os pontos de apoio ou suspensão dos pilares, durante o armazenamento e transporte, devem constar no projeto, atendendo às condições de resistência e às de deformação permanente, considerando-se o módulo de deformação longitudinal correspondente à maturidade efetiva do concreto.

6.2.6 Protensão temporária

A protensão temporária, para fins de transporte e montagem, é admitida, desde que o sistema de ancoragem permita uma desprotensão gradativa, que evite a intro-

dução de forças de impacto. Durante o período em que a peça estiver protendida devem ser respeitados os limites da NBR 7197.

6.3 Peças compostas

6.3.1 O cálculo deve levar em conta as tensões existentes na parte pré-moldada da peça antes do endurecimento do concreto aplicado na segunda etapa, as propriedades mecânicas do concreto pré-moldado e do concreto moldado posteriormente, a redistribuição de esforços decorrentes da retração e da fluência e a incidência dessas ações sobre o esforço de deslizamento das superfícies em contato.

6.3.2 Permite-se considerar as condições de cálculo como peça monolítica para duas situações:

- colaboração completa para o estado limite último;
- colaboração parcial para os estados limites de utilização.

Nota: No caso b), o estado limite último deve ser verificado para a parte pré-moldada da peça composta.

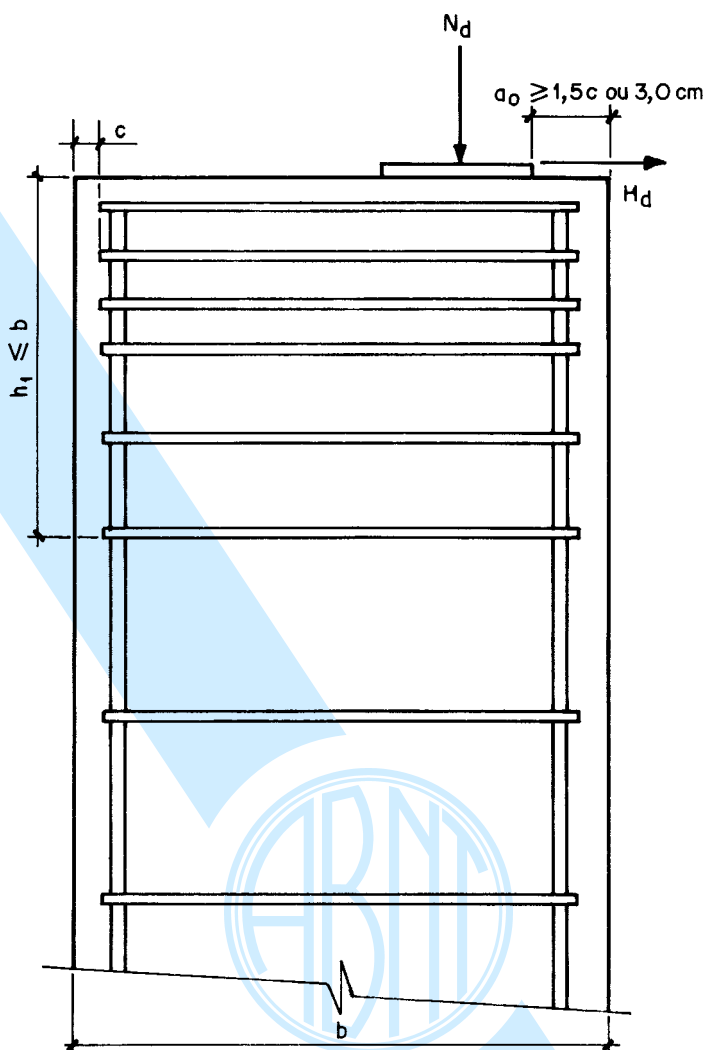


Figura 4

6.3.3 Na falta de cálculo mais rigoroso, permite-se calcular a peça composta como peça monolítica, se a tensão de aderência de cálculo τ_{sd} satisfizer as condições:

$$\tau_{sd} \leq \beta_s \frac{f_{yd} \cdot A_s}{b \cdot s} + \beta_c \cdot f_{td}$$

Onde:

A_s = área da armadura, atravessando perpendicularmente a interface e totalmente ancorada nos elementos componentes

f_{yd} = resistência de cálculo da armadura

s = espaçamento da armadura A_s

b = largura da interface

f_{td} = segundo a NBR 6118, para o menos resistente dos concretos em contato

$$\tau_{sd} = \frac{F_{md}}{a_v \cdot b}$$

Onde:

F_{md} = valor médio da força de compressão ou de tração acima da ligação, ao longo do comprimento a_v

a_v = distância entre os pontos de momento nulo e máximo, respectivamente, na peça

β_s = coeficiente de minoração aplicado à armadura

β_c = coeficiente de minoração aplicado ao concreto

6.3.4 No caso de a superfície de ligação ser intencionalmente áspera com rugosidade de 0,5 cm em 3,0 cm, os valores dos coeficientes β_s e β_c são os definidos na Tabela 2, interpolando-se linearmente para os valores intermediários.

Tabela 2 - Valores dos coeficientes β_s e β_c

As/sb (%)	β_s	β_c
$\leq 0,2$	0	0,3
$\geq 0,5$	0,9	0,6

6.3.5 Admite-se $A_s = 0$, quando $\tau_{sd} \leq \beta_c \cdot f_{td}$ e são satisfeitas simultaneamente as seguintes condições:

- a interface ocorra em região da peça onde haja predominância da largura sobre as outras dimensões da peça (topo de placas, mesa das vigas T ou TT, etc.);
- a superfície de ligação satisfaça ao disposto em 6.3.4;
- o plano de ligação não esteja submetido a esforços normais de tração nem a tensões alternadas provenientes de carregamentos repetidos;
- a armadura da alma resista à totalidade das forças de tração provenientes de esforços cortantes, desprezada a contribuição do concreto na zona comprimida;
- seja escovada a superfície do concreto já endurecido para eliminar a nata de cimento superficial e seja abundantemente molhada e encharcada a superfície que vai receber o novo concreto, pelo menos com 2 h de antecedência à nova concretagem.

6.3.6 A armadura passiva determinada para garantir a segurança no estado limite último pode ser calculada na situação final, admitindo-se todas as cargas aplicadas desde o início na seção composta. Devem ser verificados, entretanto, em serviço, os estados intermediários em cada fase de carregamento da peça.

6.4 Elementos de fundação

6.4.1 Os elementos de fundação devem ser calculados para resistir à totalidade das forças normais e horizontais e dos momentos transmitidos pelos pilares.

6.4.2 As paredes internas dos encaixes, nos casos em que o engastamento dos pilares for realizado por penetração da respectiva base no elemento de fundação, devem ter pelo menos a mesma característica superficial que a dos pilares, conforme 6.2.2 e Figura 5. Entende-se por base a região do pilar correspondente ao comprimento de engastamento L_{eng} .

6.4.3 Quando as paredes externas da base do pilar e internas do encaixe tiverem rugosidade mínima de 1 cm, em 10 cm, permite-se considerar a totalidade da carga normal, N_d , transmitida pela interface, sendo o elemento de fundação calculado como monolítico para as condições de serviço.

6.4.4 Quando as paredes externas da base do pilar e interna do encaixe do elemento de fundação forem lisas, permite-se considerar o valor $0,7 N_d$ da carga normal transmitida pela interface, desde que exista armadura de suspensão disposta em toda a volta do encaixe e de valor:

$$A_s = \frac{0,7 N_d}{f_{yd}}$$

Nota: Para predominância de cargas verticais permanentes de até 300 kN, permite-se executar as superfícies da base do pilar e do encaixe simplesmente com a rugosidade da madeira não aplainada.

6.4.5 A parte do elemento de fundação abaixo do plano da superfície inferior do pilar deve ser verificada à punção, se for o caso, com as dimensões internas de encaixe para:

- o valor $N_{g1,d}$ correspondente à carga aplicada pelo pilar, por ocasião da montagem e antes de se efetivar a ligação entre o pilar e o bloco;
 - o valor N_d se não forem atendidos 6.4.3 e 6.4.4;
 - o valor $0,3 N_d$ se for atendido somente 6.4.4;
- em nenhum caso a altura dessa parte será inferior a 20 cm.

6.4.6 No caso da atuação de momento M_d e força horizontal H_d nos elementos de fundação dotados de pedestal ou colarinho de altura h_1 , permite-se o cálculo do mesmo como consolo ligado à parte inferior do elemento, considerando-se a atuação de uma força H_{od} , distante "a" do plano de implantação do pedestal, com os valores indicados a seguir, correspondente à Figura 5(a) e (b):

$$a) H_{od} = \frac{M_d}{0,67 L_{eng}} + 1,25 H_d \text{ com } a = h_1 - 0,167 L_{eng};$$

$$b) H_{od} = \frac{M_d}{0,85 L_{eng}} + 1,2 H_d \text{ com } a = h_1 - 0,15 L_{eng}.$$

6.4.7 As paredes do encaixe em pedestal ou colarinho devem ser armadas para os efeitos dos esforços de montagem e os previstos em 6.4.6, e devem ter espessura não inferior a 10 cm.

6.4.8 Devem ser previstas medidas construtivas adequadas que permitam a correção dos níveis da superfície de apoio dos pilares na fundação, possibilitando a realização da montagem dos pilares dentro dos limites de tolerância de 5.2.2.9.

6.5 Cargas aplicadas na superfície dos elementos pré-moldados

6.5.1 Quando a carga aplicada na superfície do elemento tiver componente normal ao eixo e a sua transmissão se efetuar por parafuso ou chumbadores, a ancoragem deve obedecer às limitações da NBR 6118 (punção), para uma placa de espessura igual à profundidade do parafuso, submetida à mesma carga atuante, com área igual à da seção do dispositivo de ancoragem, conforme a Figura 6.

6.5.2 Nos casos de constatação experimental, permite-se adotar em serviço a carga de ruptura mínima dos ensaios reduzida para metade, desde que o cone de ruptura seja atravessado por armadura conveniente. Caso não seja possível dispor essa armadura, a carga de ruptura mínima dos ensaios deve ser reduzida para a quarta parte. Quando a carga a transmitir à superfície da peça tiver componente paralela ao seu eixo, devem ser previstas disposições construtivas adequadas para evitar o esmagamento do concreto na borda.

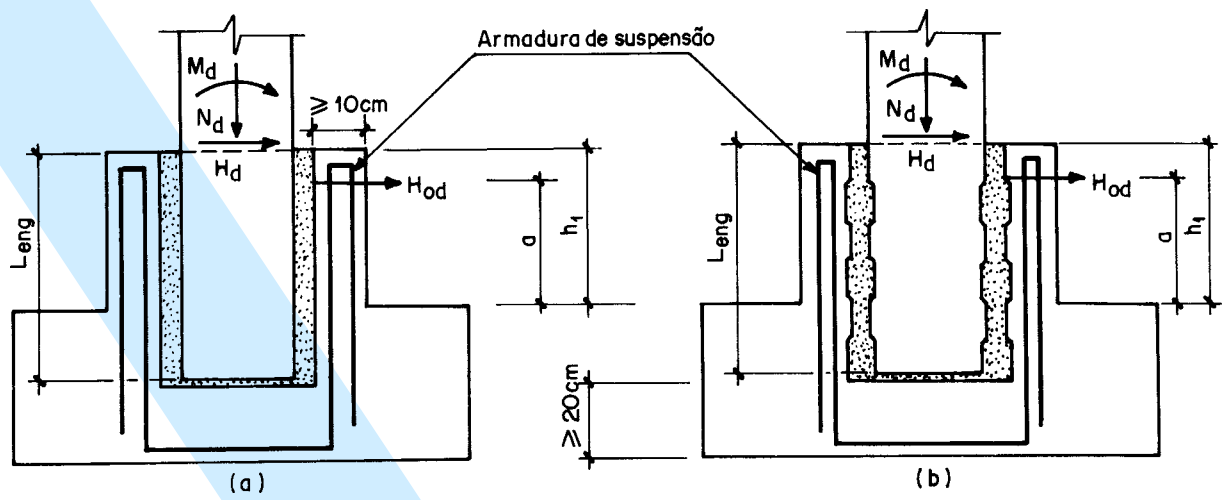


Figura 5

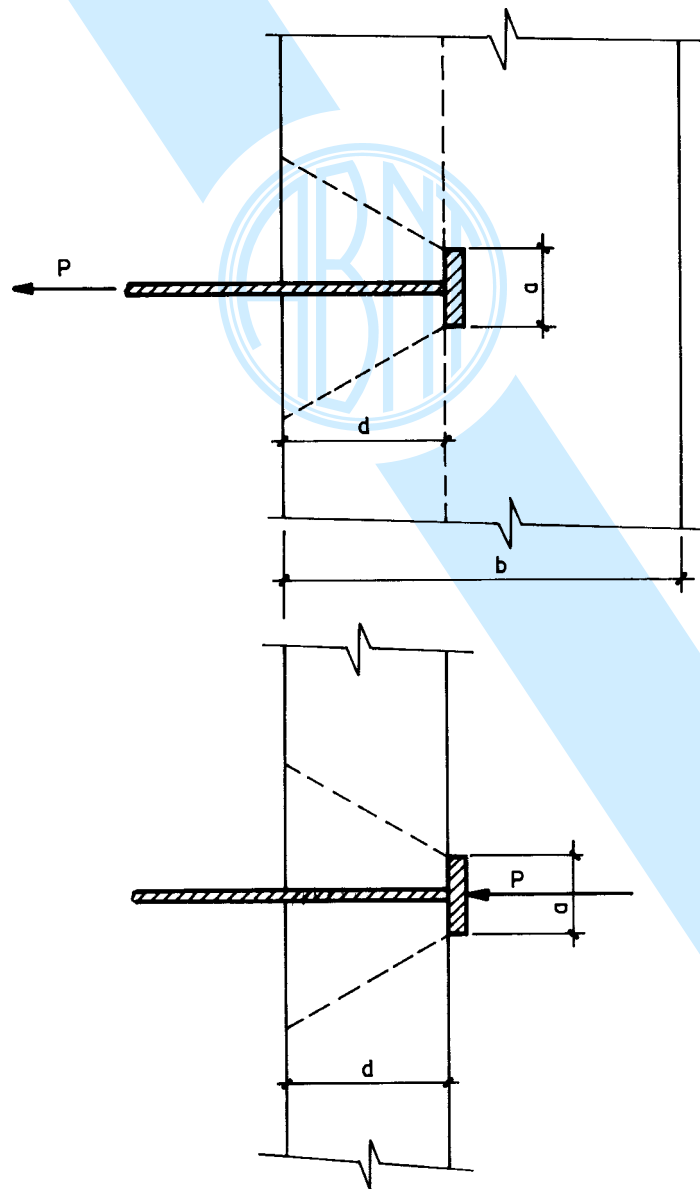


Figura 6

7 Ligações

7.1 Esforços solicitantes

7.1.1 No projeto das ligações de elementos pré-moldados entre si ou entre estes e concreto moldados no local, são levadas em consideração, além da estabilidade geral da estrutura montada, também a estabilidade durante a fase da montagem. O dimensionamento destas ligações deve obedecer à NBR 6118. Na utilização de outras ligações que não as relacionadas neste Capítulo, sua eficácia, qualidade e durabilidade devem ser comprovadas por cálculo analítico devidamente documentado ou por ensaios conclusivos de casos realmente análogos, conforme 5.2.6.

7.1.2 O projeto das ligações deve ser feito após minucioso estudo das possíveis solicitações em serviço e também na fase de montagem. Não podem ser desprezadas as solicitações provenientes de variações volumétricas da estrutura (retração, fluência, variação de temperatura), salvo em casos especiais em que se tomarão precauções específicas de eliminação de vínculos.

7.1.3 Nos casos mais complexos, é necessário considerar as rotações e deformações imediatas provocadas pela aplicação e pela retirada de cargas acidentais, deslocamentos possíveis de ocorrer devido a vibrações de máquinas e equipamentos industriais, assim como outros movimentos e esforços previsíveis durante a vida das estruturas.

7.2 Tipos de ligações

7.2.1 Ligações solicitadas predominantemente por compressão

Situam-se neste caso os apoios de elementos pré-moldados sobre os outros elementos de concreto moldado no local, exceto os apoios de pilares sobre suas fundações, tratados separadamente em 6.4. Os elementos pré-moldados podem ser assentados nos seus apoios definitivos:

- a) com junta a seco;
- b) com intercalação de uma camada de argamassa;
- c) com concretagem local;
- d) com rótulas metálicas;
- e) com almofadas de elastômero.

7.2.1.1 Com juntas a seco

Só é permitido no caso de elementos de pequenas dimensões, cuja pressão de contato sobre os apoios não ultrapasse o valor de $0,03 f_{ck}$.

Nota: f_{ck} refere-se à menor das resistências características dos materiais em contato. Não são adotadas tensões de contato superiores a 1 MPa.

7.2.1.2 Com juntas de argamassa de assentamento

7.2.1.2.1 Permite-se o uso de argamassa de assentamento entre elementos com a finalidade de corrigir pequenas

imperfeições e para evitar a transmissão de cargas por poucos pontos de contato.

7.2.1.2.2 O assentamento não pode ser executado após o início de pega da argamassa.

7.2.1.2.3 A pressão de contato não deve ultrapassar $0,10 f_{ck}$ nem 50% da resistência característica da argamassa, nem 2 MPa

Nota: f_{ck} refere-se à menor das resistências características dos concretos da região da ligação. Excluem-se dessas restrições as pressões de contato dos painéis portantes.

7.2.1.3 Com juntas de concreto local

7.2.1.3.1 Situam-se neste caso as emendas de pilares, pórticos e arcos submetidas a esforços de flexão e de cisalhamento, sem tensões de tração, realizando uma ligação monolítica em que, além de esforços de compressão, há outros esforços a considerar.

7.2.1.3.2 No projeto devem ser previstas ligações das armaduras capazes de garantir a integridade da seção com os vínculos resultantes de comportamento monolítico.

7.2.1.4 Com rótulas metálicas

As partes das rótulas metálicas ligadas ao concreto dos elementos pré-moldados devem ser fixadas por grapas ou parafusos devidamente ancorados. Desde que os detalhes construtivos permitam execução controlada na obra, a fixação pode ser executada por solda do dispositivo metálico em chapa aparente, devidamente ancorada no elemento pré-moldado durante sua execução. Devem ser cuidadosamente verificados os efeitos do aquecimento sobre o concreto e os elementos de fixação, particularmente quanto à aderência. Os detalhes construtivos devem prevenir deformações localizadas, excessivas das partes metálicas.

7.2.1.5 Almofadas de elastômero

7.2.1.5.1 O elastômero deve satisfazer às prescrições das Normas Brasileiras quanto à resistência à ação dos óleos, das intempéries, do ozônio atmosférico e das temperaturas externas as quais estará sujeita a almofada de apoio.

7.2.1.5.2 O elastômero utilizado nas almofadas de apoio deve ter suas propriedades mecânicas demonstradas através de ensaios apropriados, em particular a resistência à tração, à deformação permanente, à compressão e o valor da dureza superficial.

7.2.1.5.3 As almofadas de apoio podem ser simples, quando constituídas de uma única camada de elastômero, e cintadas, quando constituídas de camadas de elastômero intercaladas com chapas metálicas solidarizadas por vulcanização ou colagem especial.

7.2.1.5.4 As chapas metálicas devem ser de aço inoxidável; quando a utilização dos apoios se der em ambiente protegido e não agressivo, permite-se a utilização de chapas de aço-carbono, desde que as faces laterais das chapas estejam revestidas com elastômero, com revestimento mínimo de 0,5 cm e as demais com revestimento mínimo de 0,3 cm.

7.2.1.5.5 As chapas de aço que constituem o cintamento devem estar em contato com a placa de elastômero em toda sua superfície e ter espessura mínima de 1 mm; a espessura das camadas de elastômero deve ser no mínimo de 0,2 cm.

7.2.1.5.6 Os produtos adesivos eventualmente utilizados para solidarizarem as chapas de cintamento de aço e as placas de elastômero devem apresentar no mínimo os mesmos característicos de resistência à compressão e cisalhamento que o elastômero utilizado. Devem também apresentar resistência à ação dos óleos, das intempéries, do ozona atmosférico, dos agentes biológicos e das temperaturas externas a que o aparelho de apoio possa ser submetido.

7.2.1.5.7 O aço das chapas das armaduras deve atender ao disposto nas NBR 6649 e NBR 6650, quando se tratar de aço-carbono e satisfazer à NBR 5601, quando se tratar de aço inoxidável.

7.2.1.5.8 Tolerâncias:

- em relação às dimensões, largura e comprimento: $\pm 0,5$ cm;
- em relação à espessura das camadas nos aparelhos cintados: $\pm 0,05$ cm por elemento e não acumulável;
- em relação à espessura total h da almofada de apoio: $\leq 0,1$ cm e $\pm 0,1$ h.

7.2.1.5.9 Na falta de ensaios conclusivos, permite-se adotar os seguintes valores indicativos de correspondência entre a dureza Shore A e o módulo G , à temperatura de 20°C:

dureza Shore A	50	60	70
módulo G (MPa)	0,8	1,0	1,2

7.2.1.5.10 Para utilização em temperaturas inferiores a 0°C, deve-se considerar o módulo de deformação transversal igual ao dobro do determinado a 20°C.

7.2.1.5.11 Nas estruturas sujeitas a incêndio, devem ser tomados cuidados especiais para proteger as almofadas de apoio contra temperaturas superiores a 80°C ou devem ser utilizados detalhes que permitam a substituição da almofada de apoio eventualmente danificada. Devem ser levados em conta no cálculo os esforços decorrentes de danos na almofada de apoio, enquanto não ocorrer a sua substituição, tolerando-se nessa emergência $\gamma_f = 1$ (NBR 6118).

7.2.1.5.12 A superfície de contato entre a almofada de elastômero e o apoio deve ser lisa e horizontal. Caso existam imperfeições, exige-se a regularização com argamassa que satisfaça o disposto em 8.6, ou outro material adequado.

7.2.1.5.13 Não é permitida a utilização de duas ou mais almofadas de elastômero, colocadas superpostas ou encostadas lado a lado sob a mesma peça a ser apoiada.

7.2.1.5.14 Se o projeto prevê inclinação do fundo do elemento a ser apoiado, deve ser utilizado detalhe que permita a colocação da almofada de apoio na horizontal.

7.2.1.5.15 Se ocorrerem deformações transversais importantes (vento, esconsidade, etc.), devem ser adotados dispositivos que limitem os deslocamentos laterais à metade da espessura da almofada.

7.2.1.5.16 Deve ser impedido o deslocamento longitudinal da almofada de apoio através da verificação do atrito entre o elastômero e a superfície de contato. No caso de se ultrapassar 0,85 do valor estabelecido em 7.2.1.5.21, deve ser adotado dispositivo que impeça o deslocamento da almofada.

7.2.1.5.17 No caso de elementos protendidos com previsão de encurtamentos importantes, decorrentes da retração e da fluência, permite-se prever no projeto e detalhamento a possibilidade de levantar os elementos para aliviar a almofada, recarregando-a a seguir.

7.2.1.5.18 Os limites para as pressões de contato das almofadas simples e cintadas são, respectivamente, 7 MPa e 11 MPa.

7.2.1.5.19 A deformação por compressão em serviço deve ser limitada a 5%, devendo-se utilizar nessa verificação valores experimentais em função da dureza e do fator de forma.

7.2.1.5.20 A deformação por cisalhamento deve ser limitada ao valor da metade da altura total da almofada. No cálculo da deformação resultante das cargas permanentes, deve-se adotar o valor do módulo de deformação transversal igual à metade daquele utilizado para as cargas acidentais de pequena duração.

7.2.1.5.21 O deslizamento da almofada deve ser impedido, fixando-se os limites abaixo:

$$a) H < \mu N \text{ com } \mu = 0,1 + \frac{0,2}{\sigma'_m}, \text{ em MPa}$$

Nota: A tensão de compressão deve ser considerada positiva.

- devem ser verificados isoladamente os efeitos da carga permanente e da carga total, adotando-se o maior valor, sendo:

$$\sigma'_m \frac{N}{A'} \text{ ou } \sigma'_m \frac{N + N}{A'}, \text{ respectivamente;}$$

$$b) \frac{N_{\min.}}{A'} \geq \left(1 + \frac{a}{b} \right), \text{ em MPa}$$

- para almofadas cintadas, adota-se $\frac{N_{\min.}}{A'} > 2$ MPa, com $A' = (a - a_H) b$ (ver Figura 7).

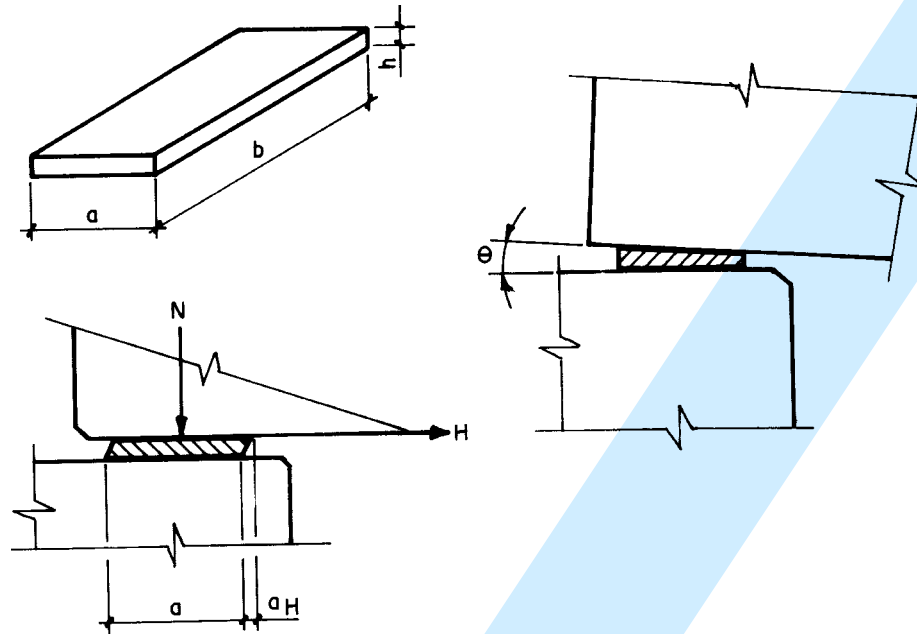


Figura 7

7.2.1.5.22 A condição de não levantamento da borda menos carregada das almofadas simples é que as tangentes das rotações θ_g , impostas pelas cargas permanentes e θ_q , imposta pelas cargas acidentais, devem verificar a mais desfavorável das condições a seguir:

$$a) \operatorname{tg} \theta_g < \frac{2h_1}{a}, \text{ com } h_1 = \frac{h \sigma_g}{10G \cdot B + 2\sigma_g}$$

Onde:

$$\sigma_g = \frac{N_g}{(a - a_H) b} \text{ e } B = \frac{ab}{2h(a + b)}$$

$$b) \operatorname{tg} \theta_g + 1,5 \operatorname{tg} \theta_q < \frac{2h_2}{a}, \text{ com } h_2 = \frac{h \sigma_{g+q}}{10G \cdot B + 2\sigma_{g+q}}$$

Onde:

$$\sigma_{g+q} = \frac{N_g + N_q}{(a - a_H) b}$$

7.2.1.5.23 A condição de não levantamento da borda menos carregada das almofadas cintadas é que as tangentes das rotações θ_g , imposta pelas carga permanentes, e θ_q , imposta pelas cargas acidentais, devem verificar a mais desfavorável das condições a seguir:

$$a) \operatorname{tg} \theta_g < \frac{6 \sum h_{1i}}{a} \text{ com } h_{1i} = \frac{h_i \sigma_g}{4G \cdot B_i^2 + 3\sigma_g}$$

Onde:

$$\sigma_g = \frac{N_g}{(a - a_H) b} \text{ e } B_i = \frac{a \cdot b}{2h_i(a + b)}$$

$$b) \operatorname{tg} \theta_g + 1,5 \operatorname{tg} \theta_q < \frac{6 \sum h_{2i}}{a} \text{ com } h_{2i} = \frac{h_i \sigma_{g+q}}{4G \cdot B_i^2 + 3\sigma_{g+q}}$$

Onde:

$$\sigma_{g+q} = \frac{N_g + N_q}{(a - a_H) b}$$

h_i = espessura de cada camada de elastômero

7.2.1.5.24 A tensão do cisalhamento no elastômero deve ser limitada ao indicado abaixo, verificando-se também a condição de atuação somente da carga permanente:

$$\tau = \tau_N + \tau_H + \tau_\theta < 5G$$

Onde:

$$\tau_N = \frac{1,5}{B_i} \cdot \frac{N_g + 1,5 N_q}{a \cdot b}$$

$$\tau_H = \frac{G \cdot a_H}{h} = \frac{H_g + 0,5 H_q}{a \cdot b}$$

$$\tau_\theta = \frac{G \cdot a^2}{2h_i h} (\operatorname{tg} \theta_g + 1,5 \operatorname{tg} \theta_q)$$

Nota: Estas expressões, que devem ser aplicadas para cada camada de elastômero, são válidas também para almofadas simples.

7.2.1.5.25 Dispensa-se a verificação da estabilidade da almofada, desde que $h < \frac{a}{5}$.

7.2.2 Ligações solicitadas predominantemente por tração

Situam-se, neste caso, a suspensão de elementos pré-moldados por tirantes ou outros dispositivos, fixados em outros elementos pré-moldados ou de concreto moldado no local, ou a ligação de elementos pré-moldados verticais de vedação com seus apoios superiores.

7.2.2.1 Tirantes

7.2.2.1.1 A força de tração deve ser resistida exclusivamente pela armadura, devendo ser adotado um coeficiente de redução da tensão mínima de escoamento do aço $\gamma_f \geq 2,0$.

7.2.2.1.2 No caso de existirem entalhes na armadura (como filetes de rosca), deve ser considerada a diminuição de resistência correspondente.

7.2.2.1.3 No caso de ser utilizada a solda como elemento de ligação, deve ser evitada a sua realização em distâncias inferiores a 20 cm de qualquer dobramento a frio.

7.2.2.1.4 No caso de utilização de perfis de aço para transmissão da força de tração, deve ser dada atenção especial ao modo de transferir a tração no perfil para o concreto, não se adotando tensões de aderência superiores a 0,5 MPa.

7.2.2.2 Alças de levantamento

As alças e pinos de levantamento são considerados ligações temporárias com o equipamento de manuseio e montagem das peças. Na sua parte externa funcionam predominantemente à tração e na parte imersa no concreto ao cisalhamento (aderência). O cálculo de dimensionamento das alças deve obedecer ao disposto em 5.2.3.5, 5.2.3.6, 5.2.3.7 e Figura 8.

7.2.2.3 Dispositivos especiais

7.2.2.3.1 Podem ser utilizados dispositivos metálicos devidamente fixados ao concreto em elementos suspensos ou verticais de vedação, constituídos por placas, barras, parafusos e perfis laminados, extrudados ou formados por chapas dobradas, ligadas por parafusos, porcas, rebites ou solda.

7.2.2.3.2 Estes dispositivos são projetados de forma a permitir a ligação das partes constituintes dos elementos pré-moldados assim ligados, ainda que deslocados de suas posições determinadas no projeto, sempre porém dentro das tolerâncias admitidas.

7.2.2.3.3 Os materiais, os processos empregados para as ligações e a sua proteção devem obedecer às Normas Brasileiras pertinentes e, na sua inexistência, a eficácia e durabilidade do sistema devem ser comprovadas por ensaios conclusivos, obedecido o disposto em 6.5.

7.2.2.3.4 As resinas adesivas podem ser usadas nas ligações sujeitas a compressão ou para equalizar as pressões de contato nas outras ligações. Elas não devem ser usadas para resistir à tração ou cisalhamento ou onde não estejam protegidas contra temperaturas superiores a 80°C.

7.2.3 Ligações solicitadas predominantemente por flexão

Situam-se neste caso a realização da continuidade de elementos pré-moldados como vigas, lajes, pilares, pórticos e arcos. Permite-se a subdivisão de elementos pré-moldados de grandes dimensões em segmentos. A solidarização desses segmentos pode ser feita por protensão, por solda, por meio de dispositivos metálicos ou mediante concretagem local.

7.2.3.1 Ligação de vigas e lajes

7.2.3.1.1 A solidarização de elementos resistentes à flexão deve ser feita preferencialmente em seções afastadas das de máximo momento fletor de uma distância não inferior ao comprimento de ancoragem ou a 1,5 vez a altura útil na seção de emenda. Pode-se dispensar esta exigência nos seguintes casos:

- a) quando a seção de emenda for atravessada por cabos de protensão;
- b) quando forem utilizadas luvas rosqueadas;
- c) quando ensaios conclusivos comprovarem a eficiência da emenda com $\gamma_f \geq 2$.

7.2.3.1.2 No caso de estrutura em segmentos fabricados de maneira que cada um funcione como forma para o segmento adjacente, só se permite a dispensa do uso de resinas adesivas no acoplamento das peças por meio de cabos de protensão nos casos:

- a) com tensões normais de compressão de contato não superior a $0,1 f_{cd}$;
- b) quando existirem recortes na região da emenda preenchidos com argamassa ou concreto com capacidade portante equivalente à da seção vizinha fora do recorte;
- c) quando a experiência em obras congêneres mostrar o bom desempenho da emenda com $\gamma_f \geq 2$.

7.2.3.1.3 Em qualquer caso, exige-se verificação da resistência da seção emendada ao esforço cortante.

7.2.3.2 Ligação de vigas ou lajes com seus apoios

7.2.3.2.1 A solidarização resistente à flexão é normalmente feita em seções de máximo momento fletor (negativo), devendo então aplicar-se o que exigem 5.2.3.4 e 7.2.3.1.

7.2.3.2.2 Nos casos em que aquelas exigências não são satisfeitas e a execução desse tipo de solidarização baseia-se apenas na obtenção de maior rigidez da estrutura para esforços laterais ou para limitação das deformações, não é permitido levar em conta o efeito favorável da emenda na redução de momentos fletores (positivos) em outras seções.

7.2.3.3 Ligação de pilares, pórticos e arcos

7.2.3.3.1 Neste caso situam-se elementos estruturais submetidos à flexão com concomitância de compressão e cisalhamento. Quando a compressão for considerada a solicitação principal, deve-se aplicar o disposto em 7.2.1.3. Quando o cisalhamento for a solicitação mais importante, deve-se aplicar o disposto em 7.2.4.2.

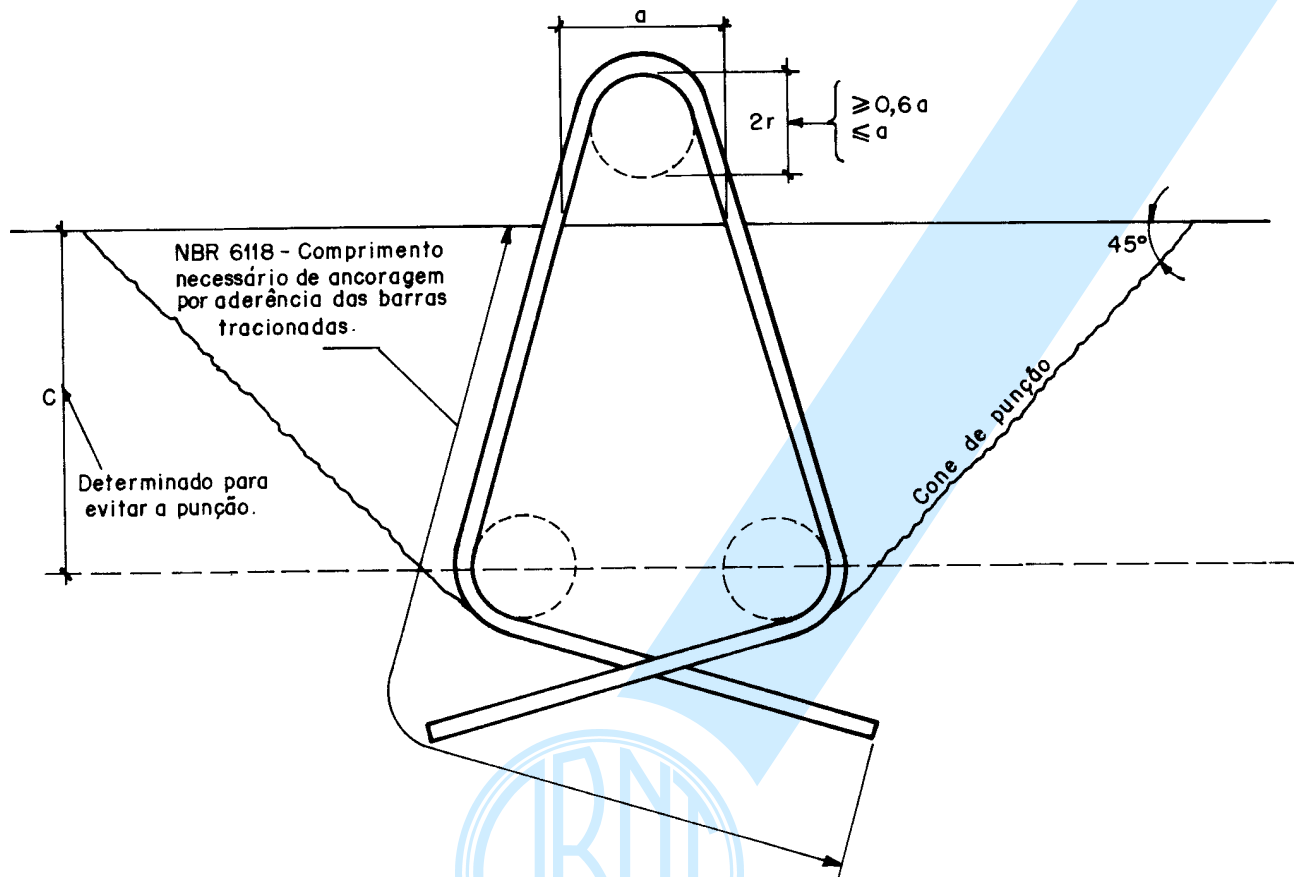


Figura 8

7.2.3.3.2 As ligações podem ser executadas do mesmo modo que para vigas e lajes, dando-se preferência a, sempre que possível, localizar as emendas fora das regiões onde ocorrerem as emendas de vigas.

7.2.3.3.3 Nos pilares de edifícios, havendo necessidade de subdividir em trechos para efeito de transporte e montagem, devem-se escolher de preferência as emendas nas seções dos pilares situadas no terço médio da altura do pavimento. Quando isso não for possível e a estabilidade da estrutura não puder ser garantida com emendas articuladas, podem ser adotadas as seguintes alternativas:

- emendas atravessadas por cabos de protensão, quando a força de compressão existente não for suficiente para evitar o aparecimento de tensões de tração ou quando se tem em vista a limitação de deformações;
- emendas das barras da armadura mediante uso de luvas rosqueadas;
- emendas das barras mediante solda;
- emenda das barras por sobreposição e concretagem local, respeitado o disposto na NBR 6118;
- qualquer outro tipo de emenda aprovada por ensaios conclusivos devidamente documentados, mostrando eficiência com $\gamma_f \geq 2$.

7.2.4 Ligações solicitadas predominantemente por cisalhamento

Situam-se neste caso ligações semi-articuladas na emenda transversal de lajes, mesas de vigas T, segmentos de pilares, pórticos ou arcos (região de momentos pequenos).

7.2.4.1 Ligação transversal de lajes e mesas de vigas T

7.2.4.1.1 Devem ser empregados meios adequados para impedir deflexões diferenciais devidas a cargas acidentais não uniformemente distribuídas, nas juntas de elementos pré-moldados que formam pisos, forros e outras estruturas semelhantes.

7.2.4.1.2 Para cargas acidentais superiores a 5 kN/m² e em pisos para atividade industrial pesada, é feita a verificação dos esforços atuantes na região das juntas, dimensionando-se devidamente as ligações.

7.2.4.1.3 Nos outros casos, não é necessário efetuar-se estas verificações, sendo as ligações realizadas de acordo com os seguintes critérios:

- cargas acidentais não superiores a 3 kN/m² (obras não industriais):

- a tensão de referência τ_{wd} de cálculo não deve ultrapassar $0,20 f_{cd}$;

- a ligação pode ser realizada pelo rejuntamento com argamassa de cimento ou concreto, da folga entre as bordas dos elementos pré-moldados justapostos, que devem apresentar geometria adequada para garantir a transmissão da força cortante, sem levar em conta a aderência entre a argamassa de cimento ou concreto com os elementos, conforme exemplos da Figura 9;
- b) cargas acidentais não superiores a 5 kN/m^2 (obras de atividade industrial leve):
- colocação de armadura transversal (contínua ou não) no capeamento de concreto executado sobre os elementos pré-moldados, cuja espessura mínima em pontos isolados não deve ser inferior a 3 cm, mantendo-se a espessura média acima de 4 cm (ver Figura 10);
- Nota: Dispensa-se qualquer armadura entre a peça pré-moldada e o capeamento feito no local, desde que seja obedecido o disposto em 6.3.5.
- emenda de barras ou outros dispositivos metálicos aparente nas bordas dos elementos pré-moldados e devidamente protegidos por argamassa ou concreto colocado nos encaixes situados nas bordas, justapostas, ou realizando-se um capeamento contínuo com concreto de

espessura não inferior a 4 cm, conforme exemplos da Figura 11;

- as emendas podem ser realizadas conforme o disposto na NBR 6188 (emenda das barras) e mais as indicadas nos exemplos da Figura 11.

Notas: a) As ligações representadas nas Figuras 11(a) e (b) podem ser por simples transpasse ou por solda.

b) As ligações representadas nas Figuras 11(d) e (e) utilizam cantoneiras metálicas devidamente ancoradas no concreto dos elementos, soldadas duas a duas diretamente ou através de um elemento metálico intermediário.

c) A ligação representada na Figura 11(c) é realizada pelo transpasse de barras dobradas em laços na junta do tipo representado na Figura 11, com preenchimento posterior de acordo com o indicado em 7.2.4.1.3-a).

d) A ligação representada na Figura 11(f) é realizada utilizando-se barras metálicas dobradas em "U", devidamente ancoradas no concreto dos elementos, soldadas duas a duas diretamente ou através de um elemento metálico intermediário.

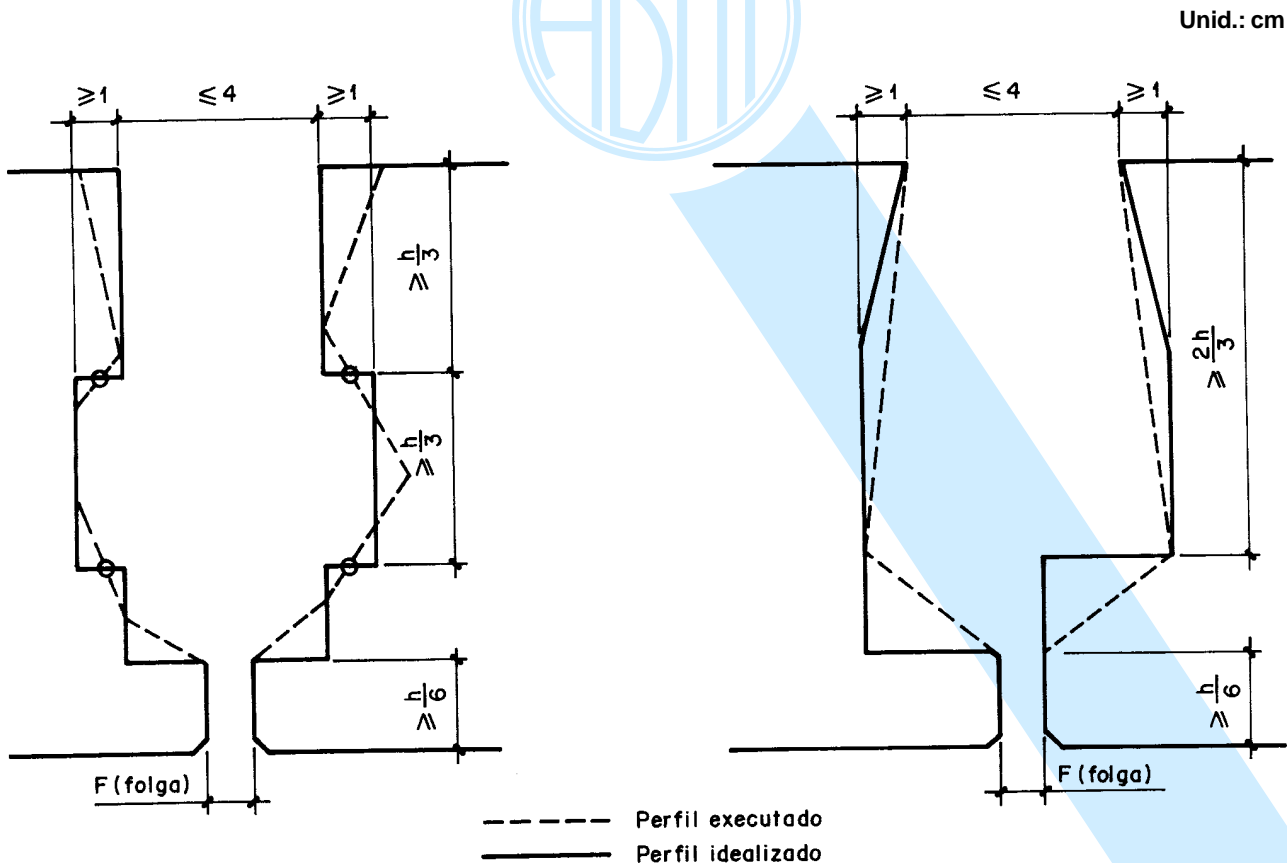


Figura 9

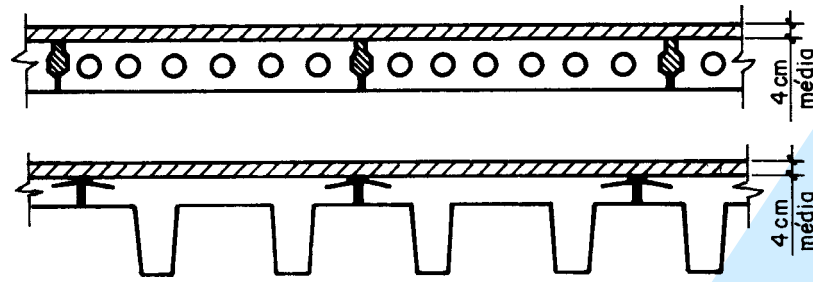


Figura 10

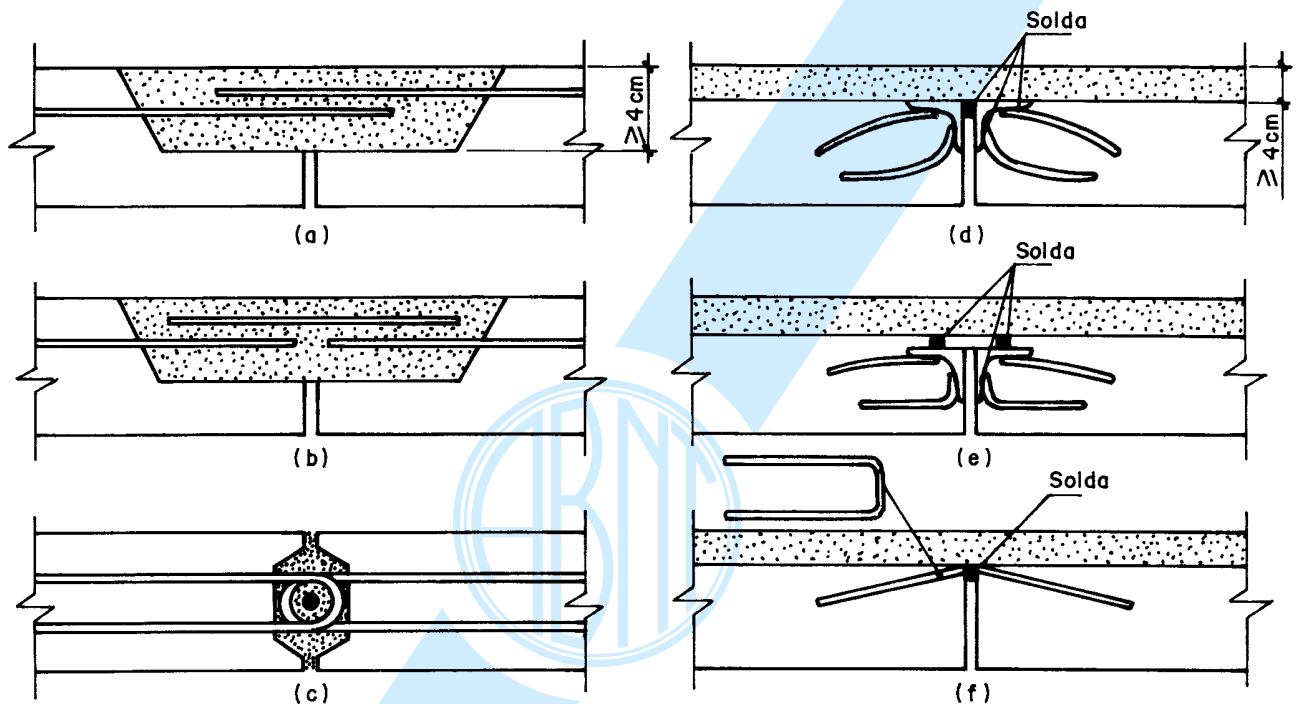


Figura 11

7.2.4.2 Ligações de pilares, pórticos e arcos em região de momento nulo

Podem ser realizadas por uma das seguintes alternativas:

- redução da área de contato e aplicação de protensão centrada, capaz de desenvolver uma força de atrito pelo menos 50% acima da força cortante existente, conforme a Figura 12(a);
- terminação dos topos dos elementos com chapa metálica com pino e furos de centralização, junta macho e fêmea ou dispositivo equivalente, possibilitando aplicar-se solda em todo o contorno das chapas em contato; essas chapas devem estar convenientemente ancoradas na massa de concreto, conforme a Figura 12(b);
- encaixe de armaduras salientes em um elemento em cavidades no outro elemento e preenchimento dos vazios com resina adesiva ou argamassa que também cubra inteiramente as superfícies em contato, conforme a Figura 12(c);

d) dispositivos metálicos rotulados;

e) qualquer outro processo de comprovada eficácia e durabilidade nos ensaios conclusivos com $\gamma_f \geq 2$.

7.2.5 Ligação de pilares, pórticos e arcos com a fundação

Deve ser obedecido o disposto em 6.4.

7.3 Ligações por meio de consolos de concreto

7.3.1 Segurança

Os critérios adotados quanto à segurança, valores característicos, valores de cálculo, coeficientes de minoração e de majoração, são os da NBR 6118 e NBR 8681, multiplicando-se o coeficiente de majoração por um fator γ_n , sendo que:

a) no caso de elementos pré-fabricados em usina:

$\gamma_n = 1,0$ quando a carga permanente for preponderante;

$\gamma_n = 1,1$ em caso contrário;

b) nos demais casos:

$\gamma_n = 1,1$ quando a carga permanente for preponderante;

$\gamma_n = 1,2$ em caso contrário.

7.3.1.1 Os efeitos de impacto, choques e vibrações são levados em consideração na determinação do valor de γ_n , não se adotando valores inferiores aos estabelecidos em 7.3.1-a) e b).

7.3.1.2 Permite-se levar em conta o efeito desfavorável sobre a resistência do consolo, devido à variação das ações sem inversão dos esforços, considerando-se os valores máximos da variação de tensão no aço, em função do número de repetições da ação.

7.3.1.3 Admitindo um período de referência de 50 anos, as correlações entre o número de repetições da carga F_k e os valores das variações máximas das tensões no aço são:

a) 100000 $0,80 f_{yk}$;

b) 500000 $0,55 f_{yk}$;

c) 1000000 ou mais $0,40 f_{yk}$.

Nota: Permite-se interpolação linear entre os valores acima.

7.3.1.4 No caso desfavorável da inversão de esforços, exige-se comprovação especial.

7.3.1.5 As ações devidas à variação volumétrica das estruturas ligadas ao consolo devem ser obrigatoriamente levadas em consideração.

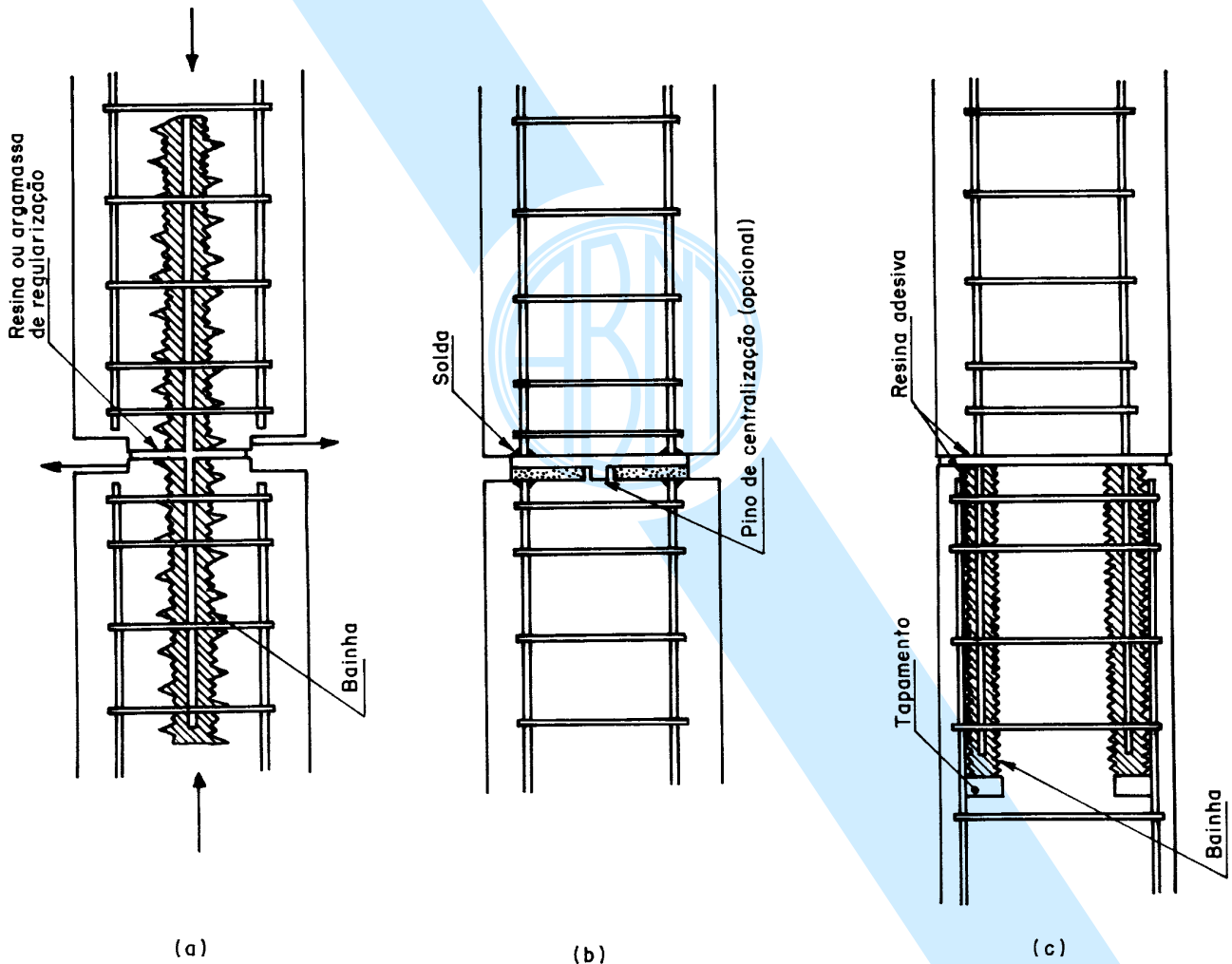


Figura 12

7.3.1.6 Deve ser dada atenção especial ao cálculo das ações horizontais nos consolos.

7.3.1.7 Deve ser levada em conta, na determinação das ações horizontais, a elasticidade dos elementos restantes e a existência ou não de pinos de ligação ou elementos

intermediários (chapas metálicas, almofadas de elastômero, argamassa, etc.).

7.3.1.8 Na falta de um cálculo rigoroso, permite-se adotar para as ações horizontais uma fração das ações verticais, conforme indicado em 7.3.9.

7.3.1.9 Deve ser levado em conta o efeito da torção, obedecendo-se os valores últimos das tensões de cálculo da NBR 6118 particularmente nos consolos destinados a receber:

- componentes de futuras ampliações;
- cargas móveis transmitidas através de vigas de rolamento.

7.3.2 Dimensionamento dos consolos e esforços resistentes

7.3.2.1 Ver Figura 13.

7.3.2.2 Hipóteses de cálculo:

- para $1,0 < \frac{a}{d} \leq 2,0$, o dimensionamento se faz como viga em balanço, aplicando-se o disposto na NBR 6118 para flexão e força cortante e observando-se o disposto em 7.3.1, 7.3.3, 7.3.6 e 7.3.7;
- para $0,5 < \frac{a}{d} \leq 1,0$ (consolos curtos), o dimensionamento se faz segundo o modelo matemático de uma treliça de duas barras, uma tracionada ou tirante e outra comprimida ou biela;
 - são estabelecidas limitações para as solicitações dos materiais constitutivos das barras (aço no

tirante e concreto na biela), conforme 7.3.4.1 e 7.3.5, observando-se o disposto em 7.3.1, 7.3.3, 7.3.6 e 7.3.7;

- para $\frac{a}{d} \leq 0,5$ (consolos muito curtos), o dimensionamento se faz supondo a ruptura ao longo do plano de ligação do consolo com seu suporte, podendo-se considerar o efeito favorável de engrenamento dos agregados desde que a interface seja atravessada por barras de aço perpendiculares à mesma e satisfazendo o disposto em 7.3.1, 7.3.3, 7.3.4.2, 7.3.5 e 7.3.6 e adotando-se $\tau_{wu} \leq 0,3 f$, ou $\tau_{wu} \leq 6 \text{ MPa}$;
- despreza-se o eventual efeito favorável de cargas horizontais que comprimam o plano de ligação entre o consolo e o elemento de sustentação;
- considera-se que deva ser absorvido integralmente pelo tirante o efeito de cargas horizontais que tracionem o plano de ligação entre o consolo e o elemento de sustentação.

7.3.3 Disposições construtivas

7.3.3.1 A altura da face externa do consolo não deve ser menor que metade da altura do consolo no engastamento, deduzido o afastamento da almofada de apoio à borda externa, conforme a Figura 13(a).

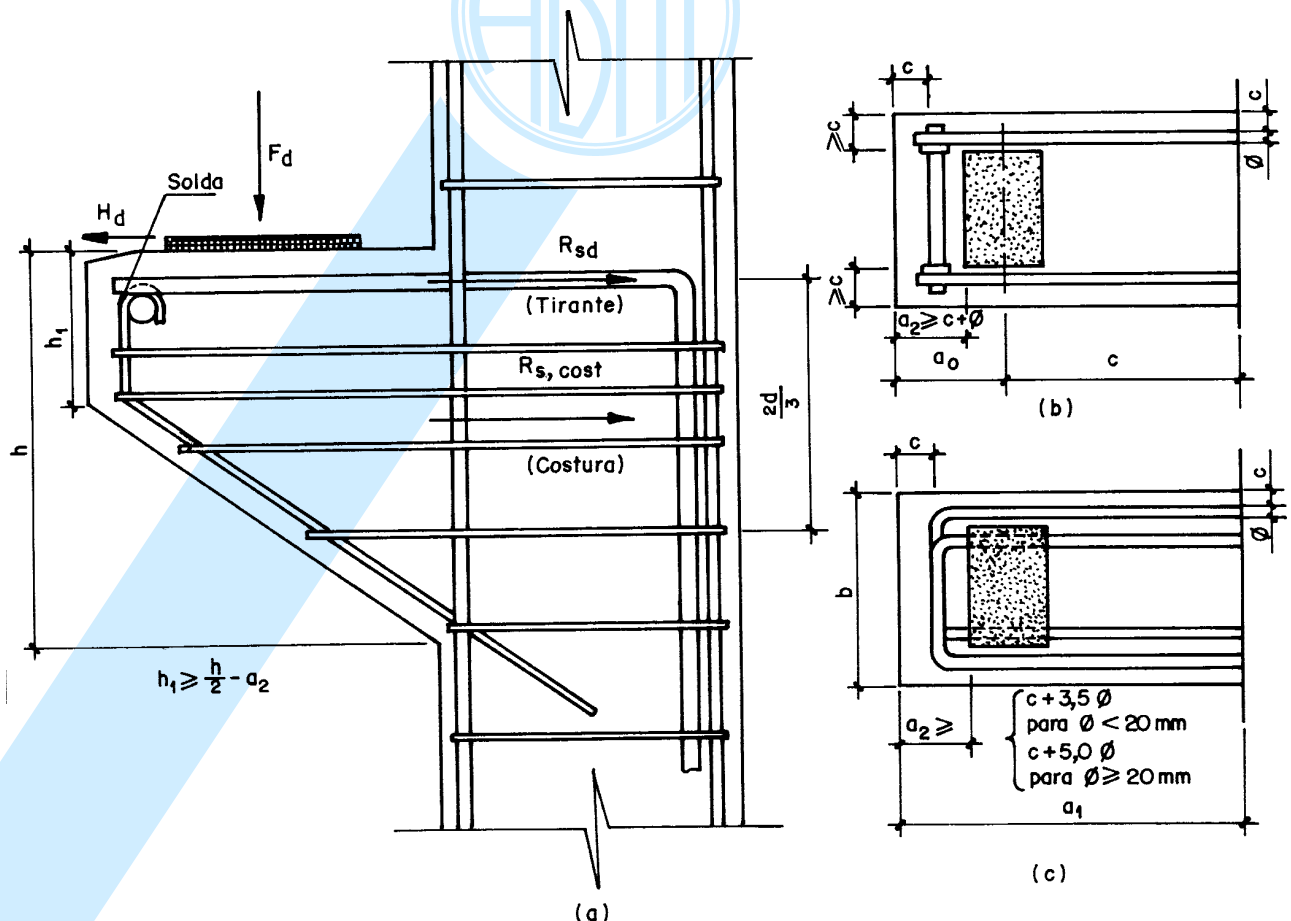


Figura 13

7.3.3.2 O comprimento a_1 e a largura b do consolo devem ser fixados levando em conta o ajuste, conforme a Figura 13(c).

7.3.3.3 Quando o afastamento lateral da almofada de apoio for superior ao cobrimento da armadura, deve-se armar para a força de fendilhamento, podendo-se para tal utilizar a teoria dos blocos parcialmente carregados.

Nota: Ver pressão de contato em área reduzida da NBR 6118.

7.3.3.4 A distância a_2 da face externa da almofada de apoio à face externa do consolo deve ser no mínimo:

- $a_2 = c + \phi$, para o tirante ancorado por barra transversal de mesmo diâmetro, conforme a Figura 13(b);
- $a_2 = c + 3,5 \phi$, para o tirante ancorado por alças horizontais ou verticais com $\phi < 20$ mm, conforme a Figura 13(c);
- $a_2 = c + 5 \phi$, para o tirante ancorado por alças horizontais com $\phi \geq 20$ mm, conforme a Figura 13(c).

7.3.3.5 Não é necessário prever armadura para impedir o fendilhamento no plano horizontal das alças do tirante para cargas diretas, quando a_2 obedecer à seguinte condição:

$$3c \leq a^2 \leq 3(c + \phi)$$

Nota: Apenas neste caso, os raios de curvatura interna das alças podem ser iguais aos mínimos especificados pela NBR 6118 para ganchos.

7.3.3.6 O diâmetro (ϕ) das barras do tirante ancorado por alças horizontais não deve ser maior que um oitavo da menor dimensão do consolo na seção de engastamento

ou 25 mm, e seu espaçamento não deve ser maior que 15ϕ ou d .

7.3.3.7 O diâmetro (ϕ) das barras do tirante ancorado por barra transversal soldada de mesmo diâmetro não deve ser maior que um sexto da menor dimensão do consolo na seção de engastamento ou 25 mm, e seu espaçamento não deve ser maior que 20ϕ ou d .

7.3.3.8 A solda das barras deve ser feita utilizando-se eletrodo com preaquecimento e resfriamento gradual.

7.3.3.9 O eletrodo empregado deve garantir alta penetração e ser compatível com a composição do aço utilizado.

7.3.3.10 Não se permite o uso de aços encruados a frio ou de teor de carbono superior a 0,55%.

7.3.3.11 Aplica-se, no que não for conflitante, o disposto em emendas por solda da NBR 6118.

7.3.3.12 O tirante deve ser localizado no quinto da altura do consolo junto à borda tracionada.

7.3.3.13 A armadura de costura deve ser distribuída respeitando os esquemas de cálculo de 7.3.6 e seu diâmetro não deve ser maior que um quinze avos da menor dimensão do consolo no engastamento, e seu espaçamento na vertical não deve ser maior que um quinto da altura útil d no engastamento, 20 cm e a .

7.3.3.14 Para consolos com $d > 4(a + a_0)$, dispensa-se a armadura de costura, na zona 2, substituindo-a por armadura de pele com taxa $\rho = \frac{A_{s, \min}}{bd} \geq 0,001$ por face, conforme a Figura 14. Quando houver exigências quanto à abertura de fissuras, esta taxa será a resultante da aplicação da NBR 6118.

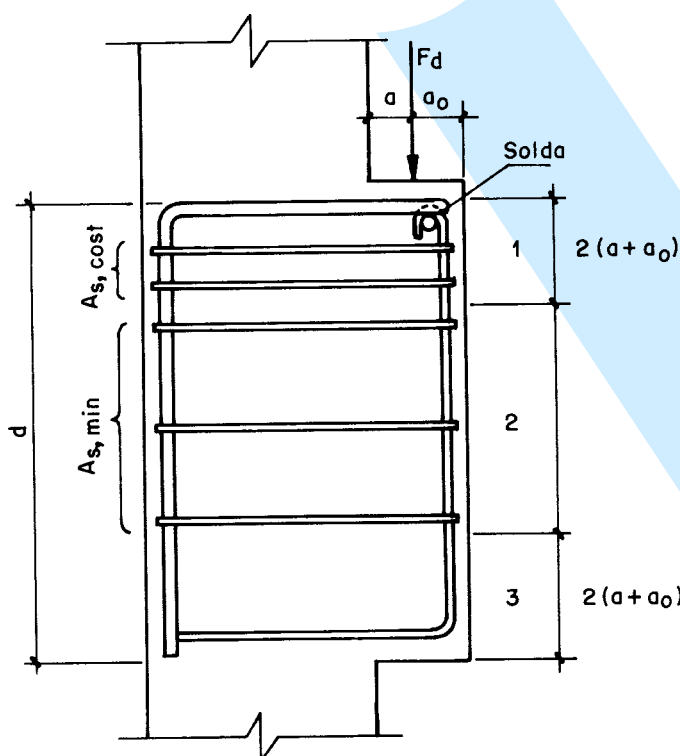


Figura 14

7.3.3.15 Nos consolos sujeitos a cargas diretas com $a/d \leq 1,0$, os estribos verticais, quando construtivamente necessários, são escolhidos pelas taxas mínimas da NBR 6118 para vigas de mesma largura b e altura igual à do consolo no engastamento. Na face da peça suporte do consolo deve ser disposta armadura igual à do tirante, na forma de barras nos pilares e nervuras verticais e na forma de estribos colocados em extensão menor ou igual a $2b$, nas vigas e elementos assemelhados (ver Figura 15).

7.3.4 Verificação da biela comprimida (ver Figura 16)

7.3.4.1 Para consolos curtos com $0,5 < \frac{a}{d} \leq 1,0$, a tensão de compressão na biela inclinada não pode ultrapassar:

- f_{cd} para carga direta;
- $0,85 f_{cd}$ para carga indireta.

7.3.4.2 Para consolos muito curtos com $\frac{a}{d} \leq 0,5$, para as condições de compressão diagonal em função da tensão de cisalhamento τ_{wd} , adota-se $\tau_{wu} \leq 0,30 f_{cd}$ ou 6 MPa.

7.3.5 Tirante

7.3.5.1 O tirante não pode ter diminuição de seção transversal entre o ponto de aplicação da carga e o engastamento, exceto quando a/d for maior que 2. Neste caso, o cálculo do consolo é feito aplicando-se o disposto na NBR 6118 para vigas.

7.3.5.2 Na seção de engastamento, a taxa mecânica de cálculo $\omega = \rho \frac{f_{yk}}{f_{ck}}$ deve estar os limites 0,04 e 0,15 para os consolos com $a/d \leq 2$, onde:

$$\rho = \frac{A_{s, \text{tir}}}{bd}$$

Onde:

$A_{s, \text{tir}}$ = área total de aço concentrada no tirante

7.3.5.3 Para os consolos curtos, com $0,5 < \frac{a}{d} \leq 1,0$, admite-se:

- armadura total do tirante:

$$A_{s, \text{tir}} = A_{sv} + \frac{H_d}{f_{yd}}$$

$$b) A_{sv} = \left(0,1 + \frac{a}{d} \right) \frac{F_d}{f_{yd}}$$

- esta expressão deve ser melhorada por aproximações sucessivas ao ser verificado o modelo matemático prescrito em 7.3.2.2-b).

7.3.5.4 Para consolos muito curtos, com $\frac{a}{d} \leq 0,5$, admite-se:

- armadura total do tirante:

$$A_{s, \text{tir}} = A_{sv} + \frac{H_d}{f_{yd}}$$

$$b) A_{sv} = \frac{0,8 F_d}{f_{yd} \cdot \mu}$$

Onde:

$\mu = 1,4$ para concreto lançado monoliticamente

$\mu = 1,0$ para concreto lançado sobre concreto endurecido com interface que satisfaça o disposto em 6.3.4

$\mu = 0,6$ para concreto lançado sobre concreto endurecido com interface lisa

$$c) \tau_{wu} = 3,0 + 0,9 \rho f_{yd} \leq 0,30 f_{cd} \text{ (em MPa)}$$

$$d) \tau_{wu} \leq 6 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} \leq 435 \text{ MPa}$$

Nota: A ancoragem do tirante na peça suporte do consolo deve obedecer às prescrições da NBR 6118.

7.3.6 Armadura de costura

A armadura de costura é obrigatória e considerada adequada quando:

- para consolos curtos, com $0,5 < \frac{a}{d} \leq 1,0$, adota-se o seguinte valor de armadura, distribuída em $\frac{2}{3} d$, adjacentes ao tirante:

$$\left(\frac{A_s}{s} \right)_{\text{cost}} \geq 0,4 \left(\frac{A_{sv}}{d} \right)$$

- para consolos muito curtos, com $\frac{a}{d} \leq 0,5$, adota-se o seguinte valor de armadura, distribuída em $\frac{2}{3} d$, adjacentes ao tirante, completando-se o terço restante com armadura mínima:

$$\left(\frac{A_s}{s} \right)_{\text{cost}} \geq 0,5 \left(\frac{A_{sv}}{d} \right)$$

- forem respeitadas as disposições as disposições construtivas previstas em 7.3.3;
- não se adotar $f_{yd} > 435 \text{ MPa}$;

e) para $\left(\frac{A_s}{s}\right)_{\text{cost, min.}}$ adota-se um dos valores abaixo, tomando-se b em cm e $\left(\frac{A_s}{s}\right)_{\text{cost}}$ em cm^2/m ;

0,25 b para os aços CA 25 e CA 32

0,15 b para os demais aços

7.3.7 Armadura transversal

Nos consolos com $a/d > 1,0$ calcula-se a armadura transversal pela NBR 6118, fazendo $\tau_c = 0$. Havendo cargas indiretas, estas devem ser totalmente suspensas por armadura adequada.

7.3.8 Armadura de suspensão

Deve existir armadura de suspensão capaz de resistir à totalidade das cargas ou reações indiretas de cálculo com tensão f_{yd} , não se adotando $f_{yd} > 435$ MPa.

7.3.9 Transmissão de esforços por atrito

Na ausência de impedimento ao movimento horizontal, permite-se estimar a força horizontal H_d pela vertical F_d , como segue:

- $H_d = 0,7 F_d$ para juntas a seco;
- $H_d = 0,5 F_d$ para elemento assentado com argamassa;
- $H_d = 0,2 F_d$ para almofadas de elastômero;
- $H_d = 0,08 F_d$ para almofadas revestidas de plástico politetrafluoretileno (PTFE), submetidas à compressão entre 7 e 11 MPa;
- $H_d = 0,1 F_d$ para almofadas revestidas de plástico politetrafluoretileno (PTFE), submetidas à compressão entre 4 e 7 MPa.

Nota: Para os três primeiros casos, não se tomará H_d menor que $0,2 F_d$, considerado como ação principal.

7.3.10 Arranjos das armaduras

7.3.10.1 Os detalhes das armaduras devem ser tais que evitem as rupturas prematuras localizadas.

7.3.10.2 No tirante, devem ser empregadas barras ancoradas por barras transversais, de mesmo diâmetro, soldadas nas extremidades.

7.3.10.3 Não sendo exequível este processo construtivo, permite-se o uso de barras finas ancoradas por laços horizontais, obedecido o disposto em 7.3.3.

7.3.10.4 Permite-se dobrar na vertical as barras do tirante que se encontram a 7 cm ou mais das faces laterais do consolo (ver Figura 13) com:

$$b \geq 4(a + a_0)$$

7.4 Ligação por meio de recortes nas extremidades dos elementos

7.4.1 Dentes de apoio

Dentes de apoio são elementos de apoio na extremidade de vigas, placas ou painéis, cuja altura é menor que a altura do elemento a ser apoiado, e que podem ser assemelhados a consolos.

7.4.2 Dimensionamento dos dentes de apoio e esforços resistentes

Permite-se assemelhar o dente de apoio a um consolo, prevalecendo os critérios de 7.3.2.

7.4.3 Biela de compressão

Para dentes de apoio assemelhados a consolos curtos com $0,5 < \frac{a}{d} \leq 1,0$, as dimensões e inclinação da biela de compressão são supostas variáveis e são determinadas segundo a Figura 17(a) e (b).

7.4.4 Tirante

7.4.4.1 O tirante é ancorado no dente por barra transversal de mesmo diâmetro, soldada na extremidade ou por alças horizontais, respeitado o disposto em 7.3.3.

7.4.4.2 O início da ancoragem do tirante na viga é suposto distante do primeiro estribo de $(d_{vig} - d)$ aplicando-se o disposto na NBR 6118 para a condição de má aderência (ver Figura 18).

7.4.5 Estribos do dente

7.4.5.1 São sempre necessários estribos horizontais ancorados na face externa do dente e penetrando 1,5 vez o comprimento de ancoragem no interior da viga.

7.4.5.2 São necessários estribos verticais no dente.

7.4.5.3 Aplicam-se os valores estabelecidos para os consolos em 7.3.3 e 7.3.6.

7.4.6 Armadura de suspensão

7.4.6.1 Deve existir armadura de suspensão capaz de resistir à totalidade das cargas verticais aplicadas no dente (F_d) com tensão f_{yd} . Esta tensão não pode superar 435 MPa.

7.4.6.2 A armadura deve ser disposta concentrada na extremidade da viga adjacente ao dente de apoio, na forma de estribos fechados que envolvam a armadura longitudinal da viga, conforme a Figura 18. Se forem utilizadas barras verticais adequadamente ancoradas nas suas extremidades e protegidas do risco de fendilhamento do concreto nas suas dobras, estas não poderão absorver mais que $0,4 F_d$.

7.4.7 Limitação da compressão na biela

A tensão de compressão na biela não pode ultrapassar $0,85 f_{cd}$.

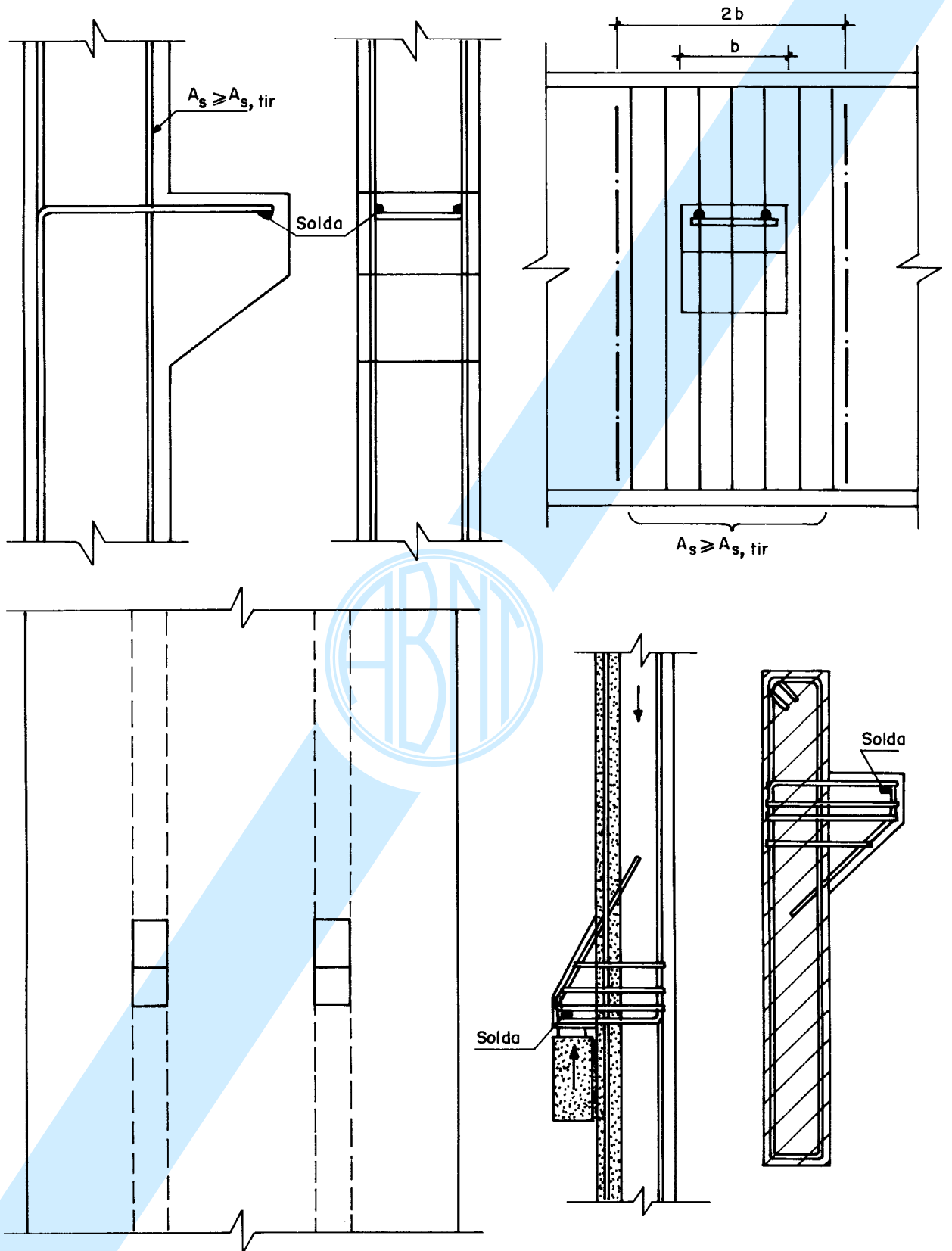


Figura 15

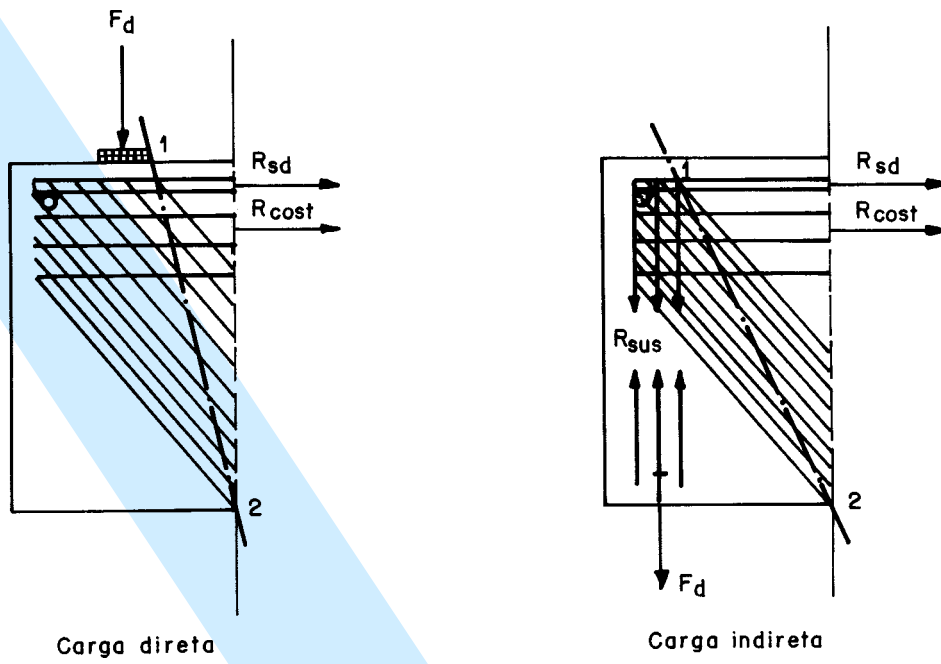


Figura 16

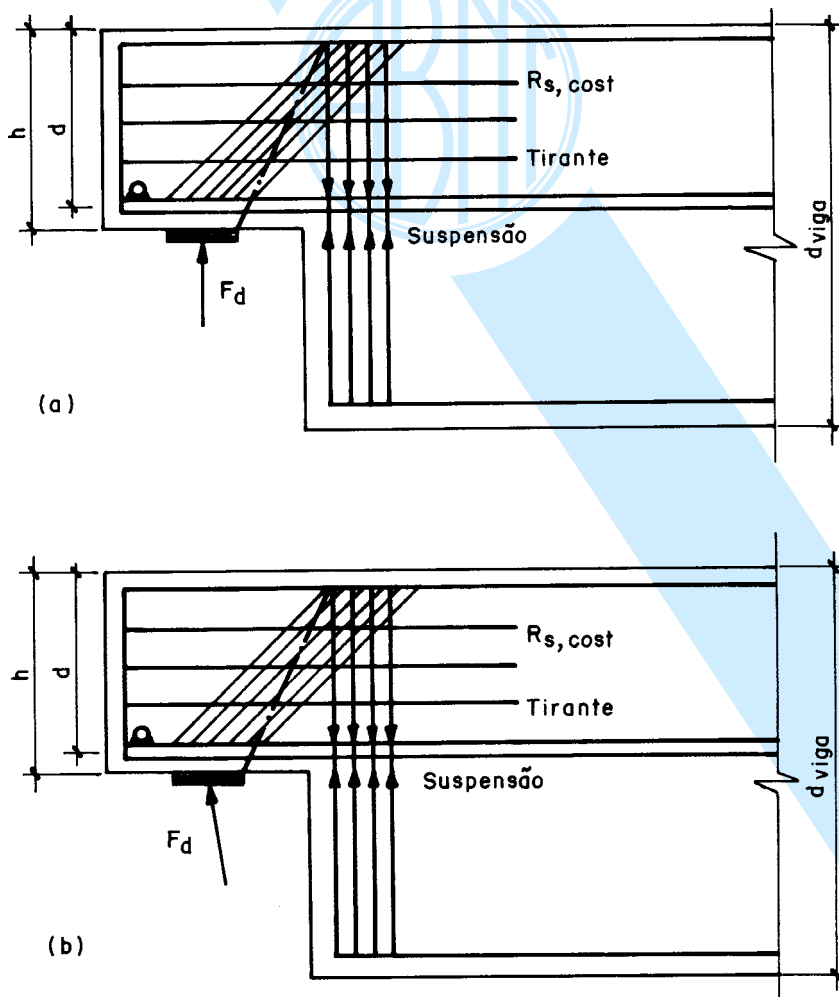


Figura 17

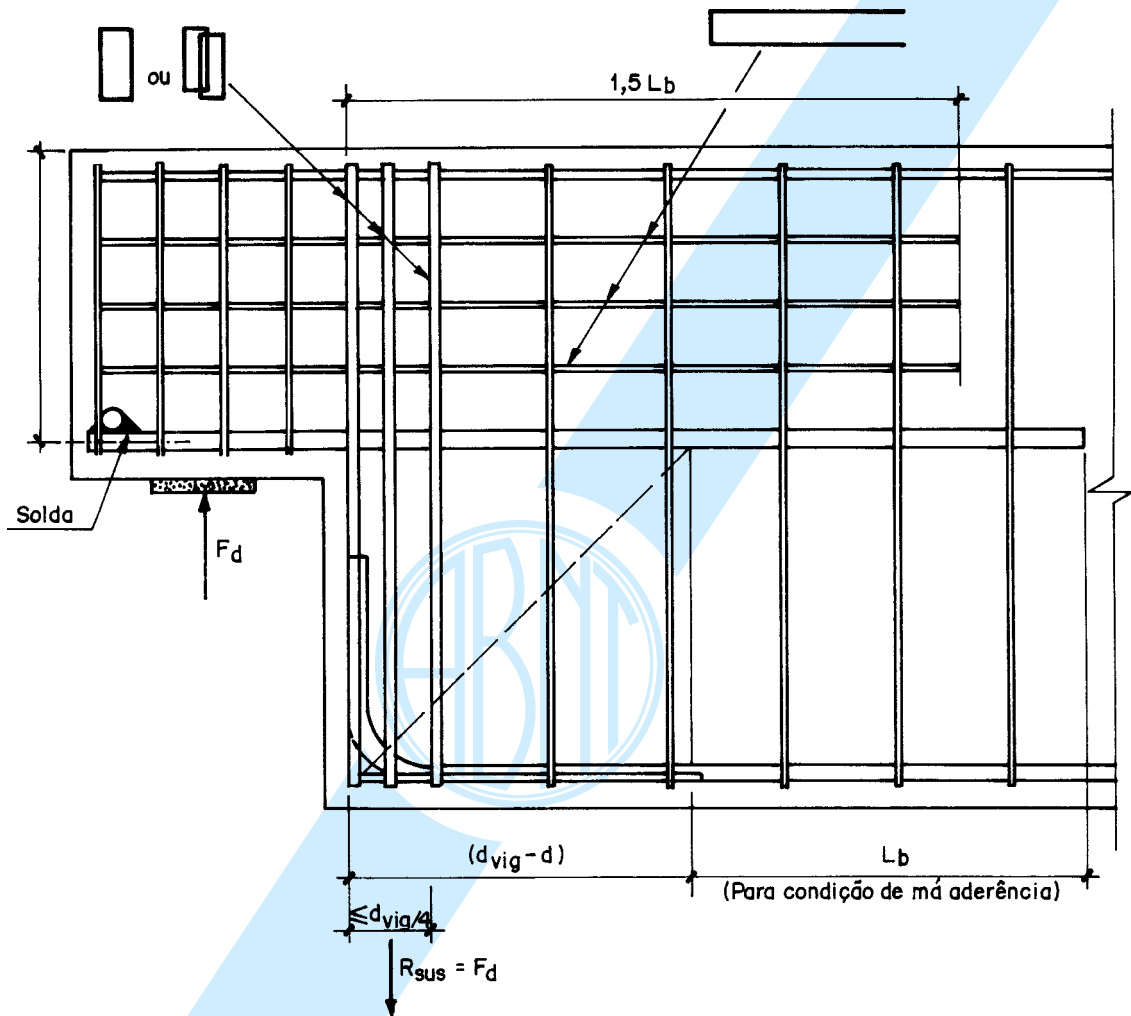


Figura 18

7.4.8 Dentes de apoio com cargas indiretas

Aplicam-se, no que for pertinente, aos dentes de apoio os demais esquemas, disposições construtivas e limitações dos consolos com carga indireta.

7.4.9 Forças horizontais de compatibilidade

No caso de peças protendidas, a força horizontal no tirante do dente de apoio deve ser acrescida do valor da força resultante da restrição à livre movimentação da peça pelos efeitos de retração e fluência ocorridos após a montagem.

7.5 Ligações por meio de apoios nas extremidades sem recortes de vigas

7.5.1 Na falta de cálculo mais rigoroso ou de comprovação experimental conclusiva, permite-se calcular a armadura

principal (tirante) do apoio nas extremidades de vigas pré-moldadas, obedecidas as disposições construtivas pertinentes, prescritas em 7.3.3, pela expressão:

$$A_{sd} = \left(\frac{F_d}{1,2} + H_d \right) \cdot \frac{1}{f_{yd}}$$

7.5.2 Nas mesmas condições (ver Figura 19), permite-se determinar a armadura de costura horizontal e vertical, respectivamente A_{sh} e A_{sv} , pela expressão:

$$A_{sh} = A_{sv} = \frac{F_d}{8f_{yd}}$$

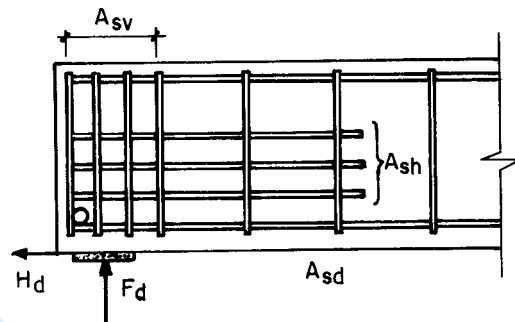


Figura 19

7.6 Ligações por meio de apoios em abas das bigas (ver Figura 20)

7.6.1 Sendo b a largura do elemento apoiado na aba e h_1 a altura desta, a largura de cálculo para dimensionamento é $(b + h_1)$.

7.6.2 A largura da aba não deve ser inferior a 15 cm, a menos que a região de contato do elemento apoiado na aba seja protegida por cantoneira metálica de largura ou igual a b .

8 Materiais

8.1 Concreto

8.1.1 Constituintes

Aos aglomerantes, aos agregados e à água aplica-se o disposto na NBR 6118.

8.1.1.1 Aditivos

8.1.1.1.1 Podem ser adicionados ao concreto aditivos com objetivo de acelerar ou retardar a pega e o desenvolvimento da resistência nas idades iniciais, reduzir o calor de hidratação, melhorar a trabalhabilidade, reduzir a relação água/cimento, aumentar a compacidade e impermeabilidade ou incrementar a resistência aos agentes agressivos e às variações climáticas, desde que atendam às especificações de Normas Brasileiras ou, na falta destas, se as propriedades tiverem sido verificadas experimentalmente em laboratório nacional especializado.

8.1.1.1.2 Em elementos pré-moldados protendidos, os aditivos empregados, seja no concreto, como na argamassa em contato com a armadura de protensão, inclusive a argamassa de injeção, não devem conter ingredientes que possam provocar corrosão do aço, em particular a corrosão sob tensão, sendo rigorosamente proibidos aditivos que contenham cloreto de cálcio ou quaisquer outros halogenetos.

8.1.2 Propriedades

À trabalhabilidade, à durabilidade, ao diagrama tensão-deformação, ao módulo de deformação longitudinal à compressão, ao módulo de deformação transversal, ao

coeficiente de Poisson, ao coeficiente de dilatação térmica e à retração e fluência aplica-se o disposto na NBR 6118 e, complementarmente, o disposto na NBR 7197.

8.1.2.1 Resistência mecânica

O concreto nos elementos pré-fabricados, conforme definido no Capítulo 3, deve apresentar uma resistência característica f_{ck} não inferior a 18 MPa e compatível com a adotada no projeto. Nos demais elementos pré-moldados, esta resistência não deve ser inferior a 15 MPa. O concreto pré-misturado deve ser fornecido com base na resistência característica.

8.1.3 Dosagem

À dosagem experimental aplica-se o disposto na NBR 6118. Não é admitida dosagem não experimental.

8.1.4 Controle tecnológico

À verificação da dosagem utilizada e dos característicos dos constituintes aplica-se o disposto na NBR 6118.

8.1.4.1 Verificação da trabalhabilidade

8.1.4.1.1 A verificação da trabalhabilidade é feita através de ensaios de consistência, para averiguar se esta consistência corresponde à prevista. Estes ensaios permitem também uma constatação fácil da homogeneidade da massa e um controle indireto da quantidade de água.

8.1.4.1.2 A determinação da consistência pode ser feita pelo ensaio de abatimento ou por outros processos de comprovada eficiência e recomendados por laboratório nacional especializado.

8.1.4.1.3 Sempre que forem moldados corpos-de-prova para verificação da resistência mecânica, deve ser feito ensaio de consistência, com concreto da mesma amassada, podendo estes ensaios ser feitos com maior frequência, a critério do produtor dos elementos pré-moldados.

8.1.4.2 Verificação da resistência mecânica

8.1.4.2.1 A verificação normal da resistência mecânica deve ser feita de acordo com as NBR 5738 e NBR 5739.

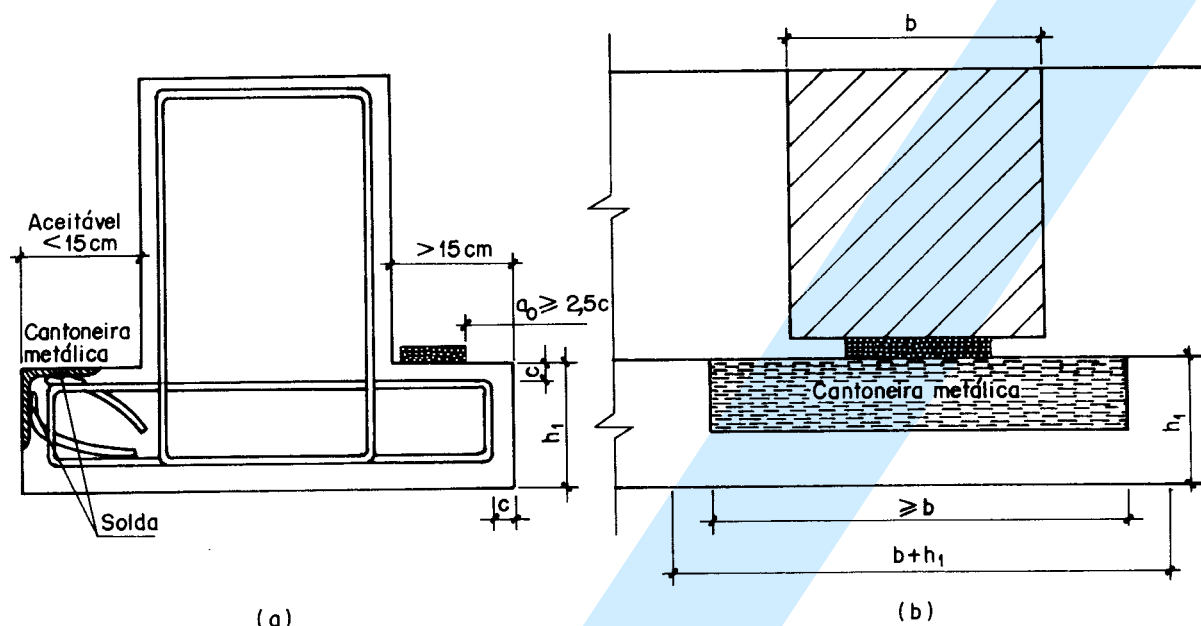


Figura 20

8.1.4.2.2 A idade de ruptura é a prevista no plano da obra (j dias); normalmente a idade é de 28 dias, com exceção da determinação da resistência para efeito da liberação da protensão ou no manuseio. É permitida a avaliação prévia da resistência com idade menor, desde que se tenha determinado a relação entre as resistências nessa idade e na idade prevista, usando-se de preferência a idade de sete dias para cura normal e um dia para cura térmica.

8.1.4.2.3 Podem ser empregados métodos não-destrutivos para a avaliação da resistência durante a fase construtiva, de manuseio, transporte e montagem, desde que se tenha determinado a relação entre as leituras obtidas pelo método escolhido, em corpos-de-prova normais, com as resistências resultantes na ruptura deles pelo método da NBR 5739 na mesma idade e submetidos a condições de cura iguais às dos elementos pré-moldados. Deve ser levada em consideração a dispersão dos valores obtidos em cada um destes métodos, para a avaliação confiável das resistências. É vedada a utilização destes métodos para a liberação dos elementos pré-moldados e pré-tensionados, conforme disposto em 9.2.5.3.

8.2 Aço

8.2.1 As barras e fios de aço empregados nos elementos de concreto armado devem obedecer à NBR 7480.

8.2.2 As telas soldadas devem obedecer à NBR 7481.

8.2.3 Os fios e as cordoalhas de aço empregados nos elementos de concreto protendido devem obedecer, respectivamente, às NBR 7482 e NBR 7483.

8.2.4 As barras empregadas para o mesmo fim devem obedecer às NBR 7482 e NBR 7483.

8.3 Lubrificantes e pinturas

Aos lubrificantes e pinturas aplica-se o disposto na NBR 7197.

8.4 Bainhas

Às bainhas da armadura de protensão com aderência posterior aplica-se o disposto na NBR 7197.

8.5 Calda para injeção

A calda de cimento para injeção deve obedecer ao disposto na NBR 7681.

8.6 Argamassas para ligações

A argamassa empregada para preenchimento de juntas de elementos pré-moldados, na formação de ligações de que trata o Capítulo 7, deve satisfazer às seguintes condições:

- o cimento empregado deve ser conforme o disposto na NBR 6118;
- o agregado empregado deve ser o miúdo, conforme as características dispostas na NBR 7211;
- o conteúdo de cimento não deve ser menor que 400 kg/m^3 ou, quando devidamente comprovada, a resistência média à compressão da argamassa não deve ser menor que 30 MPa.

9 Produção de elementos pré-moldados

9.1 Documentos técnicos

9.1.1 Desenhos

Os desenhos de execução devem obedecer ao disposto em 5.3.1. Sempre que necessário, podem ser complementados com desenhos de detalhes adicionais, destinados a facilitar a execução, ou de componentes ou de dispositivos padronizados, desde que devidamente aprovados pelo projetista.

9.1.2 Especificações suplementares

Na execução de elementos pré-fabricados, conforme definido no Capítulo 3, os encarregados da produção e do controle de qualidade devem estar de posse de manuais técnicos, cuidadosamente preparados pela direção da empresa responsável pelos trabalhos, que apresentem de forma clara e precisa, pelo menos, as especificações e procedimentos seguintes:

- a) formas, montagem, desmontagem, limpeza e cuidados;
- b) armadura, diâmetro dos pinos para dobramento das barras, manuseio, transporte, armazenamento, estado superficial, limpeza e cuidados;
- c) concreto, dosagem, amassamento, consistência, descarga da betoneira, transporte, lançamento e adensamento;
- d) protensão, forças iniciais e finais, medidas das forças e alongamentos, manuseio, transporte, armazenamento, estado superficial, limpeza e cuidados com fios, barras ou cabos de protensão;
- e) liberação da armadura pré-tracionada, método de liberação da armadura de seus apoios independentes e de seccionamento da armadura exposta entre elementos dispostos em linha, no caso de pistas de protensão na produção de elementos de concreto pré-fabricados por pré-tração, cuidados e segurança contra acidentes;
- f) manuseio e armazenamento dos elementos, utilização de cabos, balancins ou outros meios para suspensão dos elementos, pontos de apoio, métodos de empilhamento, cuidados e segurança contra acidentes;
- g) tolerâncias, tolerâncias dimensionais e em relação a defeitos aparentes das formas e da armadura, tolerâncias quanto à variação da consistência e defeitos aparentes do concreto fresco, tolerâncias quanto à discrepância entre a medida do alongamento e da força aplicada à armadura protendida, tolerância em relação às resistências efetivas do concreto, tolerâncias de abertura de fissuras, tolerâncias dimensionais e em relação a defeitos aparentes dos elementos pré-fabricados acabados.

9.2 Armadura

9.2.1 Disposições construtivas

À seção transversal, ao espaçamento das barras, ao dobramento e fixação das barras e às suas emendas, à ar-

madura de suspensão e às peças cintadas, no caso de armadura não protendida, aplica-se o disposto na NBR 6118. Ao espaçamento e à protensão dos elementos da armadura de protensão, à curvatura e às emendas das barras desta armadura, à solidarização de peças pré-moldadas, à armadura suplementar e à ancoragem da armadura de protensão aplica-se o disposto na NBR 7197. No caso das armaduras pré-tracionadas, o cobrimento mínimo do fio ou cordoalhas é de 2ϕ ou o disposto em 9.2.1.1, adotando-se o maior valor. O espaçamento entre os fios ou cordoalhas é, no mínimo, igual a:

- a) $2 \times \phi$;
- b) $1,2 \times$ (tamanho máximo do agregado);
- c) 2,0 cm.

9.2.1.1 Cobrimento

Nos elementos de concreto pré-fabricados, conforme definido no Capítulo 3, com resistência característica f_{ck} não inferior a 25 MPa e consumo mínimo de 400 kg de cimento por metro cúbico e fator água/cimento menor ou igual a 0,45, qualquer barra da armadura, inclusive de distribuição, de montagem, de ligação e estribos, deve ter cobrimento de concreto não menor que:

- a) para elementos em meio não agressivo, os valores da Tabela 3;
- b) para elementos em meio medianamente agressivo e em meio muito úmido, como, por exemplo: cozinhas, lavanderias, estabelecimentos de banhos e piscinas cobertas, os cobrimentos especificados na Tabela 3 devem ser aumentados em 0,5 cm;
- c) para elementos em contato com o solo, 2,5 cm, sendo que:
 - se o solo não for rochoso, sob a estrutura deve ser interposta uma camada de concreto simples, não considerada no cálculo, com o consumo mínimo de 250 kg de cimento por metro cúbico e espessura de pelo menos 5 cm;
- d) para concreto em meio fortemente agressivo, 3,5 cm, sendo que:
 - para cobrimento maior que 6 cm, deve-se colocar uma armadura de pele complementar, em rede, cujo cobrimento não deve ser inferior aos limites especificados nesta alínea;
- e) no caso de estacas, admite-se como suficiente o cobrimento necessário para a situação anterior à cravação; as condições após a cravação devem ser verificadas como concreto simples e de acordo com a NBR 6122 especialmente quando se tratar do caso de resistência por atrito lateral, eventualmente prejudicada pela corrosão da armadura e desagregação do concreto do cobrimento;
- f) no caso de postes, moirões, tubos e lajes, devem ser aplicadas as normas específicas para estes elementos estruturais, prevalecendo as suas prescrições no que estiverem em desacordo com esta Norma.

Tabela 3 - Cobrimentos

Tipos de elementos pré-fabricados	Localização	
	No interior de edifícios	Ao ar livre
Lajes, mesas das vias T, placas de vedação não estruturais e elementos construtivos sujeitos a cargas até 3 kN/m ²	1,0	11,5
Vigas, pilares, arco, nervuras das vigas T e placas de vedação estruturais	1,5	2,0

9.2.1.1.1 No caso de estruturas que devem ser resistentes ao fogo, o cobrimento deve atender às exigências da NBR 5627 além das especificadas neste item.

9.2.1.1.2 Caso haja previsão de revestimento posterior do concreto com argamassa de espessura mínima de 1 cm, os cobrimentos indicados em 9.2.1.1-a), b), c) e d) podem ser reduzidos em 0,5 cm.

9.2.1.1.3 Caso haja previsão de revestimento posterior do concreto com pintura protetora, a eficácia da proteção e sua durabilidade em relação ao meio a que o elemento estará exposto devem ser comprovadas experimentalmente em laboratório nacional especializado. Neste caso, os cobrimentos indicados em 9.2.1.1-a), b), c) e d) podem ser reduzidos até o limite dos valores indicados na Tabela 3, diminuídos em 0,5 cm.

9.2.1.1.4 Para concretos com resistência característica f_{ck} inferior a 25 MPa ou consumo menor que 400 kg de cimento por metro cúbico, assim como em elementos não caracterizados como pré-fabricados, aplica-se o determinado na NBR 6118.

9.2.1.2 Medidas especiais

Às medidas especiais para aumento da proteção das armaduras aplica-se o determinado na NBR 6118.

9.2.2 Manuseio e transporte das armaduras

As armaduras pré-montadas devem ser manuseadas e transportadas com meios e dispositivos que garantam a sua integridade e mantenham a posição relativa, bem como o alinhamento de suas barras, protegendo-as contra deformações e ruptura dos vínculos de posicionamento.

9.2.3 Armazenamento das armaduras

O armazenamento deve ser efetuado de forma a evitar formação de pilhas que prejudiquem a conformação das armaduras pré-montadas.

9.2.4 Confecção da armadura não protendida

À utilização de diferentes classes e categorias de aço, à limpeza, ao dobramento, às emendas e à proteção das armaduras não protendidas aplica-se o disposto na NBR 6118.

9.2.5 Confecção da armadura protendida

À limpeza e à injeção das bainhas da armadura de protensão aplica-se o disposto na NBR 7197.

9.2.5.1 Execução da pós-tração

Ao programa da execução da pós-tração aplica-se o disposto na NBR 7197.

9.2.5.2 Execução da pré-tração

9.2.5.2.1 A protensão deve ser executada com o emprego de meios e sistemas que permitam carregar os cabos progressivamente até se atingir a carga de projeto. Os fios ou cabos da armadura pré-traçada podem ser traçados individualmente ou em grupo.

9.2.5.2.2 Os sistemas de ancoragem, seja com fixação nas próprias formas ou em apoios independentes, devem ser de tal forma rígidos que não permitam perdas de tensões maiores que as previstas no projeto. A tensão na armadura pré-traçada deve ser verificada simultaneamente pela medida da força aplicada e pelo alongamento. Os aparelhos utilizados, como manômetros, células de cargas, dinamômetros e outros, devem ser mantidos devidamente calibrados e aferidos.

9.2.5.3 Liberação dos elementos pré-moldados protendidos por pré-tração

9.2.5.3.1 A liberação dos elementos de concreto pré-moldados protendidos por pré-tração das mesas ou pistas de protensão é a operação da fixação das ancoragens dos fios ou cabos aderentes e o seccionamento destes entre as extremidades de elementos contíguos no caso de fabricação em linha. Esta operação deve ser executada com meios apropriados que evitem transmissão de choques dos fios ou cabos no concreto e somente após comprovação de que a resistência efetiva do concreto à compressão tenha atingido o valor indicado no projeto para esta fase, não admitindo valor inferior a 21 MPa.

9.2.5.3.2 Para o caso particular de elementos pré-fabricados, admite-se satisfatória a determinação da resistência efetiva F_{cj} conforme a NBR 6118, por meio de uma amostra constituída de um exemplar composto de dois corpos-de-prova, para cada pista de protensão ou para cada produção de até 30 cm³ de concreto, o que for menor. A resistência de cada exemplar será o maior dos dois valores obtidos no ensaio. A resistência efetiva, quando se tratar de mais de um exemplar, será o menor dos valores encontrados para vários exemplares.

9.2.6 Montagem

9.2.6.1 A armadura deve ser colocada no interior das formas, de modo que, durante o lançamento do concreto, mantenha-se na posição indicada no projeto, conservan-

do-se inalteradas as distâncias das barras entre si e as faces internas das formas. É permitido para isso o uso de arame e de tarugos de aço ou espaçadores de concreto, argamassa ou de material plástico de alta densidade; nunca, porém, será admitido o emprego de calços, cujo cobrimento, depois de lançado o concreto, tenha espessura menor que a prescrita em 9.2.1.1.

9.2.6.2 Nas lajes, placas e mesas das vigas T, deve ser feita amarração das barras, de modo que, em cada uma destas, o afastamento entre duas amarrações não exceda 35 cm.

9.2.6.3 Nos elementos pós-tracionados, são tomados cuidados especiais para evitar sinuosidade das bainhas, bem como sua danificação e a dispositivos de deslizamento.

9.3 Insertos

Os insertos, que podem ser colocados antes do lançamento do concreto ou após o endurecimento deste, devem ser posicionados de modo a não prejudicar a armadura. A parte não protegida pelo cobrimento do concreto, conforme o disposto em 9.2.1.1, deve ter características de qualidade e durabilidade compatíveis com sua finalidade e obedecer às normas aplicáveis ao material constituinte. Os eventuais processos posteriores de fixação a outros elementos ou dispositivos não devem comprometer aquelas características e condições.

9.3.1 Ancoragem

Os insertos devem ser ancorados no concreto, de modo a garantir que possam resistir, com a segurança prevista, aos esforços para os quais foram calculados.

9.4 Concreto

9.4.1 Preparo

À resistência, à medida dos materiais e ao amassamento mecânico aplica-se o disposto na NBR 6118. Não é permitido amassamento manual do concreto.

9.4.2 Concretagem

Ao transporte e ao lançamento aplica-se o disposto na NBR 6118.

9.4.2.1 Adensamento

9.4.2.1.1 Durante ou imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser adensado por vibração, centrifugação ou prensagem, permitindo-se a adoção de mais de um destes métodos, concomitantemente. O adensamento deve ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos da forma. Durante o adensamento devem ser tomadas as precauções necessárias para que não se formem ninhos ou haja segregação dos materiais; deve-se evitar, quando da utilização de vibradores de imersão, o contato do vibrador com a armadura para que não se formem, com a vibração desta, vazios a seu redor, com prejuízo da aderência.

9.4.2.1.2 Quando se utilizarem vibradores de imersão, a espessura da camada deve ser aproximadamente igual a $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha. Não se podendo atender a esta exigência, devem ser empregados vibradores externos, réguas vibratórias ou outros processos de adensamento.

9.4.2.1.3 Quando se utilizarem vibradores de forma externos, estes devem ser dispostos em quantidades e distâncias tais entre si que garantam o adensamento uniforme do concreto mesmo nos pontos mais afastados dos vibradores.

9.4.2.2 Juntas de concretagem

Caso haja interrupção da concretagem, o concreto, cuja consistência não mais permita o adensamento, deve ser removido das formas e substituído oportunamente por concreto fresco, tomando-se as precauções necessárias para garantir, ao reiniciar-se o lançamento, a suficiente ligação do concreto já endurecido com o do novo trecho. Deve ser obedecido, no que for pertinente, o disposto na NBR 6118.

9.5 Formas

As formas devem adaptar-se às formas e dimensões das peças pré-moldadas projetadas, respeitadas as tolerâncias de 5.2.2. Podem ser constituídas de aço, alumínio, concreto ou madeira, revestidos ou não de chapas metálicas, fibra, plástico ou outros materiais que atendam às características exigidas neste Capítulo.

9.5.1 Dimensionamento

Ao dimensionamento das formas aplica-se o disposto na NBR 6118.

9.5.2 Formas para elementos protendidos

Para a produção de elementos pré-moldados de concreto protendido, as formas devem atender aos seguintes requisitos:

- a) no caso de pré-tração, quando a armadura protendida for ancorada na própria forma, esta deve ser dimensionada e executada de maneira a resistir ao esforço de protensão sem apresentar deformações excessivas;
- b) a forma deve ser lisa e isenta de obstáculos, saliências, reentrâncias ou ondulações acentuadas que possam impedir ou dificultar o deslocamento relativo do elemento pré-moldado em relação à forma, quando da operação de alívio da fixação das ancoragens ou do seccionamento dos fios ou cabos de que trata 9.2.5.3;
- c) os dispositivos imersos no concreto ou em contato com estes e fixados às formas, como insertos, tirantes, placas separadoras, placas de extremida-

des, formadores de vazios no concreto e outros, devem ter condições para seu fácil desligamento das formas antes da operação de alívio das fixações das ancoragens ou do seccionamento dos fios ou cabos de que trata 9.2.5.3 para evitar o impedimento ou dificuldade do deslocamento a que se refere a alínea acima.

9.5.3 Ancoragem

As formas devem ser adequadamente ancoradas às bases, para resistir aos esforços resultantes durante o lançamento e adensamento do concreto, assim como da operação de extração dos elementos pré-moldados.

9.5.4 Desmoldagem

9.5.4.1 O projeto e a execução das formas devem atender todas as condições para fácil desmoldagem, sem danificar os elementos concretados, como previsão de ângulos de saída, livre remoção das laterais e cantos chanfrados ou arredondados.

9.5.4.2 No caso em que as superfícies das formas sejam tratadas com produtos antiaderentes, destinados a facilitar a desmoldagem, esse tratamento deve ser feito antes da colocação da armadura. Os produtos empregados não devem exercer nenhuma ação química sobre o concreto fresco ou endurecido, nem devem deixar, na superfície deste, resíduos que sejam prejudiciais, ou possam dificultar a ligação do concreto lançado *in situ* ou aplicação de revestimento, quando for o caso. Os produtos antiaderentes não devem atingir a armadura; caso isto aconteça, as barras, fios ou cabos devem ser substituídos ou adequadamente limpos com solventes.

9.5.5 Limpeza

As formas devem ser cuidadosamente limpas antes de cada utilização e isentas de pintura ou outras substâncias protetoras que possam aderir à superfície dos elementos de concreto.

9.5.6 Formas internas

As formas utilizadas para a formação de vazios no interior de elementos de concreto pré-moldado devem ser firmemente ancoradas para evitar sua flutuação ou deslocamento, por ocasião da concretagem. Seu dimensionamento deve levar em conta tanto a pressão do concreto fresco como a ação eventual de vibradores de imersão, quando estes forem empregados.

9.6 Cura e prazos de desmoldagem

9.6.1 Cura normal

9.6.1.1 Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser protegido contra agentes prejudiciais, como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, agentes químicos, bem como choque e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuração na massa do concreto, ou prejudicar a sua aderência à armadura.

9.6.1.2 A proteção contra a secagem prematura deve ser feita, mantendo-se umedecida a superfície ou protegendo-

a com uma película impermeável, pelo tempo necessário à hidratação adequada, levando em conta a natureza do cimento.

9.6.2 Cura acelerada

9.6.2.1 O endurecimento do concreto pode ser antecipado por meio de tratamento térmico adequado e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem de que trata 9.6.1.

9.6.2.2 No tratamento térmico isento de vapor em contato com os elementos de concreto, a superfície do concreto deve ser, durante este tratamento, igualmente protegida contra a secagem, mantendo-se umedecida a superfície, ou protegendo-a com uma camada impermeável resistente à temperatura imposta pelo tratamento.

9.6.2.3 O tratamento térmico deve ser cuidadosamente controlado, levando-se em conta as seguintes fases:

- a) tempo de espera entre o fim da concretagem e o início da aplicação do calor;
- b) velocidade máxima da elevação da temperatura;
- c) temperatura máxima;
- d) tempo de aplicação do calor;
- e) esfriamento.

9.6.2.4 As condições de cada uma destas fases devem ser criteriosamente estabelecidas através de ensaios experimentais que devem levar em conta os tipos de aglomerantes, agregados e aditivos utilizados, o fator água/cimento, assim como as resistências mecânicas que devem ser atingidas pelo concreto por ocasião da desmoldagem, do manuseio e transporte, da montagem e em uso.

9.6.2.5 Na cura a vapor sob pressão atmosférica, devem ser tomados cuidados especiais para que os elementos pré-moldados sejam aquecidos uniformemente.

9.6.2.6 Este tratamento é efetuado em ambiente vedado por material isolante, lonas, lençóis plásticos ou outro material adequado, de maneira a garantir a saturação do vapor e impedir excessiva perda do calor e umidade. A vedação deve impedir também a formação de correntes de ar frio do exterior.

9.6.2.7 As saídas dos pontos de alimentação de vapor devem ser posicionadas de forma a evitar a descarga direta sobre a superfície do concreto, das formas ou sobre os corpos-de-prova.

9.6.2.8 As temperaturas da câmara de vapor e do elemento pré-moldado devem ser convenientemente controladas. Ao se utilizar a cura a vapor deve-se estabelecer a curva de temperatura em função do tempo mais conveniente para o processo de produção. Devem ser respeitados os seguintes parâmetros:

- a) incremento máximo na elevação de temperatura: 20°C/hora;

- b) temperatura máxima no elemento submetido a tratamento a vapor sob pressão atmosférica: 70°C;
- c) decréscimo de temperatura no resfriamento de no máximo 30°C/hora.

10 Manuseio, armazenamento e transporte de elementos pré-moldados

10.1 Manuseio

Os elementos pré-moldados são suspensos e movimentados por intermédio de máquinas, equipamentos e acessórios apropriados em pontos de suspensão localizados nas peças de concreto perfeitamente definidos em projeto, evitando-se choques e movimentos abruptos. As máquinas de suspensão, balancins, cabos de aço, ganchos e outros dispositivos são dimensionados levando-se em conta as solicitações dinâmicas conforme o disposto em 5.2.3.7.

10.2 Armazenamento

10.2.1 A descarga dos elementos pré-moldados é feita com os mesmos cuidados do manuseio. O armazenamento é efetuado sobre os dispositivos de apoio, como cavaletes, caibros ou vigotas, assentes sobre terreno plano e firme.

10.2.2 Podem ser formadas pilhas, intercalando-se dispositivos de apoio para evitar o contato das superfícies de concreto de dois elementos superpostos. Estes apoios devem situar-se em regiões previamente determinadas pelo projeto e devem ser constituídos ou revestidos de material suficientemente macio para não danificar os elementos de concreto.

10.2.3 Na formação de pilhas devem ser tomados cuidados especiais para manter a verticalidade dos planos: longitudinal, que passa pelos eixos dos elementos, e transversal, que passa pelos dispositivos de apoio. Deve ser analisada criteriosamente a segurança contra o tombamento do elemento considerado isoladamente ou formando pilhas. No caso da necessidade de escoamento lateral, este não deve introduzir esforços não previstos no cálculo dos elementos de concreto.

10.2.4 Quanto às pressões admissíveis nos apoios, deve ser observado o disposto em 10.2.4.1 e 10.2.4.2.

10.2.4.1 Pressão admissível nos elementos pré-moldados

Nas áreas de contato entre o concreto de elementos pré-moldados e os respectivos apoios, a tensão de compressão não deve ultrapassar de $0,3 f_{cj}$, sendo f_{cj} a resistência efetiva do concreto na data do armazenamento. Quando houver fundação especial para suporte da pilha e dispositivo de transmissão dos esforços de elemento a elemento adequadamente dimensionados, permite-se atingir o valor da pressão de contato de $0,4 f_{cj}$.

10.2.4.2 Pressão admissível no solo

Elementos isolados ou empilhados, apoiados sobre cavaletes, caibros, pranchas, vigotas ou outros dispositivos de apoio, não devem transmitir pressões superiores às admissíveis para o tipo do solo em questão.

10.3 Transporte

10.3.1 O transporte deve ser efetuado em veículos apropriados às dimensões e peso dos elementos pré-moldados, levando-se em consideração as solicitações dinâmicas conforme o disposto em 5.2.3.5 e garantindo-se as condições de apoio previstas no projeto.

10.3.2 O carregamento dos veículos é efetuado com os mesmos cuidados dispostos em 10.1, utilizando-se dispositivos de apoio, como cavaletes, caibros ou vigotas, constituídos ou revestidos de material suficientemente macio para não danificar os elementos de concreto.

10.3.3 Os elementos dispostos em uma ou mais camadas devem ser devidamente escorados para impedir tombamentos e deslizamentos longitudinais e transversais durante as partidas, freadas e trânsito do veículo. A superfície de concreto deve ser protegida, para não ser danificada, nas regiões em contato com cabos, correntes ou outros dispositivos metálicos.

11 Montagem de elementos pré-moldados

A montagem dos elementos pré-moldados, em suas posições definitivas na obra, é realizada por intermediário de máquinas, equipamentos e acessórios apropriados, utilizando-se os pontos de suspensão localizados nas peças de concreto devidamente definidos em projeto para esta operação, evitando-se choques e movimentos abruptos. Da mesma forma que no manuseio, as máquinas de montagem, balancins, cabos de aço, ganchos e outros dispositivos são dimensionados levando-se em conta as solicitações dinâmicas conforme o disposto em 5.2.3.7.

11.1 Escoramento

Podem eventualmente ser previsto escoramento provisório para auxílio no posicionamento das peças e garantia de estabilidade até que a ligação definitiva seja efetuada. Este escoramento deve ser projetado de modo a não sofrer, sob a ação de seu peso, do peso dos elementos pré-moldados e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da montagem, deformações ou movimentos prejudiciais ao concreto ou introduzir esforços secundários não previstos no projeto.

11.2 Ações sobre os apoios de escoramento, madeira emendas nos pontaletes, precauções contra incêndio e dispositivos para retirada do escoramento

Aplicam-se aos assuntos relacionados neste item o disposto na NBR 6118.

12 Controle de qualidade e inspeção

12.1 O controle de qualidade e a inspeção de todas as etapas de produção, transporte e montagens dos elementos pré-moldados devem ser executados de forma a garantir o cumprimento das especificações do projeto.

12.2 Os elementos produzidos em usina ou instalações analogamente adequadas aos recursos para produção e que disponham de pessoal, organização de laboratório e demais instalações permanentes para o controle de qualidade, devidamente inspecionada pela fiscalização

do proprietário, recebem a classificação de pré-fabricados, desde que sejam atendidos os requisitos de 12.2.1 a 12.2.3.

12.2.1 A produção deve atender ao disposto em 9.1.2.

12.2.2 Os elementos devem ser identificados individualmente e, quando conveniente, por lotes de produção.

12.2.3 A inspeção das etapas de produção compreende pelo menos a confecção da armadura, as formas, o amassamento e lançamento do concreto, o armazenamento, o transporte e a montagem; deve ser registrada por escrito em documento próprio onde constem claramente indicados a identificação da peça, a data de fabricação, o tipo de aço e de concreto utilizados e as assinaturas dos inspetores responsáveis pela liberação de cada etapa de produção devidamente controlada.

12.3 Os elementos produzidos em condições menos rigorosas de controle de qualidade e classificados como pré-moldados devem ser inspecionados individualmente ou por lotes, através de inspetores do próprio construtor, da fiscalização do proprietário ou de organizações especializadas, dispensando-se a existência de laboratório e demais instalações congêneres próprias.

12.4 Na inspeção e controle de qualidade, devem ser utilizadas as especificações e os métodos de ensaio de Normas Brasileiras pertinentes.

12.4.1 Na eventual falta dessas normas, permite-se que seja aprovada em comum acordo entre o proprietário, o fabricante ou o construtor e a fiscalização, a metodologia a ser adotada.

12.4.2 Para a definição dos parâmetros de inspeção e recepção quanto à aparência, cantos, cor, rebarbas, textura, baixo-relevos e assemelhados, o fabricante ou o construtor deve apresentar amostras representativas da qualidade especificada, que devem ser aprovadas pelo proprietário e a fiscalização e constituir o termo de comparação para o controle de qualidade do produto acabado.

12.5 No controle de qualidade e inspeção dos materiais, aplica-se o disposto no Capítulo 8, observando-se a existência de ensaios de recepção, pelo menos quanto aos especificados abaixo:

a) aço:

- ensaio de tração;
- ensaio de dobramento;
- verificação do desbitolamento;

b) areia:

- análise granulométrica;
- determinação do teor de matéria orgânica;
- verificação da presença de materiais deletérios;
- presença de torrões de argila;

c) pedra britada:

- verificação da sanidade da rocha;
- análise granulométrica;
- determinação do teor de material pulverulento;
- verificação da forma dos fragmentos;
- verificação da presença de torrões de argila;
- verificação da presença de materiais deletérios;

d) cimento:

- verificação do tempo de início e fim de pega;
- ensaio normal de determinação da resistência;

e) análise da água de amassamento;

f) elastômeros:

- verificação conforme 7.2.1.5.

12.6 No decorrer dos processos de produção, devem ser controladas e inspecionadas pelo menos as fases ou características indicadas de 12.6.1 a 12.6.5.

12.6.1 Armadura passiva:

- a) verificação quanto à limpeza e oxidação;
- b) verificação de dimensões de corte e dobramento e atendimento das tolerâncias especificadas;
- c) verificação de tipos, quantidades, dimensões e locações das barras, conforme desenhos de projeto;
- d) verificação de deformações e torções no armazenamento das armações prontas e na posição final nas formas;
- e) verificação de tipo, quantidades, dimensões e locações de insertos metálicos especificados no projeto e daqueles eventualmente destinados à identificação dos elementos.

12.6.2 Armadura protendida:

- a) verificação quanto à limpeza e oxidação;
- b) verificação de tipos, quantidades, dimensões e locações de fios e cordoalhas e respectivas tolerâncias;
- c) verificação das dimensões, locações, tolerâncias e estanqueidade dos isolamentos de cordoalhas especificados no projeto;
- d) verificação dos dispositivos de ancoragem e tração dos fios e cordoalhas;
- e) verificação das dimensões e posição dos calços e outros dispositivos de manutenção da pré-tração dos fios ou cordoalhas;

- f) verificação da força de tração aplicada e da deformação dos fios e cordoalhas de acordo com as especificações de projeto e respectivas tolerâncias;
- g) verificação das condições de alívio da fixação das ancoragens conforme 9.2.5.3.

12.6.3 Formas:

- a) verificações dimensionais e de conformidade com as tolerâncias especificadas;
- b) verificação da posição de furos, insertos, alças de içamento, recortes, saliências e assemelhados e das respectivas dimensões e tolerâncias especificadas;
- c) verificação do travamento e estanqueidade;
- d) verificação de deslocamentos ou deformações, quando do lançamento e adensamento do concreto.

12.6.4 Concreto:

- a) verificação do teor de umidade dos agregados;
- b) verificação do peso específico;
- c) verificação das condições de armazenamento dos agregados e do cimento;
- d) verificação dos componentes;
- e) verificação da água de amassamento;
- f) verificação da seqüência e tempo da mistura;
- g) verificação da trabalhabilidade;
- h) verificação de altura, quantidade e tempo de lançamento;
- i) verificação da energia, alcance e tempo de adensamento;
- j) verificação da cura conforme disposto em 9.6;
- k) verificação da resistência do concreto para liberação e transferência da protensão ou para levantamento e manuseio do elemento.

12.6.5 Produto acabado:

- a) verificação do atendimento de todas as condições especificadas para levantamento e manuseio dos elementos, incluída a sua identificação correta e conforme disposto em 10.1;
- b) verificação das condições de armazenamento conforme disposto em 10.2;
- c) verificação das dimensões dos elementos, dos insertos e de recortes ou saliências e respectivas tolerâncias;
- d) verificação da existência de falhas ou defeitos de lançamento ou adensamento ao concreto;
- e) verificação da eventual presença de fissuras;
- f) verificação da aparência do elemento quanto a rebarbas, cantos quebrados, lascas ou defeitos semelhantes, conforme 12.4.2;
- g) verificação da aparência do elemento quanto à homogeneidade de cor e textura da superfície do concreto, conforme 12.4.2;
- h) verificação do elemento quanto à tolerâncias em relação a distorções, não-linearidade, flechas e contraflechas.

12.7 No controle de qualidade do transporte, deve-se proceder à verificação do atendimento ao disposto em 10.3.

12.8 No controle de qualidade da montagem, deve-se proceder a:

- a) verificação da locação das fundações de forma a atender ao disposto em 5.2.2.10 e 5.2.2.11;
- b) verificação da montagem dos pilares de forma a atender ao disposto em 5.2.2.6 e 5.2.2.9;
- c) verificação da montagem dos elementos de forma a atender ao disposto em 5.2.2.5 e 5.2.2.7;
- d) verificação da execução das ligações conforme especificações do projeto;
- e) verificação da execução de formas, armações e concreto moldado no local, conforme especificações do projeto;
- f) verificação dos acabamentos especificados no projeto e da limpeza final dos elementos.