



**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) 3974-2300
Fax: (21) 2240-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT—Associação Brasileira de
Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

MAR 2003

NBR 7187

Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento

Origem: Projeto NBR 7187:2002
ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:124.15 - Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto Simples,
Armado e Protendido
NBR 7187 - Design of reinforced and prestressed concrete bridges - Procedure
Descriptors: Bridge. Reinforced concrete. Pre-stressed concrete
Esta Norma substitui a NBR 7187:1987
Válida a partir de 30.03.2004

Palavras-chave: Ponte. Concreto armado. Concreto
protendido

11 páginas

Sumário

- Prefácio
- 1 Objetivo
- 2 Referências normativas
- 3 Requisitos e apresentação dos projetos
- 4 Princípios gerais
- 5 Notações
- 6 Unidades
- 7 Ações a considerar
- 8 Procedimento na elaboração do projeto
- 9 Disposições construtivas
- 10 Execução da estrutura

Prefácio

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

O processo de revisão da NBR 7187 enfocou basicamente sua atualização e o necessário alinhamento ao novo escopo da NBR 6118:2003 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, que passou a estabelecer também os requisitos básicos para concreto protendido. Estabeleceu-se igualmente a necessidade de revisão da NBR 8681:1984 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento, além da elaboração da NBR 14931:2003 - Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Esta informação tem por finalidade alertar os usuários quanto à conveniência de consultarem as edições atualizadas dos documentos citados.

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa os requisitos que devem ser obedecidos no projeto, na execução e no controle das pontes de concreto armado e de concreto protendido, excluídas aquelas em que se empregue concreto leve ou outros concretos especiais.

1.2 Além das condições desta Norma, devem ser obedecidas as de outras normas específicas e as exigências peculiares a cada caso, principalmente quando se tratar de estruturas com características excepcionais, onde as verificações de segurança necessitam de considerações adicionais, não previstas nesta Norma.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 6118:2003 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento

NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento

NBR 7188: 1984 - Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre - Procedimento

NBR 7189:1985 - Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias - Procedimento

NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento

NBR 10839:1989 - Execução de obras de arte especiais em concreto armado e concreto protendido - Procedimento

NBR 12655:1996 - Concreto - Preparo, controle e recebimento

3 Requisitos e apresentação dos projetos

3.1 Generalidades

Os documentos técnicos mínimos que constituem um projeto são: elementos básicos, memorial descritivo e justificativo, memorial de cálculo, desenhos e especificações.

Além das normas relacionadas na seção 2, devem ser obedecidas as instruções normativas e especificações emitidas pelo proprietário da obra.

3.2 Elementos básicos do projeto

Os elementos básicos compreendem todas as informações necessárias para justificar a obra e definir suas características técnicas e funcionais. Incluem levantamentos topográficos (também batimetria, se necessário) e de interferências, projeto geométrico completo, dados geológicos, geotécnicos e hidrológicos, gabaritos em largura e altura e outros condicionantes do projeto. Em alguns casos, devem ainda ser consideradas, na elaboração dos projetos, as condições de acesso à obra, características regionais e disponibilidade de materiais e mão-de-obra.

3.3 Memorial descritivo e justificativo

O memorial descritivo e justificativo deve conter a descrição da obra e dos processos construtivos propostos, bem como a justificativa técnica, econômica e arquitetônica da estrutura adotada.

3.4 Memorial de cálculo

O memorial de cálculo deve ser iniciado com uma indicação clara do modelo estrutural adotado, com as dimensões principais, características dos materiais, condições de apoio, hipóteses de cálculo e outras informações que sejam necessárias para defini-lo. Em seguida, os cálculos destinados à determinação das solicitações e ao dimensionamento dos elementos estruturais devem ser apresentados em seqüência lógica e com desenvolvimento tal que facilmente possam ser entendidos, interpretados e verificados. Os símbolos não usuais devem ser bem definidos, as fórmulas aplicadas devem figurar antes da introdução dos valores numéricos e as referências bibliográficas devem ser precisas e completas. Sendo os cálculos efetuados com auxílio de computadores, devem ser fornecidas as seguintes informações:

- a) se o programa utilizado for de uso corrente no meio técnico, sua identificação;
- b) se for um programa particular ou pouco conhecido, a descrição da base teórica, com as hipóteses feitas e os procedimentos matemáticos usados nos cálculos; indicação clara dos dados de entrada; relação dos resultados fornecidos pelo programa, os quais devem ser apresentados ordenadamente, com o significado de cada um, de forma que possam facilmente ser entendidos e, eventualmente, verificados por processos independentes.

3.5 Desenhos

3.5.1 Os desenhos, em formato normalizado e escalas adequadas, devem conter todos os elementos necessários à execução da obra e estar condizentes com os cálculos. Os desenhos de implantação da obra devem conter sua localização e os elementos principais do projeto geométrico, de forma a ficar perfeitamente definida sua integração com as características locais.

3.5.2 Em perfil, devem ser mostradas as cotas do greide, do terreno natural, dos aterros de acesso ou cortes, do obstáculo transposto (curso d'água, rodovia, ferrovia etc.), constando também no desenho os gabaritos impostos, em largura e altura. Devem ser mostradas inclusive as cotas dos elementos de fundação, do lençol freático e o perfil geológico/geotécnico do terreno, estimado a partir das sondagens e ensaios geotécnicos realizados.

3.5.3 Em planta o desenho deve ser lançado sobre bases obtidas do levantamento topográfico com as linhas rebaixadas, mostrando a compatibilização da obra com as condições locais, indicando saias de aterro e taludes de cortes, e fornecendo as coordenadas para locação das fundações.

3.5.4 Os desenhos de fôrmas devem detalhar todos os elementos componentes da estrutura, através de plantas, elevações e cortes, mostrando, além de todas as dimensões, dados complementares, tais como: contraflechas, aberturas provisórias para as fases construtivas, detalhes de drenagem da pista, de fixação de postes e outros.

3.5.5 Devem também constar nos desenhos de fôrmas outras informações importantes relativas à obra, principalmente: classe em que se enquadra (com relação às cargas móveis), especificações dos materiais que serão utilizados e, conforme o tipo de fundação, pressões no terreno exercidas por sapatas rasas ou bases de tubulões, cargas em estacas e comprimentos previstos.

3.5.6 Os desenhos de armação devem indicar tipo de aço, quantidade, bitola, dimensões e formas, posição e espaçamento das barras ou cabos, tipos de emendas e ganchos, raios mínimos de dobramento, cobrimentos, bem como prever espaços para lançamento do concreto e utilização de vibradores.

3.5.7 Em função da complexidade da obra, podem ser necessários desenhos específicos de execução, indicando: sistemática construtiva prevista, planos de concretagem, juntas obrigatórias e optativas, planos e tabelas de protensão, desenhos de escoramentos, convenientemente dimensionados de acordo com o plano de concretagem proposto, seqüências de execução e descimbramento, deformações previstas.

3.6 Especificações

Todas as informações necessárias à execução da obra que não constem nos documentos previstos nos itens anteriores devem ser fornecidas sob a forma de especificações.

4 Princípios gerais

4.1 Requisitos do projeto

As estruturas objeto desta Norma devem ser concebidas, calculadas e detalhadas de modo a satisfazer os requisitos de qualidade definidos na seção 5 da NBR 6118:2003, principalmente garantindo que, para todas as combinações de ações suscetíveis de intervir durante sua construção e utilização, sejam respeitados os estados limites últimos e os estados limites de serviço, bem como as condições de durabilidade requeridas.

4.2 Estados limites e durabilidade

Os estados limites a serem considerados estão definidos e relacionados nas seções 3 e 10 da NBR 6118:2003. Os estados limites últimos (ELU) representam o colapso ou qualquer outra forma de ruína que determine a paralisação do uso da estrutura.

Os estados limites de serviço (ELS) estão relacionados com a durabilidade e a boa utilização funcional das estruturas, sua aparência e o conforto dos usuários.

Os requisitos destinados especificamente à garantia da durabilidade encontram-se nas seções 6 e 7 da NBR 6118:2003.

5 Notações

No projeto, execução e controle das pontes de concreto armado e protendido devem ser adotadas as notações básicas indicadas na seção 4 da NBR 6118:2003, além de símbolos específicos de outros capítulos da mesma ou de outras normas brasileiras.

6 Unidades

Nesta Norma é adotado o Sistema Internacional de Unidades (SI), sendo recomendadas, na prática, as seguintes unidades:

- a) para as cargas e forças concentradas ou distribuídas: kN, kN/m, kN/m²;
- b) para os pesos específicos: kN/m³;
- c) para as tensões e resistências: MPa (MN/m²);
- d) para os momentos: kN.m ou MN.m.

7 Ações a considerar

Conforme definição constante na NBR 8681, ações são as causas que provocam o aparecimento de esforços ou deformações nas estruturas. Classificam-se, segundo a referida norma, em:

- a) permanentes;
- b) variáveis;
- c) excepcionais.

7.1 Ações permanentes

Ações cujas intensidades podem ser consideradas como constantes ao longo da vida útil da construção. Também são consideradas permanentes as que crescem no tempo, tendendo a um valor limite constante. As ações permanentes compreendem, entre outras:

- a) as cargas provenientes do peso próprio dos elementos estruturais;
- b) as cargas provenientes do peso da pavimentação, dos trilhos, dos dormentes, dos lastros, dos revestimentos, das barreiras, dos guarda-rodas, dos guarda-corpos e de dispositivos de sinalização;
- c) os empuxos de terra e de líquidos;
- d) as forças de protensão;
- e) as deformações impostas, isto é, provocadas por fluência e retração do concreto, por variações de temperatura e por deslocamentos de apoios.

7.1.1 Peso próprio dos elementos estruturais

Na avaliação das cargas devidas ao peso próprio dos elementos estruturais, o peso específico deve ser tomado no mínimo igual a 24 kN/m³ para o concreto simples e 25 kN/m³ para o concreto armado ou protendido.

7.1.2 Pavimentação

Na avaliação da carga devida ao peso da pavimentação, deve ser adotado para peso específico do material empregado o valor mínimo de 24 kN/m³, prevendo-se uma carga adicional de 2 kN/m² para atender a um possível recapeamento. A consideração desta carga adicional pode ser dispensada, a critério do proprietário da obra, no caso de pontes de grandes vãos.

7.1.3 Lastro ferroviário, trilhos e dormentes

As cargas correspondentes ao lastro ferroviário devem ser determinadas considerando um peso específico aparente de 18 kN/m³. Deve ser suposto que o lastro atinja o nível superior dos dormentes e preencha completamente o espaço limitado pelos guarda-lastros, até o seu bordo superior, mesmo se na seção transversal do projeto assim não for indicado. Na ausência de indicações precisas, a carga referente aos dormentes, trilhos e acessórios deve ser considerada no mínimo igual a 8 kN/m por via.

7.1.4 Empuxo de terra

7.1.4.1 O empuxo de terra nas estruturas é determinado de acordo com os princípios da mecânica dos solos, em função de sua natureza (ativo, passivo ou de repouso), das características do terreno, assim como das inclinações dos taludes e dos paramentos. Como simplificação, pode ser suposto que o solo não tenha coesão e que não haja atrito entre o terreno e a estrutura, desde que as solicitações assim determinadas estejam a favor da segurança.

O peso específico do solo úmido deve ser considerado no mínimo igual a 18 kN/m³ e o ângulo de atrito interno no máximo igual a 30°. Os empuxos ativo e de repouso devem ser considerados nas situações mais desfavoráveis. A atuação do empuxo passivo só pode ser levada em conta quando sua ocorrência puder ser garantida ao longo de toda a vida útil da obra.

Quando a superestrutura funciona como arrimo dos aterros de acesso, a ação do empuxo de terra proveniente desses aterros pode ser considerada simultaneamente em ambas as extremidades somente no caso em que não haja juntas intermediárias do tabuleiro e desde que seja feita a verificação também para a hipótese de existir a ação em apenas uma das extremidades, agindo isoladamente (sem outras forças horizontais) e para o caso de estrutura em construção.

Nos casos de tabuleiro em curva ou esconso, deve ser considerada a atuação simultânea dos empuxos em ambas as extremidades, quando for mais desfavorável.

No caso de pilares implantados em taludes de aterro, deve ser adotada, para o cálculo do empuxo de terra, uma largura fictícia igual a três vezes a largura do pilar, devendo este valor ficar limitado à largura da plataforma do aterro.

7.1.4.2 Para grupo de pilares alinhados transversalmente, quando a largura fictícia, obtida de acordo com o critério de 7.1.4.1, for superior à distância transversal entre eixos de pilares, a nova largura fictícia a considerar deve ser:

- a) para os pilares externos, a semidistância entre eixos acrescida de uma vez e meia a largura do pilar;
- b) para os pilares intermediários a distância entre eixos.

Pode ser prescindida a consideração da ação do empuxo de terra sobre os elementos estruturais implantados em terraplenos horizontais de aterros previamente executados, desde que sejam adotadas precauções especiais no projeto e na execução tais como: compactação adequada, inclinações convenientes dos taludes, distâncias mínimas dos elementos às bordas do aterro, terreno de fundação com suficiente capacidade de suporte, entre outras.

7.1.5 Empuxo d'água

7.1.5.1 O empuxo d'água e a subpressão devem ser considerados nas situações mais desfavoráveis para a verificação dos estados limites, sendo dada especial atenção ao estudo dos níveis máximo e mínimo dos cursos d'água e do lençol freático.

No caso de utilização de contrapeso enterrado, é obrigatória, na avaliação de seu peso, a consideração da hipótese de submersão total do mesmo, salvo se comprovada a impossibilidade de ocorrência dessa situação.

7.1.5.2 Nos muros de arrimo deve ser prevista, em toda a altura da estrutura, uma camada filtrante contínua, na face em contato com o solo contido, associada a um sistema de drenos, de modo a evitar a situação de pressões hidrostáticas. Caso contrário, deve ser considerado nos cálculos o empuxo d'água resultante.

7.1.5.3 Toda estrutura celular deve ser projetada, quando for o caso, para resistir ao empuxo d'água proveniente do lençol freático, da água livre ou da água acumulada de chuva. Caso a estrutura seja provida de aberturas com dimensões adequadas, esta ação não precisa ser levada em consideração.

7.1.6 Forças de protensão

As forças de protensão e respectivas perdas devem ser consideradas conforme disposto na seção 11 da NBR 6118:2003.

7.1.7 Fluência

Deve ser atendido o disposto na seção 11 da NBR 6118:2003.

7.1.8 Retração

Deve ser atendido o disposto na seção 11 da NBR 6118:2003.

7.1.9 Deslocamento de fundações

Se a natureza do terreno e o tipo de fundações permitirem a ocorrência de deslocamentos que induzam efeitos apreciáveis na estrutura, as deformações impostas decorrentes devem ser levadas em consideração no projeto.

7.2 Ações variáveis

Ações de caráter transitório que compreendem, entre outras:

- a) as cargas móveis;
- b) as cargas de construção;
- c) as cargas de vento;
- d) o empuxo de terra provocado por cargas móveis;
- e) a pressão da água em movimento;
- f) o efeito dinâmico do movimento das águas;
- g) as variações de temperatura.

7.2.1 Cargas móveis

7.2.1.1 Cargas verticais

Os valores característicos das cargas móveis verticais são fixados nas NBR 7188 e NBR 7189, ou pelo proprietário da obra.

7.2.1.2 Efeito dinâmico das cargas móveis

O efeito dinâmico das cargas móveis deve ser analisado pela teoria da dinâmica das estruturas. É permitido, no entanto, assimilar as cargas móveis a cargas estáticas, através de sua multiplicação pelos coeficientes de impacto definidos a seguir:

- a) nos elementos estruturais de obras rodoviárias:

$$\varphi = 1,4 - 0,007 \cdot \ell \geq 1$$

- b) nos elementos estruturais de obras ferroviárias:

$$\varphi = 0,001 \cdot (1600 - 60\sqrt{\ell} + 2,25 \cdot \ell) \geq 1,2$$

onde:

ℓ é o comprimento de cada vão teórico do elemento carregado, qualquer que seja o sistema estrutural, em metros.

No caso de vãos desiguais, em que o menor vão seja igual ou superior a 70% do maior, permite-se considerar um vão ideal equivalente à média aritmética dos vãos teóricos. No caso de vigas em balanço, ℓ é tomado igual a duas vezes o seu comprimento. Não deve ser considerado o impacto na determinação do empuxo de terra provocado pelas cargas móveis, no cálculo de fundações e nos passeios das pontes rodoviárias.

7.2.1.3 Força centrífuga

7.2.1.3.1 Nas pontes rodoviárias em curva, a força centrífuga normal ao seu eixo deve ser considerada atuando na superfície de rolamento, sendo seu valor característico determinado como uma fração C do peso do veículo tipo. Para pontes em curva com raio inferior a 300 m, $C = 0,25$ e para raios superiores a 300 m, $C = 75/R$, sendo R o raio da curva, em metros. Os fatores acima já incluem o efeito dinâmico das cargas móveis.

7.2.1.3.2 Nas pontes ferroviárias em curva, a força centrífuga deve ser considerada atuando no centro de gravidade do trem, suposto a 1,60 m acima da superfície definida pelo topo dos trilhos, sendo seu valor característico tomado como uma fração C da carga móvel, com os valores a seguir indicados:

a) para pontes destinadas a linhas de bitola larga:

$$C = 0,15 \text{ se } R \leq 1\,200 \text{ m};$$

$$C = \frac{180}{R} \text{ se } R > 1\,200 \text{ m};$$

b) para pontes destinadas a linhas de bitola estreita:

$$C = 0,10 \text{ se } R \leq 750 \text{ m};$$

$$C = \frac{75}{R} \text{ se } R > 750 \text{ m}.$$

7.2.1.4 Choque lateral

O choque lateral das rodas, considerado apenas em pontes ferroviárias, é equiparado a uma força horizontal móvel, aplicada na altura do topo do trilho, normal ao eixo da linha, com um valor característico igual a 20% da carga do eixo mais pesado. Em pontes curvas em planta, não se deve somar o efeito do choque lateral ao da força centrífuga, considerando-se entre os dois apenas o que produzir maiores solicitações. Em pontes com mais de uma linha, esta ação só é considerada em uma delas.

7.2.1.5 Efeitos da frenação e da aceleração

7.2.1.5.1 O valor característico da força longitudinal provocada pela frenação ou pela aceleração de veículos sobre as pontes deve ser tomado como uma fração das cargas móveis, consideradas sem impacto.

7.2.1.5.2 Nas pontes rodoviárias, a força longitudinal devida à frenação ou à aceleração dos veículos deve ser considerada aplicada na superfície de rolamento e igual ao maior dos seguintes valores: 5% do peso do carregamento do tabuleiro com as cargas móveis distribuídas, excluídos os passeios, ou 30% do peso do veículo tipo.

7.2.1.5.3 Nas pontes ferroviárias, a força longitudinal devida à frenação ou à aceleração deve ser considerada aplicada no topo dos trilhos e igual ao maior dos seguintes valores: 15% da carga móvel para a frenação ou 25% do peso dos eixos motores para a aceleração.

7.2.1.5.4 No caso de pontes com mais de uma linha, considera-se a força longitudinal em apenas duas delas: numa considera-se a força de frenação e na outra a força de aceleração ou metade da força de frenação, adotando-se a maior das duas. Estas forças são consideradas atuando no mesmo sentido, nas duas linhas que correspondam à situação mais desfavorável para o dimensionamento.

7.2.2 Cargas de construção

No projeto e cálculo estrutural devem ser consideradas as ações das cargas passíveis de ocorrer durante o período da construção, notadamente aquelas devidas ao peso de equipamentos e estruturas auxiliares de montagem e de lançamento de elementos estruturais e seus efeitos em cada etapa executiva da obra.

7.2.3 Carga de vento

Deve ser calculada de acordo com a NBR 6123.

7.2.4 Empuxo de terra provocado por cargas móveis

Deve ser calculado com os mesmos critérios apresentados em 7.1.4, transformando-se as cargas móveis no terrapleno em altura de terra equivalente. Quando a superestrutura funciona como arrimo dos aterros de acesso, a ação deve ser considerada em apenas uma das extremidades, a menos que seja mais desfavorável considerá-la simultaneamente nas duas, nos casos de tabuleiros em curva horizontal ou esconsos.

7.2.5 Pressão da água em movimento

A pressão da água em movimento sobre os pilares e elementos das fundações pode ser determinada através da expressão:

$$p = k \cdot v_a^2$$

onde:

p é a pressão estática equivalente, em quilonewtons por metro quadrado;

v_a é a velocidade da água, em metros por segundo;

k é um coeficiente dimensional, cujo valor é 0,34 para elementos com seção transversal circular. Para elementos com seção transversal retangular, o valor de k é função do ângulo de incidência do movimento das águas em relação ao plano da face do elemento, conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Valores de k em função do ângulo de incidência

Ângulo de incidência	k
90°	0,71
45°	0,54
0°	0

NOTAS

1 Para situações intermediárias, o valor de k deve ser obtido por interpolação linear.

2 A pressão p deve ser considerada sobre uma área igual à da projeção do elemento em um plano perpendicular à direção do movimento da água. Para elementos com outras seções transversais, consultar a bibliografia especializada para a determinação do fator k .

7.2.6 Efeito dinâmico do movimento das águas

O efeito dinâmico das ondas e das águas em movimento deve ser determinado através de métodos baseados na hidrodinâmica.

7.2.7 Variações de temperatura

As variações de temperatura devem ser consideradas como indicado na seção 11 da NBR 6118:2003.

7.3 Ações excepcionais

São aquelas cuja ocorrência se dá em circunstâncias anormais. Compreendem os choques de objetos móveis, as explosões, os fenômenos naturais pouco freqüentes, como ventos ou enchentes catastróficos e sismos, entre outros.

7.3.1 Choques de objetos móveis

Os pilares passíveis de serem atingidos por veículos rodoviários ou embarcações em movimento devem ter sua segurança verificada quanto aos choques assim provocados. Dispensa-se essa verificação se no projeto forem incluídos dispositivos capazes de proteger a estrutura contra este tipo de acidente.

7.3.2 Outras ações excepcionais

As verificações de segurança quanto às demais ações excepcionais somente devem ser realizadas em construções especiais, a critério do proprietário da obra.

8 Procedimento na elaboração do projeto

8.1 Modelo estrutural

O modelo estrutural escolhido deve ser tal que permita uma boa avaliação da resposta da estrutura real às ações nela previstas. Geralmente, as estruturas podem ser decompostas em elementos estruturais mais simples, lineares e de superfície, ressalvando-se que as dimensões desses elementos devem manter entre si proporções compatíveis com sua classificação.

8.2 Propriedades dos materiais

8.2.1 As propriedades dos materiais, aço e concreto, a serem consideradas na determinação das solicitações, estão indicadas na seção 8 da NBR 6118:2003.

8.2.2 As resistências características dos materiais e os coeficientes de ponderação para as verificações de segurança devem ser considerados conforme seção 12 da NBR 6118:2003.

8.3 Ações

8.3.1 Devem ser consideradas todas as ações que tenham razoável probabilidade de ocorrer na estrutura em projeto, entre as relacionadas na seção 7, além de outras que possam ser definidas pelo proprietário da obra.

8.3.2 Os coeficientes de ponderação das ações, suas combinações, assim como os respectivos fatores de redução, devem obedecer ao disposto na seção 11 da NBR 6118:2003.

8.4 Análise estrutural

A análise estrutural compreende os conceitos e os procedimentos matemáticos ou experimentais que permitem determinar as solicitações, deformações e deslocamentos nas várias partes da estrutura, visando avaliar sua segurança em relação aos estados limites e orientar seu detalhamento. A análise deve ser conduzida de acordo com o disposto na seção 14 da NBR 6118:2003.

8.5 Solicitações, deformações e deslocamentos

8.5.1 A composição das seções dos elementos estruturais e seus vãos teóricos seguem o disposto na seção 14 da NBR 6118:2003.

8.5.2 No cálculo das solicitações admite-se a simplificação de considerar a estrutura não fissurada, adotando-se o momento de inércia da seção bruta de concreto e módulo de elasticidade secante.

8.5.3 Para o cálculo de deformações e deslocamentos, relacionados aos estados limites de serviço, deve-se considerar a seção fissurada, conforme critérios da seção 17 da NBR 6118:2003.

8.5.4 As estruturas hiperestáticas dimensionadas no estado limite último, empregando-se critérios de redistribuição de esforços, devem ser verificadas nos estados limites de serviço e de fadiga, sem a consideração de redistribuição.

8.5.5 As lajes dimensionadas com base na teoria das charneiras plásticas devem ser também verificadas nos estados limites de serviço e de fadiga, para solicitações determinadas pela teoria elástica das placas.

8.5.6 As considerações de instabilidade e os efeitos de segunda ordem nos elementos estruturais devem ser conduzidos de acordo com o disposto na seção 15 da NBR 6118:2003.

8.6 Dimensionamento, verificações de segurança e detalhamento

Devem ser realizados de acordo com a NBR 6118.

9 Disposições construtivas

9.1 Dimensões das peças

9.1.1 Lajes maciças

As espessuras h das lajes maciças que fazem parte das estruturas objeto desta Norma devem respeitar os valores mínimos a seguir indicados:

- lajes destinadas à passagem de tráfego ferroviário: $h \geq 20$ cm;
- lajes destinadas à passagem de tráfego rodoviário: $h \geq 15$ cm;
- demais casos: $h \geq 12$ cm.

9.1.2 Lajes nervuradas

Nas lajes nervuradas destinadas às estruturas de que trata esta Norma, devem ser observados os limites mínimos a seguir especificados:

- espessura da mesa:

$$h_f \geq 10 \text{ cm ou } h_f \geq \frac{a}{12}$$

onde:

- a é a distância entre eixos das nervuras;
- distância entre eixos das nervuras: $a \leq 150$ cm;
- espessura da alma das nervuras: $b \geq 12$ cm.

9.1.3 Lajes ocas

Nas lajes ocas, com fôrmas perdidas na forma de tubos ou dutos de seção retangular, destinadas às estruturas de que trata esta Norma, devem ser observados os mesmos limites especificados em 9.1.2, admitindo-se para a mesa inferior uma espessura mínima de 8 cm.

9.1.4 Vigas

9.1.4.1 As vigas de seção retangular e as nervuras das vigas de seção T , duplo T ou celular concretadas no local, nas estruturas de que trata esta Norma, não devem ter largura de alma b_w menor do que 20 cm.

9.1.4.2 Em vigas pré-moldadas de seção T ou duplo T , fabricadas em usina, com a utilização de técnicas adequadas e controle da qualidade rigoroso, a largura da alma b_w pode ser reduzida até o limite mínimo de 12 cm.

9.1.5 Pilares

A menor dimensão transversal dos pilares maciços, nas estruturas de que trata esta Norma, não deve ser inferior a 40 cm, nem a 1/25 de sua altura livre. No caso de pilares com seção transversal celular, a espessura das paredes não deve ser inferior a 20 cm. Quando a execução desses pilares for prevista com a utilização do sistema de fôrmas deslizantes, deve-se aumentar a espessura mínima das paredes para 25 cm, através de acréscimos nos cobrimentos de 2,5 cm, não sendo permitido considerar tais acréscimos no dimensionamento.

9.1.6 Paredes estruturais

A espessura das paredes estruturais, nas estruturas de que trata esta Norma, não deve ser inferior a 20 cm nem a 1/25 de sua altura livre.

9.2 Aberturas

9.2.1 Sempre que forem previstas aberturas em qualquer peça de concreto armado ou protendido, deve-se observar o disposto na seção 13 da NBR 6118:2003.

9.2.2 Nos casos de estruturas celulares, as aberturas provisórias para retirada de fôrmas internas, inspeção e eventual aplicação de protensão no interior da célula devem ser previstas no projeto, sendo obrigatória sua inclusão nos desenhos de fôrmas e de armação pertinentes, bem como a indicação da maneira de executar seu fechamento e da fase construtiva correspondente.

9.2.3 Além disso, devem ser dispostas aberturas permanentes, de modo a permitir, a qualquer tempo, o acesso ao interior de vigas ou pilares de seção celular, para inspeção e manutenção da estrutura, equipamentos de controle e canalizações eventualmente existentes. Da mesma forma que no caso das provisórias, as aberturas permanentes devem ser devidamente detalhadas no projeto estrutural.

9.3 Drenagem

Devem ser previstos nos projetos sistemas de drenagem que garantam o perfeito escoamento das águas pluviais que incidem sobre os tabuleiros das pontes. Além disso, nos casos de obras com vigas ou pilares de seção celular, devem ser previstos, em cada um dos diversos compartimentos, drenos para o caso de eventual infiltração de águas pluviais, devendo sua locação e detalhamento constar obrigatoriamente nos projetos.

9.4 Canalizações embutidas

Podem ser embutidas canalizações em elementos da estrutura, desde que sejam obedecidas as seguintes prescrições:

- a) os efeitos causados na resistência e na deformabilidade da estrutura por essas canalizações devem ser considerados no seu dimensionamento;
- b) todos os detalhes referentes às canalizações embutidas, tais como locação, diâmetro, qualidade do material, juntas, caixas de passagem ou inspeção etc., devem constar obrigatoriamente no projeto;
- c) as canalizações destinadas à passagem de fluidos submetidos a temperaturas que se afastem mais de 15°C da temperatura ambiente devem ser isoladas termicamente;
- d) as canalizações destinadas a suportar pressões internas superiores a 0,3MPa devem ter esse efeito considerado na verificação da segurança da estrutura;
- e) quando uma canalização atravessa dois elementos da estrutura separados por uma junta de dilatação, devem ser previstos no projeto dispositivos adequados, que permitam os movimentos relativos entre os elementos, sem danificar a estrutura nem a canalização.

9.5 Armadura não protendida

Além das prescrições pertinentes da NBR 6118, devem ser observadas as disposições construtivas relacionadas a seguir.

9.5.1 Distribuição da armadura longitudinal de tração do vigamento principal nas mesas das vigas de seção T , L ou celular

Quando as mesas das vigas de seção T , L ou celular estão situadas em zona tracionada, 40% a 60% da armadura longitudinal de tração calculada para o vigamento principal deve ser disposta na laje, de um ou de ambos os lados da alma, quando for o caso, respeitadas as seguintes condições:

- a) devem ser dispostas, no mínimo, duas barras na largura da alma, com espaçamento $e \leq 20$ cm;
- b) não devem ser dispostas na laje barras cujo diâmetro seja superior a 1/10 da espessura dessa laje;

c) a extremidade de uma barra longitudinal tracionada disposta na mesa, determinada com a consideração do deslocamento do diagrama de forças de tração e do comprimento de ancoragem necessário, deve ser prolongada de um comprimento igual à distância horizontal existente entre a barra em questão e a face mais próxima da alma;

d) deve ser verificada a ligação mesa-alma, conforme o disposto na seção 18 da NBR 6118:2003;

e) as barras longitudinais da armadura de tração dispostas nas mesas não devem distar da face mais próxima da alma mais do que $0,25 b_f$, sendo b_f a largura efetiva da mesa, conforme a NBR 6118.

9.5.2 Armadura mínima em lajes

Deve ser observado o disposto na seção 19 da NBR 6118:2003.

9.5.3 Armadura mínima longitudinal em vigas

Deve ser observado o disposto na seção 17 da NBR 6118:2003.

9.5.4 Armadura longitudinal de distribuição

Deve ser observado o disposto na seção 17 da NBR 6118:2003.

9.5.5 Armadura mínima para força cortante em vigas

Deve ser observado o disposto na seção 17 da NBR 6118:2003.

9.6 Armadura de protensão

Deve ser observado o disposto nas seções 18 e 20 da NBR 6118:2003.

9.7 Juntas de concretagem

Para as estruturas a serem executadas em etapas sucessivas de concretagem, a posição e os detalhes das juntas de concretagem devem ser previstos no projeto, observadas as disposições pertinentes da NBR 6118.

9.8 Juntas de dilatação

As juntas de dilatação devem ser detalhadas no projeto estrutural, prevendo-se dispositivos adequados capazes de acompanhar os movimentos da estrutura e de prover uma perfeita vedação do local.

9.9 Aparelhos de apoio

9.9.1 O projeto estrutural deve conter todos os elementos necessários para garantir o correto funcionamento dos aparelhos de apoio, tais como suas dimensões, posicionamento, tipo e características do material de constituição, instruções de montagem e colocação, detalhe do berço de assentamento, eventuais dispositivos de proteção etc.

9.9.2 Devem ser observadas, para os diversos tipos de aparelhos de apoio existentes, as normas brasileiras pertinentes ou, se for o caso, os regulamentos internacionais que versem sobre a matéria.

9.9.3 A substituição eventual dos aparelhos de apoio deve também ser prevista no projeto estrutural. Para tanto, devem constar nos desenhos e no memorial de cálculo o detalhamento e a descrição da operação de soerguimento, desmontagem, se for o caso, e substituição. Os elementos estruturais interessados nessa operação devem ser detalhados e dimensionados de modo a atender às solicitações decorrentes.

9.10 Ligação de elementos pré-moldados

Para as estruturas a serem executadas através da união entre dois ou mais elementos de concreto pré-moldado, a posição e os detalhes das ligações devem constar no projeto. Sempre que possível, as seções da união devem ser dispostas perpendicularmente à direção média das forças de compressão.

Qualquer seção de união atravessada por armaduras passivas pode ser verificada como seção corrente, desde que a continuidade dessas armaduras seja garantida por emenda de justaposição ou de solda.

Os tipos mais comuns de ligação entre elementos pré-moldados são os indicados em 9.10.1 a 9.10.3.

9.10.1 Ligação de elementos pré-moldados conjugados por colagem

9.10.1.1 Neste tipo de união, devem ser desprezadas nas verificações as zonas tracionadas das seções de concreto, a não ser que haja garantia, comprovada através de ensaios, de que a resistência à tração da ligação é igual ou superior a resistência característica à tração do concreto.

9.10.1.2 Denominam-se elementos conjugados as peças concretadas seqüencialmente, utilizando-se a face extrema de um elemento como fôrma para o elemento seguinte, de modo a garantir uma correta justaposição das superfícies a serem coladas.

9.10.2 Ligação concretada de elementos pré-moldados

9.10.2.1 Neste tipo de união, é prevista uma faixa entre os elementos a serem ligados, com espessura mínima de 10 cm, que deve ser preenchida com concreto da mesma qualidade que o utilizado na fabricação dos referidos elementos.

9.10.2.2 Nos casos de estruturas em concreto protendido, é essencial que as aberturas destinadas à passagem das armaduras de protensão sejam cuidadosamente executadas, de modo a manter entre si um perfeito alinhamento. Deve-se tomar as devidas precauções para que, por ocasião da execução do rejuntamento, não haja contaminação nem amassamento das bainhas onde estão alojadas as armaduras de protensão.

9.10.3 Ligação argamassada de elementos pré-moldados

Neste tipo de união é prevista uma faixa entre os elementos a serem ligados, com espessura da ordem de 1 cm, que deve ser preenchida com argamassa com resistência igual à do concreto utilizado na fabricação dos referidos elementos. Aplicam-se a este tipo de ligação as mesmas prescrições estabelecidas em 9.10.2.

9.11 Laje de transição

É recomendável prever, no projeto das estruturas de que trata esta Norma, a execução de lajes de concreto armado, dispostas nas extremidades das obras, de modo a estabelecer uma transição entre a estrutura propriamente dita e os aterros de acesso, a fim de eliminar os inconvenientes usuais causados pelo adensamento desses aterros junto à estrutura e o desconforto decorrente dos desníveis assim provocados.

10 Execução da estrutura

A execução das estruturas de que trata esta Norma deve ser realizada em conformidade com as exigências constantes nas NBR 6118 e NBR 10839.

As operações de preparo, controle e recebimento do concreto, bem como a atribuição de responsabilidades pela etapas construtivas, no que couber, devem estar de acordo com o que estabelece a NBR 12655.

