



**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 8681

Ações e segurança nas estruturas - Procedimento

Origem: Projeto NBR 8681:2002
ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:124.15 - Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto Simples,
Armado e Protendido
NBR 8681 - Actions and safety of structures - Procedure
Descriptors: Structures. Safety
Esta Norma substitui a NBR 8681:1984
Válida a partir de 30.03.2004

Palavras-chave: Estrutura. Segurança

15 páginas

Sumário

- Prefácio
- 1** Objetivo
- 2** Referência normativa
- 3** Definições
- 4** Requisitos gerais
- 5** Requisitos específicos
- 6** Verificação da segurança

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 8681 enfocou basicamente sua atualização e o necessário alinhamento ao novo escopo da NBR 6118:2003 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Dessa forma, estabeleceu-se igualmente a necessidade de revisão da NBR 7187:1987 - Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido - 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 exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, quaisquer que sejam sua classe e destino, salvo os casos previstos em Normas Brasileiras específicas.

1.2 Os critérios de verificação da segurança e os de quantificação das ações adotados nesta Norma são aplicáveis às estruturas e às peças estruturais construídas com quaisquer dos materiais usualmente empregados na construção civil.

NOTA - Além destes, devem ser respeitados os critérios que constem em normas referentes a tipos particulares de construção e os símbolos gráficos, conforme indicados na NBR 7808.

2 Referência normativa

A norma relacionada a seguir contém disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. A edição indicada estava 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 usar a edição mais recente da norma citada a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 7808:1983 - Símbolos gráficos para projetos de estruturas - Simbologia

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições:

3.1 estados limites de uma estrutura: Estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção.

3.2 estados limites últimos: Estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção.

3.3 estados limites de serviço: Estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.

3.4 ações: Causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

3.5 ações permanentes: Ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. A variabilidade das ações permanentes é medida num conjunto de construções análogas.

3.6 ações variáveis: Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção.

3.7 ações excepcionais: Ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

3.8 cargas acidentais: Cargas acidentais são as ações variáveis que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos etc.).

4 Requisitos gerais

4.1 Estados limites

Os estados limites podem ser estados limites últimos ou estados limites de serviço. Os estados limites considerados nos projetos de estruturas dependem dos tipos de materiais de construção empregados e devem ser especificados pelas normas referentes ao projeto de estruturas com eles construídas.

4.1.1 Estados limites últimos

No projeto, usualmente devem ser considerados os estados limites últimos caracterizados por:

- a) perda de equilíbrio, global ou parcial, admitida a estrutura como um corpo rígido;
- b) ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- c) transformação da estrutura, no todo ou em parte, em sistema hipostático;
- d) instabilidade por deformação;
- e) instabilidade dinâmica.

NOTA - Em casos particulares pode ser necessário considerar outros estados limites últimos que não os aqui especificados.

4.1.2 Estados limites de serviço

4.1.2.1 No período de vida da estrutura, usualmente são considerados estados limites de serviço caracterizados por:

- a) danos ligeiros ou localizados, que comprometam o aspecto estético da construção ou a durabilidade da estrutura;
- b) deformações excessivas que afetem a utilização normal da construção ou seu aspecto estético;
- c) vibração excessiva ou desconfortável.

4.1.2.2 Os estados limites de serviço decorrem de ações cujas combinações podem ter três diferentes ordens de grandeza de permanência na estrutura:

- a) combinações quase permanentes: combinações que podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, da ordem da metade deste período;
- b) combinações freqüentes: combinações que se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura, da ordem de 10^5 vezes em 50 anos, ou que tenham duração total igual a uma parte não desprezível desse período, da ordem de 5%;
- c) combinações raras: combinações que podem atuar no máximo algumas horas durante o período de vida da estrutura.

4.2 Ações

4.2.1 Classificação das ações

Para o estabelecimento das regras de combinação das ações, estas são classificadas segundo sua variabilidade no tempo em três categorias:

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

4.2.1.1 Ações permanentes

Consideram-se como ações permanentes:

- a) ações permanentes diretas: os pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas;
- b) ações permanentes indiretas: a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais.

4.2.1.2 Ações variáveis

Consideram-se como ações variáveis as cargas acidentais das construções, bem como efeitos, tais como forças de frenação, de impacto e centrífugas, os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio e, em geral, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas. Em função de sua probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais:

- a) ações variáveis normais: ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção;
- b) ações variáveis especiais: nas estruturas em que devam ser consideradas certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, elas também devem ser admitidas como ações variáveis. As combinações de ações em que comparecem ações especiais devem ser especificamente definidas para as situações especiais consideradas.

4.2.1.3 Ações excepcionais

Consideram-se como excepcionais as ações decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais. Os incêndios, ao invés de serem tratados como causa de ações excepcionais, também podem ser levados em conta por meio de uma redução da resistência dos materiais constitutivos da estrutura.

4.2.2 Valores representativos das ações

As ações são quantificadas por seus valores representativos, que podem ser valores característicos, valores característicos nominais, valores reduzidos de combinação, valores convencionais excepcionais, valores reduzidos de utilização e valores raros de utilização.

4.2.2.1 Valores representativos para estados limites últimos

4.2.2.1.1 Valores característicos

Consideram-se valores característicos os seguintes:

- os valores característicos F_k das ações são definidos em função da variabilidade de suas intensidades;
- para as ações que apresentam variabilidade no tempo, consideram-se distribuições de extremos correspondentes a um período convencional de referência, de 50 anos, admitindo que sejam independentes entre si os valores extremos que agem em diferentes anos de vida da construção;

- para efeito de quantificação das ações variáveis, em lugar de considerar o período de vida efetivo dos diferentes tipos de construção e a probabilidade anual de ocorrência de cada uma das ações, admite-se o período convencional de referência, ajustando o valor característico da ação em função de seu período médio de retorno;
- os valores característicos das ações variáveis, estabelecidos por consenso e indicados em normas específicas, correspondem a valores que têm de 25% a 35% de probabilidade de serem ultrapassados no sentido desfavorável, durante um período de 50 anos;
- as ações variáveis que produzem efeitos favoráveis não são consideradas como atuantes na estrutura;
- os valores característicos das ações permanentes correspondem à variabilidade existente num conjunto de estruturas análogas;
- para as ações permanentes, o valor característico é o valor médio, corresponde ao quantil de 50%, seja quando os efeitos forem desfavoráveis, seja quando os efeitos forem favoráveis.

4.2.2.1.2 Valores característicos nominais

Consideram-se valores característicos nominais os seguintes:

- para as ações que não tenham a sua variabilidade adequadamente expressa por distribuições de probabilidade, os valores característicos F_k são substituídos por valores nominais convenientemente escolhidos;
- para as ações que tenham baixa variabilidade, diferindo muito pouco entre si os valores característicos superior e inferior, adotam-se como característicos os valores médios das respectivas distribuições.

4.2.2.1.3 Valores reduzidos de combinação

Consideram-se valores reduzidos de combinação os seguintes:

- os valores reduzidos de combinação são determinados a partir dos valores característicos pela expressão $\psi_0 F_k$ e são empregados nas condições de segurança relativas a estados limites últimos, quando existem ações variáveis de diferentes naturezas;
- os valores $\psi_0 F_k$ levam em conta que é muito baixa a probabilidade de ocorrência simultânea dos valores característicos de duas ou mais ações variáveis de naturezas diferentes;
- ao invés de serem adotados diferentes valores de ψ_0 em função das ações que vão atuar simultaneamente, por simplicidade, admite-se um único valor ψ_0 para cada ação a ser considerada no projeto;
- de modo geral adotam-se como valores reduzidos $\psi_0 F_k$ os valores característicos de distribuições de extremos, correspondentes a um período de tempo igual a uma fração do período de referência admitido para a determinação do valor característico F_k ;
- nos casos particulares em que sejam consideradas ações que atuem simultaneamente com ações de período de atuação extremamente curto, adotam-se para ψ_0 os mesmos valores especificados para os coeficientes ψ_2 definidos em 4.2.2.2.

4.2.2.1.4 Valores convencionais excepcionais

Consideram-se valores convencionais excepcionais os seguintes:

- valores convencionais excepcionais são valores arbitrados para as ações excepcionais;
- estes valores devem ser estabelecidos por consenso entre o proprietário da construção e as autoridades governamentais que nela tenham interesse.

4.2.2.2 Valores representativos para os estados limites de utilização

4.2.2.2.1 Valores reduzidos de utilização

Consideram-se os valores reduzidos de utilização os seguintes:

- os valores reduzidos de utilização são determinados a partir dos valores característicos pelas expressões $\psi_1 F_k$ e $\psi_2 F_k$, e são empregados na verificação da segurança em relação a estados limites de utilização, decorrentes de ações que se repetem muitas vezes e ações de longa duração, respectivamente;
- os valores reduzidos $\psi_1 F_k$ são designados por valores freqüentes e os valores reduzidos $\psi_2 F_k$ por valores quase permanentes das ações variáveis.

4.2.2.2.2 Valores raros de utilização

Os valores raros de utilização quantificam as ações que podem acarretar estados limites de serviço, mesmo que atuem com duração muito curta sobre a estrutura.

4.2.3 Valores de cálculo das ações

Os valores de cálculo F_d das ações são obtidos a partir dos valores representativos, multiplicando-os pelos respectivos coeficientes de ponderação γ_f .

4.2.3.1 Coeficientes de ponderação para os estados limites últimos

Quando se consideram estados limites últimos, os coeficientes γ_f de ponderação das ações podem ser considerados como o produto de dois outros, γ_{f1} e γ_{f3} (o coeficiente de combinação ψ_0 faz o papel do terceiro coeficiente, que seria indicado por γ_{f2}). O coeficiente parcial γ_{f1} leva em conta a variabilidade das ações e o coeficiente γ_{f3} considera os possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações, seja por problemas construtivos, seja por deficiência do método de cálculo empregado. O desdobramento do coeficiente de segurança γ_f em coeficientes parciais permite que os valores gerais especificados para γ_f possam ser discriminados em função de peculiaridades dos diferentes tipos de estruturas e de materiais de construção considerados, conforme 5.2.

Tendo em vista as diversas ações levadas em conta no projeto, o índice do coeficiente γ_f pode ser alterado para identificar a ação considerada, resultando os símbolos γ_g , γ_q , γ_p , γ_e , respectivamente para as ações permanentes, para as ações diretas variáveis, para a protensão e para os efeitos de deformações impostas (ações indiretas).

Quando se consideram estados limites últimos, os valores dos coeficientes de ponderação das ações são os indicados em 5.1.3, para cada uma das combinações últimas que podem ser consideradas no projeto.

4.2.3.2 Coeficiente de ponderação para os estados limites de serviço

Quando se consideram estados limites de utilização, os coeficientes de ponderação das ações são tomados com valor $\gamma_f = 1,0$, salvo exigência em contrário, expressa em norma específica.

4.3 Ações-tipo de carregamento e critérios de combinação

4.3.1 Generalidades

4.3.1.1 Um tipo de carregamento é especificado pelo conjunto das ações que têm probabilidade não desprezível de atuarem simultaneamente sobre uma estrutura, durante um período de tempo preestabelecido.

4.3.1.2 Em cada tipo de carregamento as ações devem ser combinadas de diferentes maneiras, a fim de que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. Devem ser estabelecidas tantas combinações de ações quantas forem necessárias para que a segurança seja verificada em relação a todos os possíveis estados limites da estrutura.

4.3.1.3 A verificação da segurança em relação aos estados limites últimos é feita em função das combinações últimas de ações. A verificação da segurança em relação aos estados limites de serviço é feita em função das combinações de serviço.

4.3.2 Tipos de carregamento

Durante o período de vida da construção, podem ocorrer os seguintes tipos de carregamento: carregamento normal, carregamento especial e carregamento excepcional.

Além destes, em casos particulares, também pode ser necessária a consideração do carregamento de construção.

Os tipos de carregamento podem ser de longa duração ou transitórios, conforme seu tempo de duração.

4.3.2.1 Carregamento normal

O carregamento normal decorre do uso previsto para construção. Admite-se que o carregamento normal possa ter duração igual ao período de referência da estrutura, e sempre deve ser considerado na verificação da segurança, tanto em relação a estados limites últimos quanto em relação a estados limites de serviço.

4.3.2.2 Carregamento especial

Um carregamento especial decorre da atuação de ações variáveis de natureza ou intensidade especiais, cujos efeitos superam em intensidade os efeitos produzidos pelas ações consideradas no carregamento normal. Os carregamentos especiais são transitórios, com duração muito pequena em relação ao período de referência da estrutura. Os carregamentos especiais são em geral considerados apenas na verificação da segurança em relação aos estados limites últimos, não se observando as exigências referentes aos estados limites de utilização. A cada carregamento especial corresponde uma única combinação última especial de ações. Em casos particulares, pode ser necessário considerar o carregamento especial na verificação da segurança em relação aos estados limites de serviço.

4.3.2.3 Carregamento excepcional

Um carregamento excepcional decorre da atuação de ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos. Os carregamentos excepcionais somente devem ser considerados no projeto de estrutura de determinados tipos de construção, para os quais a ocorrência de ações excepcionais não possa ser desprezada e que, além disso, na concepção estrutural, não possam ser tomadas medidas que anulem ou atenuem a gravidade das conseqüências dos efeitos dessas ações. O carregamento excepcional é transitório, com duração extremamente curta. Com um carregamento do tipo excepcional, considera-se apenas a verificação da segurança em relação a estados limites últimos, através de uma única combinação última excepcional de ações.

4.3.2.4 Carregamento de construção

O carregamento de construção é considerado apenas nas estruturas em que haja risco de ocorrência de estados limites, já durante a fase de construção. O carregamento de construção é transitório e sua duração deve ser definida em cada caso particular. Devem ser consideradas tantas combinações de ações quantas sejam necessárias para verificação das condições de segurança em relação a todos os estados limites que são de se temer durante a fase de construção.

4.3.3 Critérios de combinação das ações

4.3.3.1 Critérios gerais

Para a verificação da segurança em relação aos possíveis estados limites, para cada tipo de carregamento devem ser consideradas todas as combinações de ações que possam acarretar os efeitos mais desfavoráveis nas seções críticas da estrutura.

As ações permanentes são consideradas em sua totalidade. Das ações variáveis, são consideradas apenas as parcelas que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança.

As ações variáveis móveis devem ser consideradas em suas posições mais desfavoráveis para a segurança.

A aplicação de ações variáveis ao longo da estrutura pode ser feita de acordo com regras simplificadas, estabelecidas em Normas que considerem determinados tipos particulares de construção.

As ações incluídas em cada uma destas combinações devem ser consideradas com seus valores representativos, multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação das ações.

4.3.3.2 Critérios para combinações últimas

Devem ser considerados os seguintes critérios:

- a) ações permanentes devem figurar em todas as combinações de ações;
- b) ações variáveis nas combinações últimas normais: em cada combinação última, uma das ações variáveis é considerada como a principal, admitindo-se que ela atue com seu valor característico F_k ; as demais ações variáveis são consideradas como secundárias, admitindo-se que elas atuem com seus valores reduzidos de combinação $\psi_0 F_k$;
- c) ações variáveis nas combinações últimas especiais: nas combinações últimas especiais, quando existirem, a ação variável especial deve ser considerada com seu valor representativo e as demais ações variáveis devem ser consideradas com valores correspondentes a uma probabilidade não desprezível de atuação simultânea com a ação variável especial;
- d) ações variáveis nas combinações últimas excepcionais: nas combinações últimas excepcionais, quando existirem, a ação excepcional deve ser considerada com seu valor representativo e as demais ações variáveis devem ser consideradas com valores correspondentes a uma grande probabilidade de atuação simultânea com a ação variável excepcional.

5 Requisitos específicos

5.1 Requisitos de segurança

5.1.1 Requisitos construtivos

Os requisitos construtivos de segurança são constituídos por exigências construtivas referentes ao tipo de construção e de materiais empregados.

5.1.2 Requisitos analíticos

Os requisitos analíticos de segurança decorrem da análise estrutural.

Os requisitos de segurança relativos a cada um dos possíveis estados limites de uma estrutura podem ser expressos por desigualdade do tipo:

$$\theta (F_d, f_d, a_d, \mu_d, C) \geq 0$$

onde:

F_d representa os valores de cálculo das ações;

f_d representa os valores de cálculo das propriedades dos materiais, inclusive das resistências;

a_d representa os valores de cálculo dos parâmetros que descrevem a geometria da estrutura;

μ_d representa os valores de cálculo dos coeficientes que cobrem as incertezas do método de cálculo adotado;

C representa as constantes empregadas, inclusive como restrições preestabelecidas no projeto.

A ocorrência dos estados limites é expressa pela igualdade:

$$\theta (F_d, f_d, a_d, \mu_d, C) = 0$$

As condições de segurança devem ser verificadas em relação a todos os tipos de carregamento especificados para o tipo de construção considerada.

5.1.2.1 Condições usuais relativas aos estados limites últimos

As condições usuais de segurança referentes aos estados limites são expressas por desigualdades do tipo:

$$\theta (S_d, R_d) \geq 0$$

onde:

S_d representa os valores de cálculo dos esforços atuantes;

R_d representa os valores de cálculo dos correspondentes esforços resistentes, dados por:

$$S_d = S (F_d, a_{Sd}, \mu_{Sd}, C_S)$$

e

$$R_d = R (f_d, a_{Rd}, \mu_{Rd}, C_R)$$

Quando a segurança é verificada isoladamente em relação a cada um dos esforços atuantes, as condições de segurança tomam a forma simplificada.

$$R_d \geq S_d$$

Para a determinação de S , em geral é considerado apenas o carregamento normal, salvo a indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material empregados, ou por exigência do proprietário da obra ou das autoridades governamentais nela interessadas.

Se o cálculo do esforço atuante for feito em regime elástico linear (elástico ou pseudoelástico), o coeficiente γ_f pode ser aplicado tanto à ação característica quanto diretamente ao esforço característico:

$$S_d = S (\gamma_f F_k)$$

ou

$$S_d = \gamma_f S_k = \gamma_f S (F_k)$$

Se o cálculo do esforço atuante for feito por processo não linear, o coeficiente γ_f será aplicado à ação característica:

$$S_d = S (\gamma_f F_k)$$

Diz-se que não há linearidade geométrica quando o comportamento estrutural deixa de ser linear em virtude da alteração da geometria do sistema.

Quando for considerada a não linearidade geométrica, o coeficiente γ_f pode ser desdobrado em seus coeficientes parciais, aplicando-se o coeficiente γ_{f3} à solicitação calculada com a ação característica multiplicada por $\gamma_{f1} \psi_0$:

$$S_d = \gamma_{f3} S (\gamma_{f1} \psi_0 F_k)$$

5.1.2.2 Condições usuais relativas aos estados limites de utilização

As condições usuais de verificação da segurança relativas aos estados limites de utilização são expressas por desigualdade do tipo:

$$S_d \leq S_{lim}$$

onde:

S_d representa os valores de cálculo dos efeitos estruturais de interesse, calculados com $\gamma_f = 1,0$;

S_{lim} representa os valores limites adotados para esses efeitos.

5.1.3 Combinações últimas das ações

5.1.3.1 Combinações últimas normais

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right]$$

onde:

$F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação;

$\psi_{0j} F_{Qj,k}$ é o valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis.

Em casos especiais devem ser consideradas duas combinações: numa delas, admite-se que as ações permanentes sejam desfavoráveis e na outra que sejam favoráveis para a segurança.

5.1.3.2 Combinações últimas especiais ou de construção

As combinações últimas especiais ou de construção são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j,ef} F_{Qj,k} \right]$$

onde:

$F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável admitida como principal para a situação transitória considerada;

$\psi_{0j,ef}$ é o fator de combinação efetivo de cada uma das demais variáveis que podem agir concomitantemente com a ação principal F_{Q1} , durante a situação transitória.

O fator $\psi_{0j,ef}$ é igual ao fator ψ_{0j} adotado nas combinações normais, salvo quando a ação principal F_{Q1} tiver um tempo de atuação muito pequeno, caso em que $\psi_{0j,ef}$ pode ser tomado com o correspondente ψ_{2j} .

5.1.3.3 Combinações últimas excepcionais

As combinações últimas excepcionais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + \gamma_q \sum_{j=1}^n \psi_{0j,ef} F_{Qj,k}$$

onde:

$F_{Q,exc}$ é o valor da ação transitória excepcional e os demais termos são os que já foram definidos em 5.1.3.1 e 5.1.3.2.

5.1.4 Coeficientes de ponderação para combinações últimas

5.1.4.1 Coeficientes de ponderação para as ações permanentes

Os coeficientes de ponderação γ_g das ações permanentes majoram os valores representativos das ações permanentes que provocam efeitos desfavoráveis e minoram os valores representativos daquelas que provocam efeitos favoráveis para a segurança da estrutura. Para uma dada ação permanente, todas as suas parcelas são ponderadas pelo mesmo coeficiente γ_g , não se admitindo que algumas de suas partes possam ser majoradas e outras minoradas. Para os materiais sólidos que possam provocar empuxos, a componente vertical é considerada como uma ação e a horizontal como outra ação, independentemente da primeira. Os coeficientes de ponderação γ_g relativos às ações permanentes que figuram nas combinações últimas, salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, devem ser tomados com os valores básicos a seguir indicados:

a) variabilidade das ações permanentes diretas: os processos de construção das estruturas, dos elementos construtivos permanentes não estruturais e dos equipamentos fixos determinam a variabilidade da ação correspondente. Processos mais controlados admitem coeficientes de ponderação menores e processos menos controlados exigem coeficientes maiores. A tabela 1 fornece os valores do coeficiente de ponderação a considerar para cada uma dessas ações permanentes, consideradas separadamente. Na tabela 2 é fornecido o valor do coeficiente de ponderação a considerar se, numa combinação, todas essas ações forem agrupadas. O projetista deve escolher uma dessas duas tabelas;

b) efeitos de recalques de apoio e de retração dos materiais: neste caso adotam-se os valores indicados na tabela 3.

Tabela 1 - Ações permanentes diretas consideradas separadamente

Combinação	Tipo de ação	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Normal	Peso próprio de estruturas metálicas	1,25	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,30	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,35	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,35	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,40	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,50	1,0
Especial ou de construção	Peso próprio de estruturas metálicas	1,15	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,20	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,25	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,25	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,30	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,40	1,0
Excepcional	Peso próprio de estruturas metálicas	1,10	1,0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,15	1,0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,15	1,0
	Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,15	1,0
	Elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,20	1,0
	Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,30	1,0

¹⁾ Por exemplo: paredes e fachadas pré-moldadas, gesso acartonado.
²⁾ Por exemplo: paredes de alvenaria e seus revestimentos, contrapisos.

Tabela 2 - Ações permanentes diretas agrupadas

Combinação	Tipo de estrutura	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Normal	Grandes pontes ¹⁾	1,30	1,0
	Edificações tipo 1 e pontes em geral ²⁾	1,35	1,0
	Edificação tipo 2 ³⁾	1,40	1,0
Especial ou de construção	Grandes pontes ¹⁾	1,20	1,0
	Edificações tipo 1 e pontes em geral ²⁾	1,25	1,0
	Edificação tipo 2 ³⁾	1,30	1,0
Excepcional	Grandes pontes ¹⁾	1,10	1,0
	Edificações tipo 1 e pontes em geral ²⁾	1,15	1,0
	Edificação tipo 2 ³⁾	1,20	1,0

¹⁾ Grandes pontes são aquelas em que o peso próprio da estrutura supera 75% da totalidade das ações permanentes.
²⁾ Edificações tipo 1 são aquelas onde as cargas acidentais superam 5 kN/m².
³⁾ Edificações tipo 2 são aquelas onde as cargas acidentais não superam 5 kN/m².

Tabela 3 - Efeitos de recalques de apoio e de retração dos materiais

Combinação	Efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normal	$\gamma_{\epsilon} = 1,2$	$\gamma_{\epsilon} = 0$
Especial ou de construção	$\gamma_{\epsilon} = 1,2$	$\gamma_{\epsilon} = 0$
Excepcional	$\gamma_{\epsilon} = 0$	$\gamma_{\epsilon} = 0$

5.1.4.2 Coeficiente de ponderação para as ações variáveis

Os coeficientes de ponderação γ_q das ações variáveis majoram os valores representativos das ações variáveis que provocam efeitos desfavoráveis para a segurança da estrutura. As ações favoráveis que provocam efeitos favoráveis não são consideradas nas combinações de ações, admitindo-se que sobre a estrutura atuem apenas as parcelas de ações variáveis que produzam efeitos desfavoráveis. As ações variáveis que tenham parcelas favoráveis e desfavoráveis, que fisicamente não possam atuar separadamente, devem ser consideradas conjuntamente como uma ação única. Os coeficientes de ponderação γ_q relativos às ações variáveis que figuram nas combinações últimas, salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, devem ser tomados com os valores básicos indicados na tabela 4 para cada uma das ações consideradas separadamente ou na tabela 5 se essas ações forem consideradas conjuntamente. O projetista deve escolher uma dessas duas tabelas.

Tabela 4 - Ações variáveis consideradas separadamente

Combinação	Tipo de ação	Coeficiente de ponderação
Normal	Ações truncadas ¹⁾	1,2
	Efeito de temperatura	1,2
	Ação do vento	1,4
	Ações variáveis em geral	1,5
Especial ou de construção	Ações truncadas ¹⁾	1,1
	Efeito de temperatura	1,0
	Ação do vento	1,2
	Ações variáveis em geral	1,3
Excepcional	Ações variáveis em geral	1,0

¹⁾ Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico de modo que o valor dessa ação não pode superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado na tabela 4 se aplica a esse valor limite.

Tabela 5 - Ações variáveis consideradas conjuntamente¹⁾

Combinação	Tipo de estrutura	Coeficiente de ponderação
Normal	Pontes e edificações tipo 1	1,5
	Edificações tipo 2	1,4
Especial ou de construção	Pontes e edificações tipo 1	1,3
	Edificações tipo 2	1,2
Excepcional	Estruturas em geral	1,0

¹⁾ Quando as ações variáveis forem consideradas conjuntamente, o coeficiente de ponderação mostrado na tabela 5 se aplica a todas as ações, devendo-se considerar também conjuntamente as ações permanentes diretas. Nesse caso permite-se considerar separadamente as ações indiretas como recalque de apoio e retração dos materiais conforme tabela 3 e o efeito de temperatura conforme tabela 4.

5.1.4.3 Coeficiente de ponderação para as ações excepcionais

O coeficiente de ponderação γ_f relativo à ação excepcional que figura nas combinações últimas excepcionais, salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, deve ser tomado com o valor básico.

$$\gamma_f = 1,0$$

5.1.4.4 Valores dos fatores de combinação e de redução

Os fatores de combinação ψ_0 , salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, estão indicados na tabela 6, juntamente com os fatores de redução ψ_1 e ψ_2 referentes às combinações de serviço.

Tabela 6 - Valores dos fatores de combinação (ψ_0) e de redução (ψ_1 e ψ_2) para as ações variáveis

Ações	ψ_0	ψ_1	ψ_2 ^{3), 4)}
Cargas acidentais de edifícios			
Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ¹⁾	0,5	0,4	0,3
Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ²⁾	0,7	0,6	0,4
Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento			
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura			
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos			
Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
Pontes rodoviárias	0,7	0,5	0,3
Pontes ferroviárias não especializadas	0,8	0,7	0,5
Pontes ferroviárias especializadas	1,0	1,0	0,6
Vigas de rolamentos de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
¹⁾ Edificações residenciais, de acesso restrito. ²⁾ Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. ³⁾ Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero. ⁴⁾ Para combinações excepcionais onde a ação principal for o fogo, o fator de redução ψ_2 pode ser reduzido, multiplicando-o por 0,7.			

5.1.4.5 Valores dos fatores de redução para combinação freqüente aplicável à verificação da fadiga

Na falta de um espectro de carga que defina a freqüência de repetição de cada nível de carga, permitindo a aplicação da regra de Palmgren-Miner, a verificação da fadiga pode ser feita para um único nível de carga. Esse nível de carga é definido pela carga freqüente de fadiga $\psi_{1,fad} F_{qk}$ à qual corresponde um certo número de ciclos de carga. Os fatores de redução para combinação freqüente de fadiga $\psi_{1,fad}$ e o número de repetições dessa condição de carregamento, N , que, ao longo da vida útil, pode causar a ruptura por fadiga, são estabelecidos na tabela 7.

Tabela 7 - Valores dos fatores de redução para combinação freqüente de fadiga

Carga móvel e seus efeitos dinâmicos	$\psi_{1,fad}$	N
Passarelas de pedestres	0	-
Pontes rodoviárias		
Laje do tabuleiro	0,8	2×10^6
Vigas transversais	0,7	2×10^6
Vigas longitudinais ¹⁾		2×10^6
– vão até 100 m	0,5	2×10^6
– vão de 200 m	0,4	2×10^6
– vão ≥ 300 m	0,3	2×10^6
– meso e infraestrutura ⁶⁾	0	2×10^6
Pontes em ferrovias especializadas	1,0	2×10^6
Pontes em ferrovias não especializadas	0,8	2×10^6
Pontes rolantes⁵⁾		
Leves ou de uso eventual	0	20 000
Moderadas ²⁾	1,0	100 000
Pesadas ³⁾	1,0	500 000
Severas ⁴⁾	1,0	2×10^6

¹⁾ O valor de $\psi_{1,fad}$ pode ser interpolado linearmente entre 100 m e 300 m.

²⁾ Caso em que 50% dos ciclos ocorrem sob carga nominal.

³⁾ Caso em que 65% dos ciclos ocorrem sob carga nominal.

⁴⁾ Caso em que 80% dos ciclos ocorrem sob carga nominal.

⁵⁾ Na falta de indicação precisa do ciclo operacional da ponte rolante, permite-se o uso dos valores fornecidos nesta tabela.

⁶⁾ Desde que ligadas à super apenas por aparelhos de apoio. Não é o caso, por exemplo, de pontes em pórtico ou estaiadas.

5.1.5 Combinações de utilização das ações

Nas combinações de utilização são consideradas todas as ações permanentes, inclusive as deformações impostas permanentes, e as ações variáveis correspondentes a cada um dos tipos de combinações, de acordo com o que é indicado em 5.1.5.1 a 5.1.5.3.

5.1.5.1 Combinações quase permanentes de serviço

Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{Qk}$:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$

5.1.5.2 Combinações freqüentes de serviço

Nas combinações freqüentes de serviço, a ação variável principal F_{Q1} é tomada com seu valor freqüente $\psi_1 F_{Q1,k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase-permanentes $\psi_2 F_{Qk}$:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$

5.1.5.3 Combinações raras de serviço

Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{Q1} é tomada com seu valor característico $F_{Q1,k}$ e todas as demais ações são tomadas com seus valores freqüentes $\psi_1 F_{Qk}$:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$$

5.1.6 Valores dos fatores de combinação e dos fatores de serviço

Os valores do fator de combinação ψ_0 para as combinações últimas e dos fatores para as combinações de serviço, ψ_1 para as combinações de grande frequência e ψ_2 para as combinações quase permanentes, são os indicados a seguir. Estes valores são aplicáveis para as ações usualmente consideradas nas estruturas da engenharia civil, salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de materiais considerados.

5.1.7 Condições de segurança relativas à perda de equilíbrio como corpo rígido

5.1.7.1 Condições gerais

Os estados limites últimos de perda de equilíbrio, considerada a estrutura como um corpo rígido, não dependem da resistência dos materiais empregados e correspondem ao início da movimentação de estrutura como um corpo rígido.

As condições de segurança relativas aos estados limites últimos de perda de equilíbrio são expressas por desigualdades do tipo:

$$S_{sd} \geq S_{nd}$$

ou

$$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$$

onde:

S_{nd} e S_{sd} representam os valores de cálculo dos esforços com que é expresso o equilíbrio, sendo S_{nd} referente às ações não estabilizantes F_{nd} e S_{sd} às ações estabilizantes F_s .

Os valores de F_{nd} e F_{sd} são determinados pelas mesmas regras de combinações de ações indicadas em 5.1.3. Os coeficientes de ponderação γ a empregar devem ser convenientemente justificados, tendo em vista os valores especificados em 5.1.4 e as suas possíveis alterações indicadas em 5.3. As condições de segurança podem ser expressas simbolicamente por

$$S(\gamma_{gs} G_{sk}) \geq S(\gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_k)$$

Onde γ_{gs} e γ_{gn} são os coeficientes de ponderação correspondentes respectivamente às ações correspondentes estabilizantes G_s e não estabilizantes G_n . As ações permanentes estabilizantes, as não estabilizantes e as ações variáveis não estabilizantes, representadas simbolicamente por G_s , G_n e Q , devem ser determinadas, para cada tipo de carregamento, de acordo com as regras definidas em 5.1.3.

5.1.7.2 Ações variáveis estabilizantes

Em princípio, as ações variáveis consideradas nas condições de segurança devem ser apenas as não estabilizantes. Quando a atuação de uma ação variável não estabilizante for obrigatoriamente acompanhada pela atuação de uma parcela estabilizante de uma outra ação, esta deve ser incluída no cálculo de S_{nd} , como uma ação de sentido contrário ao das demais. Não se permite que o efeito desta ação seja considerado como uma parcela do esforço estabilizante S_{sd} . As condições de segurança têm, neste caso, a forma simbólica seguinte:

$$S(\gamma_{gs} G_{sk}) \geq S(\gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,min})$$

na qual se adota, para as ações variáveis estabilizantes $Q_{s,min}$, o coeficiente de ponderação $\gamma_{qs} = 1,0$.

5.1.7.3 Estados limites de perda de equilíbrio das fundações

Os estados limites últimos de perda de equilíbrio das fundações são em geral idealizações simplificadas de estados limites últimos de natureza mais complexa. Estes estados limites são decorrentes de modos de ruptura com superfícies de fratura predeterminadas e podem ser assimilados a estados limites de perda de equilíbrio, pela consideração do esforço resistente R_d como um esforço estabilizante. As condições de segurança têm, nestes casos, a forma simbólica seguinte:

$$S(F_{sd}) + S(R_d) \geq S(F_{nd})$$

Para estes estados limites cabem as mesmas considerações feitas em 5.1.7.2, quando houver ações variáveis estabilizantes que não possam ser eliminadas.

5.1.8 Verificação da segurança em relação aos estados limites últimos de fadiga

A verificação da segurança em relação aos estados limites últimos de fadiga deve ser feita de acordo com os critérios definidos em Normas referentes ao tipo de construção e de material considerados.

5.2 Resistências

5.2.1 Resistência dos materiais

A resistência é a aptidão da matéria de suportar tensões. Do ponto de vista prático, a medida dessa aptidão é considerada com a própria resistência. A resistência é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpo-de-prova do material considerado, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento além dos quais há restrições de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva. Para cada material particular, as Normas correspondentes devem especificar quais os fenômenos que permitem determinar as resistências.

5.2.2 Valores representativos

5.2.2.1 Resistência média

A resistência média f_m é dada pela média aritmética das resistências dos elementos que compõe o lote considerado de material.

5.2.2.2 Resistências características

Os valores característicos f_k das resistências são os que, num lote de material, têm uma determinada probabilidade de serem ultrapassados, no sentido desfavorável para a segurança. Usualmente é de interesse a resistência característica inferior $f_{k,inf}$, cujo valor é menor que a resistência média f_m , embora por vezes haja interesse na resistência característica superior $f_{k,sup}$, cujo valor é maior que f_m .

5.2.2.3 Resistência característica inferior

A resistência característica inferior é admitida como sendo o valor que tem apenas 5% de probabilidade de não ser atingido pelos elementos de um dado lote de material.

5.2.2.4 Escolha do valor representativo

Salvo exigência expressa em norma referente a determinado material ou tipo de construção, o valor representativo deve ser tomado como o da resistência característica inferior, sempre que a segurança dependa das porções menos resistentes do material da estrutura. O valor representativo pode ser tomado como o da resistência média, quando a segurança é condicionada pela soma das resistências de muitas porções do material da estrutura, sem que cada uma delas individualmente tenha influência determinante.

5.2.3 Valores de cálculo

5.2.3.1 Resistência de cálculo

A resistência de cálculo f_d é dada pela seguinte expressão:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

onde:

f_k é resistência característica inferior;

γ_m é o coeficiente de ponderação das resistências, sendo:

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \gamma_{m2} \gamma_{m3}$$

onde:

γ_{m1} leva em conta a variabilidade da resistência efetiva, transformando a resistência característica num valor extremo de menor probabilidade de ocorrência;

γ_{m2} considera as diferenças entre a resistência efetiva do material da estrutura e a resistência medida convencionalmente em corpos-de-prova padronizados;

γ_{m3} considera as incertezas existentes na determinação das solicitações resistentes, seja em decorrência dos métodos construtivos seja em virtude do método do cálculo empregado.

5.2.3.2 Tensões últimas resistentes

As tensões últimas resistentes σ_u ou τ_u são estabelecidas para a determinação das solicitações resistentes que não dependam diretamente das resistências medidas convencionalmente em ensaios de corpos-de-prova padronizados dos materiais empregados. Os valores de σ_u e τ_u são estabelecidos, em cada caso particular, a partir das teorias de resistência dos elementos estruturais considerados.

5.3 Alteração dos coeficientes de ponderação

5.3.1 Alteração dos coeficientes de ponderação das ações

Os coeficientes de ponderação das ações estipulados em 5.1.4.1 e 5.1.4.2 podem ser alterados de acordo com o que se considera adiante.

5.3.2 Quantificação individual dos coeficientes parciais de ponderação das ações

Os coeficientes parciais de ponderação γ_{f1} e γ_{f3} , definidos em 4.2.3.1, podem ser quantificados individualmente nos casos seguintes.

5.3.2.1 Comportamento com não linearidade geométrica

De acordo com o que é previsto no final de 5.1.2.1, para efeitos desfavoráveis, os valores do coeficiente de ponderação γ_f para as combinações normais e para as combinações especiais ou de construção podem ser desdobrados no produto dos coeficientes parciais γ_{f1} e γ_{f3} . Neste caso, deve ser mantida a condição: $\gamma_{f3} \geq 1,1$.

5.3.2.2 Ações com distribuições truncadas

Nos casos em que a ação atuante tenha distribuição de probabilidades truncada, em virtude de arranjos físicos que efetivamente impeçam o aumento significativo da intensidade da ação atuante acima do valor representativo adotado, permite-se tomar o valor:

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$$

com $\gamma_{f3} \geq 1,1$ e γ_{f1} coerente com a variabilidade efetiva da ação considerada.

5.3.3 Emprego de coeficientes de ajustamento

Em casos especiais, considerados em Normas correspondentes a determinados tipos de construção, podem ser alterados os coeficientes de ponderação das resistências ou os coeficientes de ponderação das ações de valor $\gamma_f > 1,0$, multiplicando os valores usuais por coeficientes de ajustamento γ_n dados pela seguinte expressão:

$$\gamma_n = \gamma_{n1} \times \gamma_{n2}$$

onde:

$$\gamma_{n1} \leq 1,2 \text{ em função da ductilidade de uma eventual ruína;}$$

$$\gamma_{n2} \leq 1,2 \text{ em função da gravidade das conseqüências de uma eventual ruína.}$$

6 Verificação da segurança

6.1 Critério geral

A segurança das estruturas deve ser verificada em relação a todos os possíveis estados que são admitidos como limites para a estrutura considerada.

6.2 Verificação das condições de segurança

A segurança em relação aos estados limites é verificada tanto pelo respeito às condições analíticas quanto pela obediência às condições construtivas.

6.2.1 Verificação das condições analíticas

Verifica-se a segurança por meio da comparação dos valores que certos parâmetros tomam na análise estrutural, quando na estrutura atuam as ações a que ela está sujeita, quantificadas e combinadas de acordo com as regras estabelecidas por esta Norma, com os valores que estes mesmos parâmetros tomam quando se manifestam os estados limites considerados. As variáveis empregadas como parâmetros para estabelecimento das condições de segurança são de três naturezas:

- a) ações;
- b) esforços internos (solicitações, esforços solicitantes, tensões);
- c) efeitos estruturais (deformações, deslocamentos, aberturas de fissuras).

6.2.2 Verificação das condições construtivas

Verificam-se as condições de segurança em relação aos possíveis estados limites pelo atendimento das exigências construtivas incluídas nas diversas normas referentes às estruturas feitas com os materiais de construção considerados.