

# Norma Portuguesa

---

**NP**  
**EN 1990**  
**2009**

## **Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas**

Eurocodes structuraux – Eurocodes – Bases de calcul des structures

Eurocode – Basis of structural design

### **ICS**

91.010.30; 93.010

### **DESCRIPTORES**

Estruturas; materiais de construção; cálculos matemáticos; eurocódigo; segurança; controlo da vibração; estabilidade; capacidade de carga; resistência dos materiais; fiabilidade; ensaios de resistência ao fogo; estruturas resistentes aos sismos; trabalhos de engenharia civil

### **CORRESPONDÊNCIA**

Versão portuguesa da EN 1990:2002 + AC:2008

### **HOMOLOGAÇÃO**

Termo de Homologação n.º 516/2009, 2009-12-29

A presente Norma resultou da revisão da NP ENV 1991-1:1999 (Ed. 1)

### **ELABORAÇÃO**

CT 115 (LNEC)

### **EDIÇÃO**

Dezembro de 2009

### **CÓDIGO DE PREÇO**

XEC022

© IPQ reprodução proibida

---

Instituto Português da  Qualidade

Rua António Gião, 2  
2829-513 CAPARICA PORTUGAL

Tel. + 351-212 948 100 Fax + 351-212 948 101  
E-mail: [ipq@mail.ipq.pt](mailto:ipq@mail.ipq.pt) Internet: [www.ipq.pt](http://www.ipq.pt)

## **Preâmbulo nacional**

À Norma Europeia EN 1990:2002 foi dado estatuto de Norma Portuguesa em 2002-08-13 (Termo de Adopção nº 1484/2002, de 2002-08-13).

A presente Norma substitui a NP ENV 1991-1:1999 e constitui a versão portuguesa da EN 1990:2002 + AC:2008.

Esta Norma é um documento de âmbito geral e estabelece os princípios e os requisitos de segurança, de utilização e de durabilidade a aplicar no projecto de estruturas de edifícios e de outras obras de engenharia civil, independentemente do seu tipo e dos materiais que as constituem.

A aplicação desta Norma em Portugal deve obedecer às disposições constantes do respectivo Anexo Nacional NA, que dela faz parte integrante. Neste Anexo são nomeadamente concretizadas as prescrições explicitamente deixadas em aberto no corpo do Eurocódigo para escolha nacional, denominadas Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP).

A presente Norma não inclui a Emenda A1:2006 publicada pelo CEN, que deve ser adoptada no projecto de pontes, independentemente do tipo e dos materiais que as constituem. A versão portuguesa correspondente a esta Emenda será disponibilizada aquando da publicação do conjunto das NP EN relativas a pontes.

**Versão portuguesa**

Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas

Eurocode – Grundlagen der  
Tragwerksplanung

Eurocodes structuraux  
Eurocodes – Bases de calcul  
des structures

Eurocode – Basis of structural  
design

A presente Norma é a versão portuguesa da Norma Europeia EN 1990:2002 + AC:2008 e tem o mesmo estatuto que as versões oficiais. A tradução é da responsabilidade do Instituto Português da Qualidade. Esta Norma Europeia e a sua Errata foram ratificadas pelo CEN em 2001-11-29 e 2008-12-03, respectivamente.

Os membros do CEN são obrigados a submeter-se ao Regulamento Interno do CEN/CENELEC que define as condições de adopção desta Norma Europeia, como norma nacional, sem qualquer modificação.

Podem ser obtidas listas actualizadas e referências bibliográficas relativas às normas nacionais correspondentes junto do Secretariado Central ou de qualquer dos membros do CEN.

A presente Norma Europeia existe nas três versões oficiais (alemão, francês e inglês). Uma versão noutra língua, obtida pela tradução, sob responsabilidade de um membro do CEN, para a sua língua nacional, e notificada ao Secretariado Central, tem o mesmo estatuto que as versões oficiais.

Os membros do CEN são os organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

**CEN**

Comité Européen de Normalização  
Europäisches Komitee für Normung  
Comité Européen de Normalisation  
European Committee for Standardization

**Secretariado Central: Avenue Marnix 17, B-1000 Bruxelas**

---

<b>Sumário</b>	<b>Página</b>
<b>Preâmbulo nacional.....</b>	<b>2</b>
<b>Preâmbulo .....</b>	<b>9</b>
Antecedentes do programa dos Eurocódigos.....	9
Estatuto e campo de aplicação dos Eurocódigos .....	10
Normas nacionais de implementação dos Eurocódigos.....	11
Ligações entre os Eurocódigos e as especificações técnicas harmonizadas (EN e ETA) relativas aos produtos.....	11
Informações adicionais específicas da EN 1990 .....	11
Anexo Nacional da EN 1990 .....	12
<b>1 Generalidades.....</b>	<b>13</b>
1.1 Objectivo e campo de aplicação .....	13
1.2 Referências normativas.....	13
1.3 Pressupostos.....	13
1.4 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação .....	14
1.5 Termos e definições.....	14
1.5.1 Termos comuns usados nas EN 1990 a EN 1999 .....	14
1.5.2 Termos específicos relativos ao projecto em geral.....	15
1.5.3 Termos relativos às acções .....	17
1.5.4 Termos relativos às propriedades dos materiais e dos produtos .....	19
1.5.5 Termos relativos a grandezas geométricas .....	20
1.5.6 Termos relativos à análise estrutural .....	20
1.6 Símbolos .....	21
<b>2 Requisitos .....</b>	<b>24</b>
2.1 Requisitos gerais.....	24
2.2 Gestão da fiabilidade .....	25
2.3 Tempo de vida útil de projecto .....	26
2.4 Durabilidade .....	27
2.5 Gestão da qualidade.....	27
<b>3 Princípios para o dimensionamento em relação aos estados limites .....</b>	<b>28</b>
3.1 Generalidades .....	28
3.2 Situações de projecto .....	28
3.3 Estados limites últimos .....	28

---

3.4 Estados limites de utilização .....	29
3.5 Dimensionamento em relação aos estados limites .....	30
<b>4 Variáveis básicas .....</b>	<b>30</b>
4.1 Acções e influências ambientais.....	30
4.1.1 Classificação das acções.....	30
4.1.2 Valores característicos das acções.....	31
4.1.3 Outros valores representativos das acções variáveis .....	32
4.1.4 Representação das acções de fadiga.....	32
4.1.5 Representação das acções dinâmicas.....	33
4.1.6 Acções geotécnicas.....	33
4.1.7 Influências ambientais .....	33
4.2 Propriedades dos materiais e dos produtos.....	33
4.3 Grandezas geométricas .....	34
<b>5 Análise estrutural e projecto com apoio experimental.....</b>	<b>35</b>
5.1 Análise estrutural.....	35
5.1.1 Modelação estrutural .....	35
5.1.2 Acções estáticas.....	35
5.1.3 Acções dinâmicas .....	35
5.1.4 Projecto de resistência ao fogo .....	36
5.2 Projecto com apoio experimental .....	36
<b>6 Verificação dos estados limites pelo método dos coeficientes parciais .....</b>	<b>37</b>
6.1 Generalidades .....	37
6.2 Limitações .....	37
6.3 Valores de cálculo .....	37
6.3.1 Valores de cálculo das acções .....	37
6.3.2 Valores de cálculo dos efeitos das acções .....	38
6.3.3 Valores de cálculo das propriedades dos materiais ou dos produtos.....	39
6.3.4 Valores de cálculo das grandezas geométricas.....	39
6.3.5 Valor de cálculo da resistência.....	40
6.4 Estados limites últimos.....	41
6.4.1 Generalidades .....	41
6.4.2 Verificações do equilíbrio estático e da resistência.....	41
6.4.3 Combinação de acções (excluindo as relativas a fadiga) .....	42

---

6.4.4 Coeficientes parciais relativos às acções e às combinações de acções .....	43
6.4.5 Coeficientes parciais relativos aos materiais e aos produtos .....	44
6.5 Estados limites de utilização.....	44
6.5.1 Verificações .....	44
6.5.2 Critérios de utilização.....	44
6.5.3 Combinação de acções.....	44
6.5.4 Coeficientes parciais relativos aos materiais .....	45
<b>Anexo A1 (normativo) Aplicação a edifícios.....</b>	<b>46</b>
<b>A1.1 Campo de aplicação.....</b>	<b>46</b>
<b>A1.2 Combinações de acções.....</b>	<b>46</b>
A1.2.1 Generalidades .....	46
A1.2.2 Valores dos coeficientes $\psi$ .....	46
<b>A1.3 Estados limites últimos.....</b>	<b>47</b>
A1.3.1 Valores de cálculo das acções em situações de projecto persistentes e transitórias .....	47
A1.3.2 Valores de cálculo das acções em situações de projecto acidentais e sísmicas .....	51
<b>A1.4 Estados limites de utilização .....</b>	<b>51</b>
A1.4.1 Coeficientes parciais relativos às acções .....	51
A1.4.2 Critérios de utilização .....	51
A1.4.3 Deformações e deslocamentos horizontais .....	52
A1.4.4 Vibrações .....	53
<b>Anexo B (informativo) Gestão da fiabilidade estrutural das construções .....</b>	<b>54</b>
<b>B.1 Objectivo e campo de aplicação.....</b>	<b>54</b>
<b>B.2 Símbolos.....</b>	<b>54</b>
<b>B.3 Diferenciação da fiabilidade.....</b>	<b>54</b>
B.3.1 Classes de consequências.....	54
B.3.2 Diferenciação por valores $\beta$ .....	55
B.3.3 Diferenciação por medidas relacionadas com os coeficientes parciais.....	56
<b>B.4 Níveis de supervisão do projecto.....</b>	<b>57</b>
<b>B.5 Níveis de inspecção durante a execução .....</b>	<b>57</b>
<b>B.6 Coeficientes parciais relativos às propriedades de resistência.....</b>	<b>58</b>

---

<b>Anexo C (informativo) Bases para o método dos coeficientes parciais e para a análise da fiabilidade.....</b>	<b>59</b>
<b>C.1 Objectivo e campo de aplicação .....</b>	<b>59</b>
<b>C.2 Símbolos .....</b>	<b>59</b>
<b>C.3 Introdução.....</b>	<b>60</b>
<b>C.4 Enquadramento geral dos métodos de fiabilidade .....</b>	<b>60</b>
<b>C.5 Índice de fiabilidade <math>\beta</math>.....</b>	<b>61</b>
<b>C.6 Valores alvo do índice de fiabilidade <math>\beta</math>.....</b>	<b>62</b>
<b>C.7 Abordagem para calibração dos valores de cálculo .....</b>	<b>63</b>
<b>C.8 Procedimentos para a verificação da fiabilidade nos Eurocódigos.....</b>	<b>65</b>
<b>C.9 Coeficientes parciais na EN 1990 .....</b>	<b>66</b>
<b>C.10 Coeficientes <math>\psi_0</math> .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo D (informativo) Projecto com apoio experimental.....</b>	<b>68</b>
<b>D.1 Objectivo e campo de aplicação .....</b>	<b>68</b>
<b>D.2 Símbolos .....</b>	<b>68</b>
<b>D.3 Tipos de ensaios .....</b>	<b>70</b>
<b>D.4 Programação dos ensaios .....</b>	<b>70</b>
<b>D.5 Determinação dos valores de cálculo .....</b>	<b>72</b>
<b>D.6 Princípios gerais para as análises estatísticas .....</b>	<b>73</b>
<b>D.7 Determinação estatística de uma propriedade individual .....</b>	<b>74</b>
D.7.1 Generalidades .....	74
D.7.2 Avaliação pelo valor característico.....	75
D.7.3 Avaliação directa do valor de cálculo para verificações do estado limite último.....	76
<b>D.8 Determinação estatística de modelos de resistência .....</b>	<b>76</b>
D.8.1 Generalidades .....	76
D.8.2 Procedimento padrão de avaliação (Método (a)).....	77
D.8.2.1 Generalidades .....	77
D.8.2.2 Procedimento padrão .....	77

**NP**

**EN 1990**

**2009**

p. 8 de 88

---

D.8.3 Procedimento padrão de avaliação (Método (b)).....	81
D.8.4 Utilização de conhecimentos prévios adicionais .....	81
<b>Bibliografia.....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo Nacional NA .....</b>	<b>84</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>84</b>
<b>NA.1 – Objectivo e campo de aplicação.....</b>	<b>84</b>
<b>NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) para edifícios.....</b>	<b>84</b>
NA.2.1 – Generalidades.....	84
NA.2.2 – Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional.....	84
NA.2.3 – Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional .....	85
<b>NA.3 – Utilização dos Anexos informativos .....</b>	<b>87</b>
<b>NA.4 – Informações complementares .....</b>	<b>87</b>
NA.4.1 – Objectivo.....	87
NA.4.2 – Informações gerais .....	87
NA.4.3 – Informações específicas .....	88
<b>NA.5 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais .....</b>	<b>88</b>



## Preâmbulo

A presente Norma foi elaborada pelo Comité Técnico CEN/TC 250 "*Structural Eurocodes*", cujo secretariado é assegurado pela BSI.

A esta Norma Europeia deve ser atribuído o estatuto de Norma Nacional, seja por publicação de um texto idêntico, seja por adopção, o mais tardar em Outubro de 2002, e as normas nacionais divergentes devem ser anuladas o mais tardar em Março de 2010.

A presente Norma substitui a ENV 1991-1:1994.

O CEN/TC 250 é responsável por todos os Eurocódigos Estruturais.

De acordo com o Regulamento Interno do CEN/CENELEC, a presente Norma Europeia deve ser implementada pelos organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

## Antecedentes do programa dos Eurocódigos

Em 1975, a Comissão da Comunidade Europeia optou por um programa de acção na área da construção, baseado no artigo 95º do Tratado. O objectivo do programa era a eliminação de entraves técnicos ao comércio e a harmonização das especificações técnicas.

No âmbito deste programa de acção, a Comissão tomou a iniciativa de elaborar um conjunto de regras técnicas harmonizadas para o projecto de obras de construção as quais, numa primeira fase, serviriam como alternativa para as regras nacionais em vigor nos Estados-Membros e que, posteriormente, as substituiriam.

Durante quinze anos, a Comissão, com a ajuda de uma Comissão Directiva com representantes dos Estados-Membros, orientou o desenvolvimento do programa dos Eurocódigos, que conduziu à primeira geração de regulamentos europeus na década de 80.

Em 1989, a Comissão e os Estados-Membros da UE e da EFTA decidiram, com base num acordo <sup>1)</sup> entre a Comissão e o CEN, transferir, através de uma série de mandatos, a preparação e a publicação dos Eurocódigos para o CEN, tendo em vista conferir-lhes no futuro a categoria de Norma Europeia (EN). Tal, liga, *de facto*, os Eurocódigos às disposições de todas as directivas do Conselho e/ou decisões da Comissão em matéria de normas europeias (por exemplo, a Directiva do Conselho 89/106/CEE relativa a produtos de construção – DPC – e as Directivas do Conselho 93/37/CEE, 92/50/CEE e 89/440/CEE relativas a obras públicas e serviços, assim como as Directivas da EFTA equivalentes destinadas à instituição do mercado interno).

O programa relativo aos Eurocódigos Estruturais inclui as seguintes normas, cada uma das quais é, geralmente, constituída por diversas Partes:

EN 1990	Eurocódigo :	Bases para o projecto de estruturas
EN 1991	Eurocódigo 1:	Acções em estruturas
EN 1992	Eurocódigo 2:	Projecto de estruturas de betão
EN 1993	Eurocódigo 3:	Projecto de estruturas de aço
EN 1994	Eurocódigo 4:	Projecto de estruturas mistas aço-betão

---

<sup>1)</sup> Acordo entre a Comissão das Comunidades Europeias e o Comité Europeu de Normalização (CEN) relativo ao trabalho sobre os Eurocódigos para o projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil (BC/CEN/03/89).

EN 1995	Eurocódigo 5:	Projecto de estruturas de madeira
EN 1996	Eurocódigo 6:	Projecto de estruturas de alvenaria
EN 1997	Eurocódigo 7:	Projecto geotécnico
EN 1998	Eurocódigo 8:	Projecto de estruturas para resistência aos sismos
EN 1999	Eurocódigo 9:	Projecto de estruturas de alumínio

Os Eurocódigos reconhecem a responsabilidade das autoridades regulamentadoras de cada Estado-Membro e salvaguardaram o seu direito de estabelecer os valores relacionados com questões de regulamentação da segurança, a nível nacional, nos casos em que estas continuem a variar de Estado para Estado.

### **Estatuto e campo de aplicação dos Eurocódigos**

Os Estados-Membros da UE e da EFTA reconhecem que os Eurocódigos servem de documentos de referência para os seguintes efeitos:

- como meio de comprovar a conformidade dos edifícios e de outras obras de engenharia civil com as exigências essenciais da Directiva do Conselho 89/106/CEE, particularmente a Exigência Essencial n.º 1 – Resistência mecânica e estabilidade – e a Exigência Essencial n.º 2 – Segurança contra incêndios;
- como base para a especificação de contratos de trabalhos de construção e de serviços de engenharia a eles associados;
- como base para a elaboração de especificações técnicas harmonizadas para os produtos de construção (EN e ETA).

Os Eurocódigos, dado que dizem respeito às obras de construção, têm uma relação directa com os documentos interpretativos <sup>2)</sup> referidos no artigo 12º da DPC, embora sejam de natureza diferente da das normas harmonizadas relativas aos produtos <sup>3)</sup>. Por conseguinte, os aspectos técnicos decorrentes dos Eurocódigos devem ser considerados de forma adequada pelos Comitês Técnicos do CEN e/ou pelos Grupos de Trabalho da EOTA envolvidos na elaboração das normas relativas aos produtos, tendo em vista a obtenção de uma compatibilidade total destas especificações técnicas com os Eurocódigos.

Os Eurocódigos fornecem regras comuns de cálculo estrutural para a aplicação corrente no projecto de estruturas e dos seus componentes, de natureza quer tradicional quer inovadora. Elementos construtivos ou condições de cálculo não usuais não são especificamente incluídos, devendo o projectista, nestes casos, assegurar o apoio especializado necessário.

---

<sup>2)</sup> De acordo com o n.º 3 do artigo 3º da DPC, as exigências essenciais (EE) traduzir-se-ão em documentos interpretativos que estabelecem as ligações necessárias entre as exigências essenciais e os mandatos para a elaboração de normas europeias (EN) harmonizadas e guias de aprovação técnica europeia (ETAG), e das próprias aprovações técnicas europeias (ETA).

<sup>3)</sup> De acordo com o artigo 12º da DPC, os documentos interpretativos devem:

- a) concretizar as exigências essenciais harmonizando a terminologia e as bases técnicas e indicando, sempre que necessário, classes ou níveis para cada exigência;
  - b) indicar métodos de correlação entre essas classes ou níveis de exigências e as especificações técnicas, por exemplo, métodos de cálculo e de ensaio, regras técnicas de concepção de projectos, etc.;
  - c) servir de referência para o estabelecimento de normas europeias harmonizadas e de guias de aprovação técnica europeia.
- Os Eurocódigos, de facto, desempenham um papel semelhante na área da EE 1 e de uma parte da EE 2.

### **Normas nacionais de implementação dos Eurocódigos**

As normas nacionais de implementação dos Eurocódigos incluirão o texto completo do Eurocódigo (incluindo anexos), conforme publicado pelo CEN, o qual poderá ser precedido de uma página de título e de um preâmbulo nacionais, e ser também seguido de um Anexo Nacional.

O Anexo Nacional só poderá conter informações sobre os parâmetros deixados em aberto no Eurocódigo para escolha nacional, designados por Parâmetros Determinados a nível Nacional, a utilizar no projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil no país em questão, nomeadamente:

- valores e/ou classes, nos casos em que são apresentadas alternativas no Eurocódigo;
- valores para serem utilizados nos casos em que apenas um símbolo é apresentado no Eurocódigo;
- dados específicos do país (geográficos, climáticos, etc.), por exemplo, mapa de zonamento da neve;
- o procedimento a utilizar nos casos em que sejam apresentados procedimentos alternativos no Eurocódigo.

Poderá ainda conter:

- decisões sobre a aplicação dos anexos informativos;
- informações complementares não contraditórias para auxílio do utilizador na aplicação do Eurocódigo.

### **Ligações entre os Eurocódigos e as especificações técnicas harmonizadas (EN e ETA) relativas aos produtos**

É necessária uma consistência entre as especificações técnicas harmonizadas relativas aos produtos de construção e as regras técnicas relativas às obras<sup>4)</sup>. Além disso, todas as informações que acompanham a marcação CE dos produtos de construção que fazem referência aos Eurocódigos devem indicar, claramente, quais os Parâmetros Determinados a nível Nacional que foram tidos em conta.

### **Informações adicionais específicas da EN 1990**

A presente Norma descreve os princípios e os requisitos de segurança, de utilização e de durabilidade das estruturas. Baseia-se no conceito de estado limite, utilizado em conjunto com um método de coeficientes parciais.

A presente Norma destina-se a ser directamente aplicada, em conjunto com os Eurocódigos EN 1991 a EN 1999, ao projecto de novas estruturas.

A presente Norma também fornece orientações para os aspectos de fiabilidade estrutural relacionados com a segurança, a utilização e a durabilidade:

- para os casos de projecto não abrangidos pelas EN 1991 a EN 1999 (outras acções, estruturas não consideradas, outros materiais);
- que sirvam de referência para outros Comitês Técnicos do CEN no que respeita a questões estruturais.

A presente Norma destina-se a ser utilizada por:

- comissões de redacção de normas relativas ao cálculo estrutural e de normas sobre produtos, ensaios e execução com elas associados;
- donos de obra (por exemplo, para a formulação dos seus requisitos específicos sobre níveis de fiabilidade e de durabilidade);

---

<sup>4)</sup> Ver n.º 3 do artigo 3º e artigo 12º da DPC, e também 4.2, 4.3.1, 4.3.2 e 5.2 do Documento Interpretativo n.º 1.

- projectistas e construtores;
- autoridades competentes.

A presente Norma poderá ser utilizada, quando pertinente, como documento orientador no projecto de estruturas não abrangidas pelos Eurocódigos EN 1991 a EN 1999, com vista a:

- considerar outras acções e as suas combinações;
- modelar comportamentos de materiais e de estruturas;
- determinar valores numéricos relativos ao formato de fiabilidade.

São recomendados valores numéricos para os coeficientes parciais e para outros parâmetros de fiabilidade, de modo a proporcionarem um nível de fiabilidade aceitável, os quais foram seleccionados admitindo a aplicação de um nível adequado de mão-de-obra e de gestão da qualidade. Quando a EN 1990 for usada como documento de base por outros Comitês Técnicos do CEN, deverão adoptar-se os mesmos valores.

#### **Anexo Nacional da EN 1990**

Esta Norma estabelece procedimentos alternativos e valores, recomenda classes e inclui notas indicando onde poderão ter de ser feitas opções nacionais. Por este motivo, a Norma Nacional de implementação da EN 1990 deverá ter um Anexo Nacional que contenha todos os Parâmetros Determinados a nível Nacional para o projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil a serem construídos no país a que diz respeito.

A opção nacional é permitida na EN 1990 em:

- A1.1(1)
- A1.2.1(1)
- A1.2.2 (Quadro A1.1)
- A1.3.1(1) (Quadros A1.2(A) a (C))
- A1.3.1(5)
- A1.3.2 (Quadro A1.3)
- A1.4.2(2)

## **1 Generalidades**

### **1.1 Objectivo e campo de aplicação**

(1) A presente Norma estabelece os Princípios e os requisitos de segurança, de utilização e de durabilidade das estruturas, descreve as bases para o seu projecto e verificação e fornece orientações sobre os respectivos aspectos de fiabilidade estrutural.

(2) A presente Norma destina-se a ser utilizada em conjunto com as EN 1991 a EN 1999 no projecto estrutural de edifícios e de outras obras de engenharia civil, incluindo os aspectos geotécnicos, a verificação da resistência ao fogo, as situações envolvendo sismos, a execução e as estruturas provisórias.

*NOTA:* Para o projecto de obras especiais (como, por exemplo, instalações nucleares, barragens, etc.), poderão ser necessárias outras disposições para além das constantes nas EN 1990 a EN 1999.

(3) A presente Norma é aplicável ao projecto de estruturas no qual estejam envolvidos materiais ou acções não abrangidos pelas EN 1991 a EN 1999.

(4) A presente Norma é aplicável à avaliação estrutural das construções já existentes, visando o projecto de reparações e de alterações ou a avaliação de mudanças de utilização.

*NOTA:* Em certos casos, poderão ser necessárias disposições adicionais ou alterações à presente Norma.

### **1.2 Referências normativas**

A presente Norma inclui, por referência, datada ou não, disposições relativas a outras normas. Estas referências normativas são citadas nos lugares apropriados do texto e as normas são listadas a seguir. Para referências datadas, as emendas ou revisões subsequentes de qualquer destas normas só se aplicam à presente Norma se nela incorporadas por emenda ou revisão. Para as referências não datadas, aplica-se a última edição da norma referida (incluindo as emendas).

*NOTA:* Os Eurocódigos foram publicados como Pré-Normas Europeias. As seguintes Normas Europeias, que estão publicadas ou em fase de preparação, são citadas em secções normativas:

EN 1991 <sup>*)</sup>	<i>Eurocode 1 – Actions on structures</i>
EN 1992	<i>Eurocode 2 – Design of concrete structures</i>
EN 1993	<i>Eurocode 3 – Design of steel structures</i>
EN 1994	<i>Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures</i>
EN 1995	<i>Eurocode 5 – Design of timber structures</i>
EN 1996	<i>Eurocode 6 – Design of masonry structures</i>
EN 1997	<i>Eurocode 7 – Geotechnical design</i>
EN 1998	<i>Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance</i>
EN 1999	<i>Eurocode 9 – Design of aluminium structures</i>

### **1.3 Pressupostos**

(1) Um projecto que segue os Princípios e as Regras de Aplicação só cumpre os requisitos desde que satisfaça os pressupostos indicados nas EN 1990 a EN 1999 (ver a secção 2).

---

<sup>\*)</sup> No Anexo Nacional NA são indicadas as normas portuguesas equivalentes (nota nacional).

(2) Os pressupostos gerais da EN 1990 são:

- a escolha do sistema estrutural e o projecto da estrutura são realizados por técnicos com qualificação e experiência adequadas;
- a execução é realizada por pessoal com competência e experiência adequadas;
- uma supervisão e um controlo da qualidade adequados são assegurados durante toda a execução da obra, nomeadamente, nos gabinetes de projecto, nas fábricas, nas empresas e nos estaleiros;
- os materiais e os produtos de construção são utilizados de acordo com as especificações da EN 1990 ou das EN 1991 a EN 1999 ou de normas de execução ou especificações aplicáveis;
- as estruturas são objecto de manutenção adequada;
- as estruturas têm uma utilização em conformidade com as hipóteses consideradas no projecto.

**NOTA:** Poderá haver casos em que os pressupostos acima referidos tenham que ser complementados.

#### **1.4 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação**

(1) Dependendo da natureza de cada secção, a presente Norma faz distinção entre Princípios e Regras de Aplicação.

(2) Os Princípios englobam:

- declarações e definições de carácter geral para as quais não são permitidas alternativas;
- requisitos e modelos analíticos para os quais não se permite alternativa, a não ser que tal seja expressamente especificado.

(3) Os Princípios são referenciados por um número entre parênteses seguido da letra P.

(4) As Regras de Aplicação são regras generalizadamente aceites que são conformes aos Princípios e que satisfazem os seus requisitos.

(5) Permite-se a adopção de regras de projecto alternativas, diferentes das Regras de Aplicação indicadas na presente Norma para as obras, desde que se demonstre que tais regras alternativas estão de acordo com os Princípios correspondentes e que são, no mínimo, equivalentes no que respeita à segurança, à utilização e à durabilidade da estrutura, às que seriam expectáveis com a utilização dos Eurocódigos.

**NOTA:** Se uma regra de projecto alternativa substituir uma Regra de Aplicação, não é possível reivindicar que o projecto daí resultante esteja totalmente de acordo com a EN 1990, embora o projecto respeite os Princípios da EN 1990. Quando se utiliza a EN 1990 a respeito de uma propriedade indicada num Anexo Z de uma norma de produto ou num guia de aprovação técnica europeia, a utilização de uma regra de projecto alternativa poderá não ser aceite para a marcação CE.

(6) Na presente Norma, as Regras de Aplicação são identificadas por um número entre parênteses, como, por exemplo, neste parágrafo.

#### **1.5 Termos e definições**

**NOTA:** Para os fins desta Norma, aplicam-se os termos e definições indicados nas ISO 2394, ISO 3898, ISO 8930 e ISO 8402.

##### **1.5.1 Termos comuns usados nas EN 1990 a EN 1999**

###### **1.5.1.1 construção**

Tudo o que é construído ou resulta de trabalhos de construção.

**NOTA:** Esta definição está de acordo com a ISO 6707-1. Este termo abrange edifícios e outras obras de engenharia civil. Refere-se à construção completa, englobando os seus elementos estruturais, não estruturais e geotécnicos.

#### **1.5.1.2 natureza do edifício ou das outras obras de engenharia civil**

Natureza da construção, designando a finalidade pretendida, por exemplo, edifício de habitação, muro de suporte, edifício industrial, ponte rodoviária.

#### **1.5.1.3 tipo de construção**

Indicação do material estrutural principal, por exemplo, construção de betão armado, construção de aço, construção de madeira, construção de alvenaria, construção mista aço-betão.

#### **1.5.1.4 método construtivo**

Modo como a construção é executada, por exemplo, betonada in situ, prefabricada, por avanços.

#### **1.5.1.5 material de construção**

Material usado em obras de construção, por exemplo, betão, aço, madeira, alvenaria.

#### **1.5.1.6 estrutura**

Combinação organizada de peças interligadas, concebida para suportar acções e assegurar a rigidez adequada.

#### **1.5.1.7 elemento estrutural**

Parte fisicamente identificável de uma estrutura, como, por exemplo, pilar, viga, laje, estaca de fundação.

#### **1.5.1.8 tipo da estrutura**

Disposição dos elementos estruturais.

*NOTA:* Tipos da estrutura são, por exemplo, pórticos, pontes suspensas.

#### **1.5.1.9 sistema estrutural**

Elementos resistentes de um edifício ou de uma obra de engenharia civil e o modo como esses elementos funcionam em conjunto.

#### **1.5.1.10 modelo estrutural**

Idealização do sistema estrutural utilizada para efeitos de análise, projecto e verificação.

#### **1.5.1.11 execução**

Todas as actividades realizadas para a conclusão física da obra incluindo o concurso, a inspecção e a documentação correspondente.

*NOTA:* O termo abrange os trabalhos no estaleiro; também poderá abranger o fabrico de elementos fora do estaleiro e a sua montagem posterior em obra.

### **1.5.2 Termos específicos relativos ao projecto em geral**

#### **1.5.2.1 critérios de projecto**

Formulações quantitativas que descrevem as condições a ser satisfeitas relativamente a cada estado limite.

#### **1.5.2.2 situações de projecto**

Conjuntos de condições físicas representativas das condições reais que ocorrem durante um certo período de tempo em relação ao qual se demonstrará, no projecto, que os estados limites relevantes não são excedidos.

#### **1.5.2.3 situação de projecto transitória**

Situação de projecto que é relevante durante um período muito mais curto do que o tempo de vida útil de projecto da estrutura e que tem elevada probabilidade de ocorrência.

*NOTA:* Uma situação de projecto transitória refere-se a condições temporárias da estrutura, da sua utilização, ou da sua exposição, como, por exemplo, durante a construção ou reparação.

#### **1.5.2.4 situação de projecto persistente**

Situação de projecto que é relevante durante um período da mesma ordem do tempo de vida útil de projecto da estrutura.

*NOTA:* Refere-se, em geral, às condições normais de utilização.

#### **1.5.2.5 situação de projecto accidental**

Situação de projecto envolvendo condições excepcionais ao nível da estrutura ou da sua exposição, incluindo incêndio, explosão, impacto ou rotura local.

#### **1.5.2.6 projecto em relação à acção do fogo**

Projecto de uma estrutura para satisfazer os critérios de desempenho requeridos em caso de incêndio.

#### **1.5.2.7 situação de projecto sísmica**

Situação de projecto envolvendo condições excepcionais da estrutura quando sujeita à acção de um sismo.

#### **1.5.2.8 tempo de vida útil de projecto**

Período durante o qual se pretende que uma estrutura ou parte da mesma seja utilizada para as funções a que se destina, com a manutenção prevista mas sem necessidade de grandes reparações.

#### **1.5.2.9 cenário de acidente**

Para efeitos das EN 1990 a EN 1999, um acontecimento invulgar e grave, como, por exemplo, uma acção ou uma influência ambiental anormais, uma resistência insuficiente ou um desvio excessivo das dimensões previstas.

#### **1.5.2.10 disposição de carga**

Caracterização da posição, intensidade e direcção de uma acção livre.

#### **1.5.2.11 caso de carga**

Disposições de carga compatíveis, conjuntos de deformações e imperfeições considerados simultaneamente com acções variáveis fixas e acções permanentes com vista a uma determinada verificação.

#### **1.5.2.12 estados limites**

Estados para além dos quais a estrutura deixa de satisfazer os critérios de projecto relevantes.

#### **1.5.2.13 estados limites últimos**

Estados associados ao colapso ou a outras formas semelhantes de ruína estrutural.

*NOTA:* Correspondem, em geral, à capacidade resistente máxima de uma estrutura ou de um elemento estrutural.

#### **1.5.2.14 estados limites de utilização**

Estados que correspondem às condições para além das quais os requisitos de utilização especificados para uma estrutura ou para um elemento estrutural deixam de ser satisfeitos.

##### **1.5.2.14.1 estados limites de utilização irreversíveis**

Estados limites de utilização em que alguma das consequências das acções que excedem os requisitos de utilização especificados se mantém quando as acções são retiradas.



#### **1.5.2.14.2 estados limites de utilização reversíveis**

Estados limites de utilização em que nenhuma das consequências das acções que excedem os requisitos de utilização especificados se mantêm quando as acções são retiradas.

#### **1.5.2.14.3 critério de utilização**

Critério de projecto para um estado limite de utilização.

#### **1.5.2.15 resistência (capacidade resistente)**

Capacidade de um elemento ou de um componente, ou de uma secção transversal de um elemento ou de um componente da estrutura, para resistir a acções sem rotura mecânica, como, por exemplo, resistência à flexão, resistência à encurvadura, resistência à tracção.

#### **1.5.2.16 resistência (do material)**

Propriedade mecânica de um material indicando a sua capacidade para resistir a acções, normalmente expressa em unidades de tensão.

#### **1.5.2.17 fiabilidade**

Aptidão de uma estrutura ou de um elemento estrutural para satisfazer os requisitos especificados, incluindo o valor de cálculo do tempo de vida útil para o qual foi projectada. A fiabilidade é normalmente expressa em termos probabilísticos.

*NOTA:* A fiabilidade abrange a segurança, a utilização e a durabilidade de uma estrutura.

#### **1.5.2.18 diferenciação da fiabilidade**

Medidas destinadas à optimização sócio-económica dos recursos a utilizar na construção tendo em conta todas as previsíveis consequências da não satisfação dos requisitos especificados e o custo da construção.

#### **1.5.2.19 variável básica**

Parte de um conjunto especificado de variáveis representativas das quantidades físicas que caracterizam acções e influências ambientais, grandezas geométricas e propriedades dos materiais incluindo as relativas aos solos.

#### **1.5.2.20 manutenção**

Conjunto de actividades realizadas durante o tempo de vida útil da estrutura a fim de permitir-lhe manter a satisfação dos requisitos de fiabilidade.

*NOTA:* As actividades de reparação da estrutura após uma acção de acidente ou uma acção sísmica estão, normalmente, fora do âmbito da manutenção.

#### **1.5.2.21 reparação**

Actividades realizadas para conservar ou repor a função de uma estrutura e que estão fora do âmbito da manutenção.

#### **1.5.2.22 valor nominal**

Valor fixado com bases não estatísticas, por exemplo, com base na experiência adquirida ou em considerações de natureza física.

### **1.5.3 Termos relativos às acções**

#### **1.5.3.1 acção ( $F$ )**

a) Conjunto de forças (cargas) aplicadas à estrutura (acção directa).

b) Conjunto de deformações ou acelerações impostas, provocadas, por exemplo, por variações de temperatura ou de humidade, assentamentos diferenciais ou sismos (acção indirecta).

**1.5.3.2 efeito da acção ( $E$ )**

Efeito das acções nos elementos estruturais (por exemplo, esforço interno, momento, tensão, extensão) ou no conjunto da estrutura (por exemplo, deslocamento, rotação).

**1.5.3.3 acção permanente ( $G$ )**

Acção com elevada probabilidade de actuar durante um determinado período de referência e cuja variação de intensidade no tempo é desprezável ou é sempre no mesmo sentido (monotónica) até a acção atingir um certo valor limite.

**1.5.3.4 acção variável ( $Q$ )**

Acção cuja variação de intensidade no tempo não é desprezável nem monotónica.

**1.5.3.5 acção de acidente ( $A$ )**

Acção, normalmente de curta duração mas com intensidade significativa, com pequena probabilidade de ocorrência numa dada estrutura durante o tempo de vida útil de projecto.

*NOTA 1: Em muitos casos, uma acção de acidente pode ter consequências graves, se não forem tomadas medidas adequadas.*

*NOTA 2: O choque, a neve, o vento e as acções sísmicas poderão ser acções variáveis ou de acidente, em função das informações disponíveis sobre as respectivas distribuições estatísticas.*

**1.5.3.6 acção sísmica ( $A_E$ )**

Acção devida aos movimentos do terreno provocados pelos sismos.

**1.5.3.7 acção geotécnica**

Acção transmitida à estrutura pelo terreno, por um aterro ou por água do terreno.

**1.5.3.8 acção fixa**

Acção que tem uma distribuição espacial fixa na estrutura ou no elemento estrutural, tal que a sua intensidade e direcção são determinadas sem ambiguidade a partir da determinação da sua intensidade e direcção num ponto da estrutura ou do elemento estrutural.

**1.5.3.9 acção livre**

Acção que poderá ter diversas distribuições espaciais na estrutura.

**1.5.3.10 acção independente**

Acção que se pode admitir como estatisticamente independente no tempo e no espaço de qualquer outra acção actuando na estrutura.

**1.5.3.11 acção estática**

Acção que não provoca aceleração significativa da estrutura ou dos elementos estruturais.

**1.5.3.12 acção dinâmica**

Acção que provoca aceleração significativa da estrutura ou dos elementos estruturais.

**1.5.3.13 acção quase-estática**

Acção dinâmica representada por uma acção estática equivalente num modelo estático.

#### **1.5.3.14 valor característico de uma acção ( $F_k$ )**

Principal valor representativo de uma acção.

*NOTA:* Quando um valor característico pode ser fixado com base estatística, esse valor é escolhido de modo a corresponder a uma dada probabilidade de não ser excedido no sentido desfavorável, durante um “período de referência”, tendo em conta o tempo de vida útil de projecto da estrutura e a duração da situação de projecto.

#### **1.5.3.15 período de referência**

Intervalo de tempo escolhido que é utilizado como base para a avaliação de acções estatisticamente variáveis e, eventualmente, de acções de acidente.

#### **1.5.3.16 valor de combinação de uma acção variável ( $\psi_0 Q_k$ )**

Valor escolhido – quando pode ser fixado com base estatística – de forma que a probabilidade de os efeitos causados pela combinação em que intervém ser excedida seja aproximadamente a mesma da correspondente à do valor característico de cada acção. Poderá ser expresso como uma determinada fracção do valor característico, utilizando um coeficiente  $\psi_0 \leq 1$ .

#### **1.5.3.17 valor frequente de uma acção variável ( $\psi_1 Q_k$ )**

Valor determinado – quando pode ser fixado com bases estatísticas – de forma que o tempo total, dentro do período de referência, durante o qual esse valor é excedido é apenas uma reduzida parte do período de referência, ou de forma que a frequência com que esse valor é excedido é limitada a um dado valor. Poderá ser expresso como uma determinada fracção do valor característico, utilizando um coeficiente  $\psi_1 \leq 1$ .

#### **1.5.3.18 valor quase-permanente de uma acção variável ( $\psi_2 Q_k$ )**

Valor determinado de forma que o período total de tempo em que é excedido é uma parte considerável do período de referência. Poderá ser expresso como uma determinada fracção do valor característico, utilizando um coeficiente  $\psi_2 \leq 1$ .

#### **1.5.3.19 valor acompanhante de uma acção variável ( $\psi Q_k$ )**

Valor de uma acção variável que acompanha a acção de base numa combinação.

*NOTA:* O valor acompanhante de uma acção variável poderá ser o valor de combinação, o valor frequente ou o valor quase-permanente.

#### **1.5.3.20 valor representativo de uma acção ( $F_{rep}$ )**

Valor utilizado para a verificação de um estado limite. Um valor representativo poderá ser o valor característico ( $F_k$ ) ou um valor acompanhante ( $\psi F_k$ ).

#### **1.5.3.21 valor de cálculo de uma acção ( $F_d$ )**

Valor obtido multiplicando o valor representativo pelo coeficiente parcial de segurança  $\gamma$ .

*NOTA:* O produto do valor representativo pelo coeficiente parcial  $\gamma_F = \gamma_{sd} \times \gamma_f$  poderá também ser designado como o valor de cálculo da acção (ver 6.3.2).

#### **1.5.3.22 combinação de acções**

Conjunto de valores de cálculo utilizados na verificação da fiabilidade estrutural relativamente a um dado estado limite sob a influência simultânea de diferentes acções.

### **1.5.4 Termos relativos às propriedades dos materiais e dos produtos**

#### **1.5.4.1 valor característico ( $X_k$ ou $R_k$ )**

Valor de uma propriedade de um material ou de um produto que tem uma probabilidade preestabelecida de não ser atingido numa hipotética série ilimitada de ensaios. Este valor corresponde, em geral, a um quantilho

especificado da distribuição estatística admitida para essa propriedade do material ou do produto. Em certos casos, utiliza-se um valor nominal como o valor característico.

#### **1.5.4.2 valor de cálculo de uma propriedade de um material ou de um produto ( $X_d$ ou $R_d$ )**

Valor obtido dividindo o valor característico por um coeficiente parcial  $\gamma_m$  ou  $\gamma_M$ , ou, em casos especiais, por determinação directa.

#### **1.5.4.3 valor nominal de uma propriedade de um material ou de um produto ( $X_{nom}$ ou $R_{nom}$ )**

Valor normalmente utilizado como valor característico e estabelecido a partir de um documento adequado, como, por exemplo, uma Norma ou Pré-Norma Europeia.

### **1.5.5 Termos relativos a grandezas geométricas**

#### **1.5.5.1 valor característico de uma grandeza geométrica ( $a_k$ )**

Valor que corresponde habitualmente às dimensões especificadas no projecto. Em certos casos, os valores das grandezas geométricas poderão corresponder a um dado quantilho da sua distribuição estatística.

#### **1.5.5.2 valor de cálculo de uma grandeza geométrica ( $a_d$ )**

Em geral, um valor nominal. Em certos casos, os valores das grandezas geométricas poderão corresponder a um dado quantilho da sua distribuição estatística.

*NOTA:* O valor de cálculo de uma grandeza geométrica é, geralmente, igual ao valor característico. No entanto, poderá ser tratado de forma diferente nos casos em que o estado limite em consideração é muito sensível ao valor da grandeza geométrica, por exemplo, quando se considera na encurvadura o efeito das imperfeições geométricas. Nesses casos, o valor de cálculo será normalmente estabelecido como um valor directamente especificado, por exemplo numa Norma ou Pré-Norma Europeia. Em alternativa, pode ser estabelecido, a partir de uma base estatística, de modo a corresponder a um quantilho mais apropriado (por exemplo, um valor mais raro) do que o que corresponde ao valor característico.

### **1.5.6 Termos relativos à análise estrutural**

*NOTA:* As definições constantes nesta secção poderão não estar necessariamente relacionadas com os termos utilizados na presente Norma, mas são aqui incluídas para assegurar uma harmonização dos termos das EN 1991 a EN 1999 relativos à análise estrutural.

#### **1.5.6.1 análise estrutural**

Método ou algoritmo para determinação dos efeitos das acções em qualquer ponto de uma estrutura.

*NOTA:* Poderá ser necessário realizar uma análise estrutural a três níveis, utilizando diferentes modelos: análise global, análise por elementos, análise local.

#### **1.5.6.2 análise global**

Determinação numa estrutura de um conjunto coerente de esforços, ou de tensões, que estão em equilíbrio com um conjunto particular e definido de acções que actuam na estrutura, e que dependem das grandezas geométricas, das propriedades estruturais e das propriedades dos materiais.

#### **1.5.6.3 análise elástica linear de primeira ordem sem redistribuição**

Análise estrutural elástica baseada em relações lineares de tensões/extensões ou de momentos/curvaturas e aplicada à geometria inicial da estrutura.

#### **1.5.6.4 análise elástica linear de primeira ordem com redistribuição**

Análise elástica linear na qual os esforços são modificados para o dimensionamento estrutural, de uma forma coerente com as acções aplicadas e sem um cálculo explícito da capacidade de rotação.

#### **1.5.6.5 análise elástica linear de segunda ordem**

Análise estrutural elástica, utilizando relações lineares de tensões/extensões, aplicada à geometria da estrutura deformada.

#### **1.5.6.6 análise não linear de primeira ordem**

Análise estrutural, aplicada à geometria inicial da estrutura, que tem em consideração as propriedades de deformação não linear dos materiais.

*NOTA:* A análise não linear de primeira ordem ou é elástica com as hipóteses adequadas, ou elástica-perfeitamente plástica (ver 1.5.6.8 e 1.5.6.9), ou elasto-plástica (ver 1.5.6.10) ou rígida-plástica (ver 1.5.6.11).

#### **1.5.6.7 análise não linear de segunda ordem**

Análise estrutural, aplicada à geometria da estrutura deformada, que tem em consideração as propriedades de deformação não linear dos materiais.

*NOTA:* A análise não linear de segunda ordem é elástica-perfeitamente plástica ou elasto-plástica.

#### **1.5.6.8 análise elástica-perfeitamente plástica de primeira ordem**

Análise estrutural baseada em relações momentos/curvaturas com uma parte inicial elástica linear seguida de uma parte plástica sem endurecimento, aplicada à geometria inicial da estrutura.

#### **1.5.6.9 análise elástica-perfeitamente plástica de segunda ordem**

Análise estrutural baseada em relações momentos/curvaturas com uma parte inicial elástica linear seguida de uma parte plástica sem endurecimento, aplicada à geometria da estrutura deslocada (ou deformada).

#### **1.5.6.10 análise elasto-plástica (de primeira ou de segunda ordem)**

Análise estrutural baseada em relações tensões-extensões ou momentos/curvaturas com uma parte inicial elástica linear seguida de uma parte plástica com ou sem endurecimento.

*NOTA:* Em geral, é realizada sobre a geometria inicial da estrutura, mas poderá também ser aplicada à geometria da estrutura deslocada (ou deformada).

#### **1.5.6.11 análise rígida-plástica**

Análise, aplicada à geometria inicial da estrutura, que utiliza os teoremas da análise limite para a avaliação directa da capacidade resistente.

*NOTA:* Admite-se a relação momentos/curvaturas sem deformação elástica e sem endurecimento.

### **1.6 Símbolos**

Para os fins da presente Norma utilizam-se os seguintes símbolos.

*NOTA:* As notações utilizadas baseiam-se na ISO 3898:1987.

Letras maiúsculas latinas

$A$	acção de acidente
$A_d$	valor de cálculo de uma acção de acidente
$A_{Ed}$	valor de cálculo de uma acção sísmica $A_{Ed} = \gamma A_{Ek}$
$A_{Ek}$	valor característico de uma acção sísmica
$C_d$	valor nominal ou uma função dos valores de cálculo de certas propriedades dos materiais

$E$	efeito de uma acção
$E_d$	valor de cálculo do efeito das acções
$E_{d,dst}$	valor de cálculo do efeito das acções não estabilizantes
$E_{d,stab}$	valor de cálculo do efeito das acções estabilizantes
$F$	acção
$F_d$	valor de cálculo de uma acção
$F_k$	valor característico de uma acção
$F_{rep}$	valor representativo de uma acção
$G$	acção permanente
$G_d$	valor de cálculo de uma acção permanente
$G_{d,inf}$	valor de cálculo inferior de uma acção permanente
$G_{d,sup}$	valor de cálculo superior de uma acção permanente
$G_k$	valor característico de uma acção permanente
$G_{k,j}$	valor característico da acção permanente $j$
$G_{k,j,sup}/G_{k,j,inf}$	valor característico superior/inferior da acção permanente $j$
$P$	valor representativo de uma acção de pré-esforço (ver as EN 1992 a EN 1996 e EN 1998 a EN 1999)
$P_d$	valor de cálculo de uma acção de pré-esforço
$P_k$	valor característico de uma acção de pré-esforço
$P_m$	valor médio de uma acção de pré-esforço
$Q$	acção variável
$Q_d$	valor de cálculo de uma acção variável
$Q_k$	valor característico de uma acção variável isolada
$Q_{k,1}$	valor característico da acção variável de base da combinação 1
$Q_{k,i}$	valor característico da acção variável acompanhante $i$
$R$	resistência
$R_d$	valor de cálculo da resistência
$R_k$	valor característico da resistência
$X$	propriedade de um material
$X_d$	valor de cálculo de uma propriedade de um material
$X_k$	valor característico de uma propriedade de um material

#### Letras minúsculas latinas

$a_d$	valor de cálculo de uma grandeza geométrica
$a_k$	valor característico de uma grandeza geométrica
$a_{nom}$	valor nominal de uma grandeza geométrica
$u$	deslocamento horizontal de uma estrutura ou de um elemento estrutural
$w$	deslocamento vertical de um elemento estrutural

#### Letras maiúsculas gregas

$\Delta a$	alteração feita ao valor nominal da grandeza geométrica para determinados fins de cálculo, como, por exemplo, para a avaliação dos efeitos de imperfeições
------------	--

#### Letras minúsculas gregas

$\gamma$	coeficiente parcial (de segurança ou de utilização)
$\gamma$	coeficiente parcial relativo às acções, que tem em conta a possibilidade de desvios desfavoráveis dos valores das acções em relação aos seus valores representativos
$\gamma_F$	coeficiente parcial relativo às acções, que também cobre incertezas de modelação e desvios nas dimensões
$\gamma_g$	coeficiente parcial relativo às acções permanentes, que tem em conta a possibilidade de desvios desfavoráveis dos valores das acções em relação aos seus valores representativos
$\gamma_G$	coeficiente parcial relativo às acções permanentes, que também cobre incertezas de modelação e desvios nas dimensões
$\gamma_{G,j}$	coeficiente parcial relativo à acção permanente $j$
$\gamma_{G,sup} / \gamma_{G,inf}$	coeficiente parcial relativo à acção permanente $j$ a utilizar na determinação dos valores de cálculo superiores/inferiores
$\gamma_I$	coeficiente de importância (ver a EN 1998)
$\gamma_m$	coeficiente parcial relativo a uma propriedade de um material
$\gamma_M$	coeficiente parcial relativo a uma propriedade de um material, que também cobre incertezas de modelação e desvios nas dimensões
$\gamma_P$	coeficiente parcial relativo a acções de pré-esforço (ver as EN 1992 a EN 1996 e EN 1998 a EN 1999)
$\gamma_Q$	coeficiente parcial relativo a acções variáveis, que tem em conta a possibilidade de desvios desfavoráveis dos valores das acções em relação aos seus valores representativos
$\gamma_Q$	coeficiente parcial relativo às acções variáveis, que também cobre incertezas de modelação e desvios nas dimensões
$\gamma_{Q,i}$	coeficiente parcial relativo à acção variável $i$
$\gamma_{Rd}$	coeficiente parcial associado à incerteza do modelo de resistência
$\gamma_{Sd}$	coeficiente parcial associado à incerteza do modelo das acções e/ou dos seus efeitos

$\eta$	factor de conversão
$\xi$	coeficiente de redução
$\psi_0$	coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma acção variável
$\psi_1$	coeficiente para a determinação do valor frequente de uma acção variável
$\psi_2$	coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma acção variável

## **2 Requisitos**

### **2.1 Requisitos gerais**

(1)P As estruturas devem ser projectadas e construídas de modo a que, durante o seu período de vida previsto, com graus de fiabilidade apropriados e de uma forma económica:

- possam suportar todas as acções e influências susceptíveis de ocorrerem durante a sua execução e utilização; e
- cumpram as condições de utilização especificadas para a estrutura ou para um elemento estrutural.

*NOTA:* Ver também 1.3, 2.1(7) e 2.4(1)P.

(2)P As estruturas devem ser projectadas para terem adequadas:

- resistência estrutural;
- utilização;
- durabilidade.

(3)P Em situação de incêndio, a resistência estrutural deve ser a adequada para o período de tempo especificado.

*NOTA:* Ver também a EN 1991-1-2.

(4)P As estruturas devem ser projectadas e construídas de modo a que os danos causados por ocorrências, tais como:

- explosões;
- impactos;
- consequências de erros humanos;

não sejam desproporcionados em relação às causas que os originaram.

*NOTA 1:* As ocorrências a ter em conta são as acordadas, para um determinado projecto, com o dono de obra e a autoridade competente.

*NOTA 2:* Encontram-se mais informações na EN 1991-1-7.

(5)P Os danos potenciais devem ser evitados ou limitados, adoptando uma ou várias das seguintes medidas:

- evitar, eliminar ou reduzir os riscos a que a estrutura possa estar sujeita;
- adoptar uma solução estrutural pouco sensível aos riscos considerados;
- adoptar uma solução estrutural e um dimensionamento que permitam que a estrutura subsista adequadamente à perda accidental de um elemento isolado ou de uma parte limitada da estrutura, ou à ocorrência de danos localizados de dimensão aceitável;



- evitar, tanto quanto possível, sistemas estruturais susceptíveis de ruir sem aviso prévio;
- assegurar a interligação dos elementos estruturais.

(6) Os requisitos gerais deverão ser satisfeitos:

- escolhendo materiais apropriados;
- adoptando uma concepção e disposições construtivas adequadas;
- especificando procedimentos de controlo do projecto, da produção, da construção e da utilização, relevantes para a obra.

(7) O disposto na secção 2 deverá ser interpretado no pressuposto de que foram adoptados no projecto o cuidado e a competência adequados às circunstâncias, baseados nos conhecimentos e na boa prática geralmente disponíveis quando da realização do projecto da estrutura.

## **2.2 Gestão da fiabilidade**

(1)P A fiabilidade requerida para as estruturas no âmbito da presente Norma deve ser obtida:

- a) por meio de um projecto executado de acordo com as EN 1990 a EN 1999;
- b) por meio de:
  - uma execução apropriada; e
  - medidas de gestão da qualidade.

**NOTA:** Ver 2.2(5) e o Anexo B.

(2) Poderão adoptar-se níveis de fiabilidade diferentes, nomeadamente:

- para a resistência estrutural;
- para a utilização.

(3) A escolha dos níveis de fiabilidade para uma determinada estrutura deverá ter em conta os factores relevantes, incluindo:

- a causa e/ou o modo possíveis de ser atingido um estado limite;
- as possíveis consequências da rotura, no que respeita a risco de vida, lesões de pessoas, ou potenciais prejuízos económicos;
- o grau da aversão pública a colapsos;
- os custos e os procedimentos necessários para reduzir o risco de rotura.

(4) Os níveis de fiabilidade que se aplicam a uma determinada estrutura poderão ser especificados por um ou ambos os modos seguintes:

- pela classificação da estrutura no seu todo;
- pela classificação dos seus componentes.

**NOTA:** Ver também o Anexo B.

(5) Os níveis de fiabilidade relativos à segurança estrutural ou à utilização podem ser obtidos através de adequadas combinações das medidas seguintes:

a) medidas de prevenção e de protecção (por exemplo, instalação de barreiras de segurança, medidas activas e passivas de protecção contra incêndios, protecção contra os riscos de corrosão, tal como pintura ou protecção catódica);

b) medidas relacionadas com os cálculos:

- valores representativos das acções;
- escolha dos coeficientes parciais;

c) medidas relacionadas com a gestão da qualidade;

d) medidas destinadas a reduzir erros de projecto e de construção da estrutura, e erros humanos grosseiros;

e) outras medidas relacionadas com as seguintes questões de projecto:

- os requisitos gerais;
- o grau de robustez (integridade estrutural);
- a durabilidade, incluindo a escolha do tempo de vida útil de projecto;
- a extensão e a qualidade das prospecções preliminares dos solos e as possíveis influências ambientais;
- o rigor dos modelos mecânicos utilizados;
- as disposições construtivas;

f) execução eficiente, por exemplo, em conformidade com as normas de execução referidas nas EN 1991 a EN 1999;

g) inspecção e manutenção adequadas, de acordo com os procedimentos especificados na documentação do projecto.

(6) As medidas de prevenção das potenciais causas de rotura e/ou de redução das suas consequências poderão, em dadas circunstâncias e dentro de certos limites, ser intercambiadas desde que sejam mantidos os necessários níveis de fiabilidade.

### **2.3 Tempo de vida útil de projecto**

(1) O tempo de vida útil de projecto deverá ser especificado.

*NOTA:* No Quadro 2.1 são apresentadas, a título indicativo, categorias do tempo de vida útil de projecto. Os valores indicados no Quadro 2.1 também poderão ser utilizados para determinar o desempenho em função do tempo (por exemplo, cálculos relacionados com a fadiga). Ver também o Anexo A.

*Quadro 2.1 – Valores indicativos do tempo de vida útil de projecto*

<i>Categoria do tempo de vida útil de projecto</i>	<i>Valor indicativo do tempo de vida útil de projecto (anos)</i>	<i>Exemplos</i>
1	10	Estruturas provisórias <sup>1)</sup>
2	10 a 25	Componentes estruturais substituíveis, por exemplo, vigas-carril, apoios
3	15 a 30	Estruturas agrícolas e semelhantes
4	50	Estruturas de edifícios e outras estruturas correntes
5	100	Estruturas de edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil
<sup>1)</sup> As estruturas ou componentes estruturais que podem ser desmontados, tendo em vista a sua reutilização, não deverão ser considerados como provisórios.		

## 2.4 Durabilidade

(1)P A estrutura deve ser projectada de modo a que a sua deterioração, ao longo da vida útil de projecto, não reduza o seu desempenho abaixo do prescrito, tendo em conta o ambiente e o nível de manutenção previsto.

(2) Para obter uma estrutura com adequada durabilidade, deverão ter-se em conta os seguintes aspectos:

- a utilização prevista ou futura da estrutura;
- os critérios requeridos para o projecto;
- as condições ambientais previstas;
- a composição, as propriedades e o desempenho dos materiais e dos produtos;
- as propriedades do solo;
- a escolha do sistema estrutural;
- a forma dos seus elementos e as disposições construtivas;
- a qualidade da execução e o seu nível de controlo;
- as medidas específicas de protecção;
- a manutenção prevista durante o tempo de vida útil de projecto.

**NOTA:** Nas EN 1992 a EN 1999 indicam-se medidas adequadas para reduzir a deterioração.

(3)P As condições ambientais devem ser identificadas na fase de projecto, de modo a estimar a sua importância em relação à durabilidade e permitir que se tomem medidas adequadas para a protecção dos materiais utilizados na estrutura.

(4) O grau de deterioração poderá ser avaliado com base em cálculos, na investigação experimental, na experiência obtida em construções anteriores ou por combinação destes diferentes processos.

## 2.5 Gestão da qualidade

(1) Para obter uma estrutura que corresponda aos requisitos e às hipóteses de cálculo, deverão ser adoptadas adequadas medidas de gestão da qualidade. Estas medidas incluem:

- a definição dos requisitos de fiabilidade;
- procedimentos organizativos;

– controlos nas fases de projecto, de construção, de utilização e de manutenção.

*NOTA:* A EN ISO 9001:2000 constitui uma base aceitável para as medidas de gestão da qualidade.

### **3 Princípios para o dimensionamento em relação aos estados limites**

#### **3.1 Generalidades**

(1)P Deve fazer-se uma distinção entre estados limites últimos e estados limites de utilização.

*NOTA:* Em certos casos, poderão ser necessárias verificações adicionais, como, por exemplo, na garantia da segurança do tráfego.

(2) A verificação explícita em relação a uma das duas categorias de estados limites poderá ser dispensada se houver informação suficiente que prove que é satisfeita pela outra.

(3)P Os estados limites devem ser associados a situações de projecto (ver 3.2).

(4) As situações de projecto deverão ser classificadas como persistentes, transitórias ou acidentais (ver 3.2).

(5) A verificação em relação aos estados limites que dizem respeito aos efeitos dependentes do tempo (por exemplo, a fadiga) deverá ser associada ao tempo de vida útil de projecto da construção.

*NOTA:* A maioria dos efeitos dependentes do tempo são cumulativos.

#### **3.2 Situações de projecto**

(1)P Devem seleccionar-se as situações de projecto relevantes, tendo em conta as circunstâncias nas quais a estrutura deve desempenhar a sua função.

(2)P As situações de projecto devem ser classificadas nas seguintes categorias:

- situações de projecto persistentes, correspondentes a condições normais de utilização;
- situações de projecto transitórias, correspondentes a condições temporárias aplicáveis à estrutura, como, por exemplo, durante a construção ou a reparação;
- situações de projecto acidentais, correspondentes a condições excepcionais aplicáveis à estrutura ou à sua exposição, como, por exemplo, incêndios, explosões, impactos ou consequências de rotura localizada;
- situações de projecto sísmicas, correspondentes a condições aplicáveis à estrutura quando sujeita à acção dos sismos.

*NOTA:* Nas EN 1991 a EN 1999 constam informações específicas referentes a situações de projecto correspondentes a cada uma destas categorias.

(3)P As situações de projecto seleccionadas devem ser suficientemente severas e variadas, de maneira a abrangerem todas as condições que, de forma razoável, sejam susceptíveis de ocorrer durante a execução e a utilização da estrutura.

#### **3.3 Estados limites últimos**

(1)P Devem ser classificados como estados limites últimos os que se referem:

- à segurança das pessoas; e/ou
- à segurança da estrutura.

(2) Em certos casos, os estados limites que dizem respeito à protecção do recheio das construções deverão ser classificados como estados limites últimos.

**NOTA:** *Esses casos serão os que forem acordados, para um determinado projecto, entre o dono de obra e a autoridade competente.*

(3) Os estados que precedem o colapso estrutural e que, por simplificação, são considerados em vez do colapso propriamente dito, poderão ser tratados como estados limites últimos.

(4)P Quando for pertinente, devem ser verificados os seguintes estados limites últimos:

- perda de equilíbrio do conjunto ou de parte da estrutura, considerada como corpo rígido;
- ruína por deformação excessiva, transformação do conjunto ou de parte da estrutura num mecanismo, rotura, perda de estabilidade da estrutura ou de parte da estrutura, incluindo apoios e fundações;
- rotura provocada por fadiga ou por outros efeitos dependentes do tempo.

**NOTA:** *Aos vários estados limites últimos estão associados diferentes conjuntos de coeficientes parciais (ver 6.4.1). A rotura devida a deformação excessiva é considerada como rotura estrutural devida a instabilidade mecânica.*

### **3.4 Estados limites de utilização**

(1)P Devem ser classificados como estados limites de utilização os que se referem:

- ao funcionamento da estrutura ou dos seus elementos estruturais em condições normais de utilização;
- ao conforto das pessoas;
- ao aspecto da construção.

**NOTA 1:** *No contexto de utilização, o termo “aspecto” diz mais respeito a critérios relacionados, por exemplo, com grandes deslocamentos e com fendilhação excessiva, do que com a estética.*

**NOTA 2:** *Normalmente, os requisitos de utilização são acordados para cada projecto particular.*

(2)P Deve fazer-se uma distinção entre estados limites de utilização reversíveis e irreversíveis.

(3) A verificação dos estados limites de utilização deverá basear-se em critérios relacionados com os seguintes aspectos:

a) deformações que afectem:

- o aspecto,
- o conforto dos utentes, ou
- o funcionamento da estrutura (incluindo o funcionamento de máquinas ou de outras instalações),

ou que danifiquem revestimentos ou elementos não estruturais;

b) vibrações:

- que causem desconforto às pessoas, ou
- que limitem a eficiência funcional da estrutura;

c) danos que possam afectar negativamente:

- o aspecto,
- a durabilidade, ou
- o funcionamento da estrutura.

**NOTA:** *Nas EN 1992 a EN 1999 encontram-se outras disposições relacionadas com os critérios de utilização.*

### 3.5 Dimensionamento em relação aos estados limites

(1)P O dimensionamento em relação aos estados limites deve basear-se na utilização de modelos estruturais e de acções adequados aos estados limites a considerar.

(2)P Deve verificar-se que nenhum estado limite é excedido quando se utilizam nesses modelos os valores de cálculo relativos a:

- acções;
- propriedades dos materiais; ou
- propriedades dos produtos; e
- grandezas geométricas.

(3)P As verificações devem ser efectuadas para todas as situações de projecto e casos de carga apropriados.

(4) Os requisitos de 3.5(1)P deverão ser satisfeitos com base no método dos coeficientes parciais, descrito na secção 6.

(5) Em alternativa, poderá ser utilizado um dimensionamento directamente baseado em métodos probabilísticos.

*NOTA 1: A autoridade competente pode indicar condições específicas de utilização.*

*NOTA 2: Para uma base dos métodos probabilísticos, ver o Anexo C.*

(6)P Devem ser consideradas as situações de projecto seleccionadas e identificados os casos de carga críticos.

(7) Para uma determinada verificação deverão ser seleccionados casos de carga, identificando as disposições de carga compatíveis e os conjuntos de deformações e de imperfeições que devam ser considerados simultaneamente com acções variáveis fixas e com acções permanentes.

(8)P Devem ser tomados em consideração eventuais desvios nas direcções ou posições consideradas para as acções.

(9) Os modelos estruturais e de carga podem ser físicos ou matemáticos.

## 4 Variáveis básicas

### 4.1 Acções e influências ambientais

#### 4.1.1 Classificação das acções

(1)P As acções devem ser classificadas, de acordo com a sua variação no tempo, da seguinte forma:

- acções permanentes ( $G$ ), como, por exemplo, o peso próprio das estruturas, dos equipamentos fixos e dos pavimentos rodoviários, e as acções indirectas causadas por retracção e assentamentos diferenciais;
- acções variáveis ( $Q$ ), como, por exemplo, as sobrecargas nos pavimentos, vigas e coberturas dos edifícios, a acção do vento ou a acção da neve;
- acções de acidente ( $A$ ), como, por exemplo, explosões ou choque provocado por veículos.

*NOTA: As acções indirectas causadas por deformações impostas podem ser permanentes ou variáveis.*

(2) Certas acções, como, por exemplo, as acções sísmicas e a acção da neve, poderão ser consideradas acções de acidente e/ou variáveis, dependendo do local da obra (ver a EN 1991 e a EN 1998).

(3) As acções provocadas pela água poderão ser consideradas acções permanentes e/ou variáveis, dependendo da variação da sua intensidade no tempo.

(4)P As acções também devem ser classificadas:

- de acordo com a sua origem, como directas ou indirectas;
- de acordo com a sua variação no espaço, como fixas ou livres;
- de acordo com a sua natureza e/ou com a resposta estrutural, como estáticas ou dinâmicas.

(5) Uma acção deverá ser descrita por um modelo, sendo a sua intensidade representada, nos casos mais correntes, por um escalar que poderá ter vários valores representativos.

**NOTA:** Para algumas acções e algumas verificações, poderá ser necessária uma representação mais complexa das intensidades de algumas acções.

#### 4.1.2 Valores característicos das acções

(1)P O valor característico  $F_k$  de uma acção é o seu valor representativo principal e deve ser especificado:

- como um valor médio, um valor superior ou inferior, ou um valor nominal (que não se refere a uma distribuição estatística conhecida) (ver a EN 1991);
- na documentação do projecto, desde que seja determinado de forma consistente com os métodos indicados na EN 1991.

(2)P O valor característico de uma acção permanente deve ser avaliado do seguinte modo:

- se a variabilidade de  $G$  puder ser considerada pequena, poderá utilizar-se um único valor  $G_k$ ;
- se a variabilidade de  $G$  não puder ser considerada pequena, devem utilizar-se dois valores: um valor superior  $G_{k,sup}$  e um valor inferior  $G_{k,inf}$ .

(3) A variabilidade de  $G$  poderá ser desprezada se  $G$  não variar significativamente durante o tempo de vida útil de projecto da estrutura e o seu coeficiente de variação for pequeno. Neste caso,  $G_k$  deverá ser considerado igual ao valor médio.

**NOTA:** Este coeficiente de variação pode variar entre 0,05 e 0,10, dependendo do tipo de estrutura.

(4) Nos casos em que a estrutura é muito sensível às variações de  $G$  (por exemplo, certos tipos de estruturas de betão pré-esforçado), deverão utilizar-se dois valores, mesmo que o coeficiente de variação seja pequeno:  $G_{k,inf}$ , correspondente ao quantilho de 5 % e  $G_{k,sup}$ , correspondente ao quantilho de 95 % da distribuição estatística de  $G$ , a qual poderá ser admitida como sendo Gaussiana.

(5) O peso próprio da estrutura poderá ser representado por um único valor característico e poderá ser calculado com base nas suas dimensões nominais e nos valores médios das massas volúmicas (ver a EN 1991-1-1).

**NOTA:** Para assentamento de fundações, ver a EN 1997.

(6) O pré-esforço ( $P$ ) deverá ser classificado como uma acção permanente causada por forças controladas e/ou por deformações controladas, impostas a uma estrutura. Quando pertinente, estes tipos de pré-esforço deverão ser distinguidos entre si (por exemplo, pré-esforço por armaduras, pré-esforço por deformação imposta nos apoios).

**NOTA:** Os valores característicos do pré-esforço, num dado instante  $t$ , poderão ser um valor superior  $P_{k,sup}(t)$  e um valor inferior  $P_{k,inf}(t)$ . Para os estados limites últimos, pode ser utilizado um valor médio  $P_m(t)$ . Informações pormenorizadas constam das EN 1992 a EN 1996 e da EN 1999.

(7)P Para as acções variáveis, o valor característico ( $Q_k$ ) deve corresponder a um dos seguintes valores:

- um valor superior, com uma certa probabilidade de não ser excedido, ou um valor inferior, com uma certa probabilidade de ser atingido, durante um determinado período de referência;
- um valor nominal, que poderá ser especificado nos casos em que não seja conhecida a distribuição estatística.

**NOTA 1:** São indicados alguns destes valores nas diversas Partes da EN 1991.

**NOTA 2:** O valor característico das acções climáticas baseia-se na probabilidade de 0,02 de ser excedida a sua parte variável no tempo durante um período de referência de um ano. Tal é equivalente, para a parte variável no tempo, a um período médio de retorno de 50 anos. Porém, em certos casos, a natureza da acção e/ou a situação de projecto pode implicar outro quantilho e/ou período de retorno, mais apropriados.

(8) Para as acções de acidente, o valor de cálculo  $A_d$  deverá ser especificado para cada projecto em particular.

**NOTA:** Ver também a EN 1991-1-7.

(9) Para as acções sísmicas, o valor de cálculo  $A_{Ed}$  deverá ser estabelecido a partir do valor característico  $A_{Ek}$  ou ser especificado para cada projecto.

**NOTA:** Ver também a EN 1998.

(10) Para as acções com várias componentes, o valor característico da acção deverá ser representado por grupos de valores, a considerar separadamente nos cálculos.

#### 4.1.3 Outros valores representativos das acções variáveis

(1)P Outros valores representativos de uma acção variável devem ser os seguintes:

- a) o valor de combinação, representado pelo produto  $\psi_0 Q_k$ , utilizado para a verificação de estados limites últimos e de estados limites de utilização irreversíveis (ver a secção 6 e o Anexo C);
- b) o valor frequente, representado pelo produto  $\psi_1 Q_k$ , utilizado para a verificação de estados limites últimos envolvendo acções de acidente e para a verificação de estados limites de utilização reversíveis;

**NOTA 1:** Para os edifícios, por exemplo, o valor frequente é escolhido de tal forma que só é excedido durante 0,01 do período de referência; para as acções de tráfego rodoviário em pontes, o valor frequente é avaliado para um período de retorno de uma semana.

**NOTA 2:** O valor infrequente, representado pelo produto  $\psi_{1,inf} Q_k$ , é utilizado para a verificação de certos estados limites de utilização, especificamente para tabuleiros ou partes de tabuleiros de pontes de betão. O valor infrequente, definido apenas para as acções de tráfego rodoviário (ver a EN 1991-2), para as acções térmicas (ver a EN 1991-1-5) e para a acção do vento (ver a EN 1991-1-4), baseia-se num período de retorno de um ano.

- c) o valor quase-permanente, representado pelo produto  $\psi_2 Q_k$ , utilizado para a verificação de estados limites últimos envolvendo acções de acidente e para a verificação dos estados limites de utilização reversíveis. Os valores quase-permanentes são também utilizados para o cálculo dos efeitos a longo prazo.

**NOTA:** Para acções nos pavimentos de edifícios, o valor quase-permanente é normalmente escolhido de forma a que seja excedido durante 0,50 do período de referência. Em alternativa, o valor quase-permanente pode ser determinado como o valor médio durante um determinado intervalo de tempo. No caso da acção do vento ou das acções de tráfego rodoviário, o valor quase-permanente é geralmente considerado igual a zero.

#### 4.1.4 Representação das acções de fadiga

(1) Os modelos para as acções de fadiga deverão ser os estabelecidos nas Partes aplicáveis da EN 1991, a partir da avaliação das respostas estruturais às variações das acções, realizada para estruturas correntes (por exemplo, para pontes de vãos simples ou múltiplos, estruturas altas e esbeltas sob a acção do vento).



(2) Para as estruturas fora do campo de aplicação dos modelos estabelecidos nas Partes aplicáveis da EN 1991, as acções de fadiga deverão ser definidas a partir da análise de medições ou em estudos equivalentes dos espectros de acções previstos.

*NOTA:* Para ter em conta efeitos específicos relativos aos vários materiais (por exemplo, a influência das tensões médias ou dos efeitos não lineares), ver as EN 1992 a EN 1999.

#### **4.1.5 Representação das acções dinâmicas**

(1) Os modelos para caracterizar as acções dinâmicas e de fadiga constantes da EN 1991 incluem os efeitos das acelerações causadas pelas acções, quer implicitamente nos próprios valores característicos, quer explicitamente através da aplicação de coeficientes de majoração dinâmica aos valores característicos das acções estáticas.

*NOTA:* Os limites para a utilização destes modelos são indicados nas várias Partes da EN 1991.

(2) Quando as acções dinâmicas causam uma aceleração significativa da estrutura, deverá efectuar-se uma análise dinâmica do sistema (ver 5.1.3(6)).

#### **4.1.6 Acções geotécnicas**

(1)P As acções geotécnicas devem ser consideradas de acordo com o disposto na EN 1997-1.

#### **4.1.7 Influências ambientais**

(1)P As influências ambientais que possam afectar a durabilidade das estruturas devem ser consideradas na escolha dos materiais estruturais, das suas especificações, da concepção estrutural e das disposições construtivas.

*NOTA:* Nas EN 1992 a EN 1999 indicam-se medidas aplicáveis.

(2) Os efeitos das influências ambientais deverão ser tidos em conta e, quando possível, deverão ser descritos quantitativamente.

### **4.2 Propriedades dos materiais e dos produtos**

(1) As propriedades dos materiais (incluindo solos e rochas) ou dos produtos deverão ser representadas por valores característicos (ver 1.5.4.1).

(2) Quando uma verificação do estado limite é sensível à variabilidade de uma propriedade de um material, deverão considerar-se os valores característicos superior e inferior dessa propriedade.

(3) Salvo indicação em contrário nas EN 1991 a EN 1999:

- quando um valor baixo de uma propriedade de um material ou de um produto for desfavorável, o valor característico deverá corresponder ao quantilho de 5 %;
- quando um valor elevado de uma propriedade de um material ou de um produto for desfavorável, o valor característico deverá corresponder ao quantilho de 95 %.

(4)P Os valores das propriedades dos materiais devem ser determinados a partir de ensaios normalizados, realizados em condições específicas. Devem ser aplicados factores de conversão nos casos em que for necessário converter os resultados dos ensaios em valores que possam considerar-se representativos do comportamento do material ou do produto na estrutura ou do terreno.

*NOTA:* Ver o Anexo D e as EN 1992 a EN 1999.

(5) Nos casos em que a informação estatística disponível seja insuficiente para estabelecer os valores característicos de uma propriedade de um material ou de um produto, poderão adoptar-se valores nominais

como característicos, ou poderão fixar-se directamente os valores de cálculo da propriedade em causa. Nos casos em que os valores de cálculo superior ou inferior de uma propriedade de um material ou de um produto sejam estabelecidos directamente (por exemplo, coeficientes de atrito, coeficientes de amortecimento), esses valores deverão ser seleccionados de forma a que valores mais desfavoráveis afectem a probabilidade de ocorrência do estado limite em consideração de modo semelhante à dos restantes valores de cálculo.

(6) Nos casos em que seja necessária uma estimativa superior da resistência (por exemplo, para efeitos de cálculo em termos da capacidade resistente real e para a resistência à tracção do betão no cálculo dos efeitos de acções indirectas), deverá considerar-se um valor característico superior da resistência.

(7) As reduções da resistência do material ou da resistência do produto a considerar resultantes dos efeitos de acções repetidas, estão indicadas nas EN 1992 a EN 1999 e podem conduzir a uma redução da resistência ao longo do tempo devido à fadiga.

(8) Os parâmetros de rigidez estrutural (como, por exemplo, os módulos de elasticidade e os coeficientes de fluência) e os coeficientes de dilatação térmica deverão ser representados por um valor médio. Deverão utilizar-se diferentes valores para ter em conta a duração da acção.

*NOTA: Em certos casos, poderá ser necessário ter em conta um valor inferior ou superior ao valor médio do módulo de elasticidade (por exemplo, no caso de instabilidade).*

(9) Os valores das propriedades dos materiais ou dos produtos constam das EN 1992 a EN 1999 e das especificações técnicas europeias harmonizadas ou de outros documentos aplicáveis. Se esses valores forem obtidos em normas de produtos, sem que haja orientações quanto à sua interpretação nas EN 1992 a EN 1999, deverão ser utilizados os valores mais desfavoráveis.

(10)P Nos casos em que seja necessário um coeficiente parcial para os materiais ou produtos, deve utilizar-se um valor conservativo, a não ser que exista informação estatística adequada para avaliar a fiabilidade do valor escolhido.

*NOTA: Quando apropriado, poderá ser tida em conta a insuficiente experiência na aplicação dos materiais/produtos utilizados.*

### **4.3 Grandezas geométricas**

(1)P As grandezas geométricas devem ser representadas pelos seus valores característicos ou directamente pelos seus valores de cálculo (por exemplo, no caso de imperfeições).

(2) As dimensões especificadas no projecto poderão ser consideradas como valores característicos.

(3) Nos casos em que a sua distribuição estatística é suficientemente conhecida, poderão ser utilizados os valores das grandezas geométricas que correspondem a um determinado quantilho da sua distribuição estatística.

(4) As imperfeições que deverão ser tidas em conta no cálculo dos elementos estruturais constam das EN 1992 a EN 1999.

(5)P Devem ser mutuamente compatíveis as tolerâncias para elementos ligados entre si e constituídos por materiais diferentes.

## **5 Análise estrutural e projecto com apoio experimental**

### **5.1 Análise estrutural**

#### **5.1.1 Modelação estrutural**

- (1)P Os cálculos devem ser efectuados utilizando modelos estruturais apropriados envolvendo as variáveis relevantes.
- (2) Os modelos estruturais seleccionados deverão ser adequados à simulação do comportamento estrutural, com nível de precisão aceitável. Os modelos estruturais deverão também ser adequados aos estados limites considerados.
- (3)P Os modelos estruturais devem basear-se em teorias e práticas de engenharia devidamente comprovadas; se necessário, devem ser verificados experimentalmente.

#### **5.1.2 Acções estáticas**

- (1)P O modelo estrutural a utilizar na determinação dos efeitos das acções estáticas deve basear-se na escolha adequada das relações forças-deformações dos elementos e das suas ligações, e entre os elementos e o terreno de fundação.
- (2)P As condições de fronteira aplicadas ao modelo devem representar as previstas para a estrutura.
- (3)P Os efeitos dos deslocamentos e das deformações devem ser tidos em conta no âmbito das verificações dos estados limites últimos, caso deles resulte um aumento significativo dos efeitos das acções.

*NOTA: Nas EN 1991 a EN 1999 indicam-se métodos específicos para tratar os efeitos das deformações.*

- (4)P As acções indirectas devem ser introduzidas na análise da seguinte forma:

- na análise elástica linear, directamente ou como forças equivalentes (utilizando coeficientes de homogeneização adequados);
- na análise não linear, directamente como deformações impostas.

#### **5.1.3 Acções dinâmicas**

- (1)P O modelo estrutural a utilizar na determinação dos efeitos das acções dinâmicas deve ser estabelecido tendo em conta todos os elementos estruturais relevantes, as respectivas massas, resistências, rigidez e características de amortecimento, e todos os elementos não estruturais relevantes com as respectivas propriedades.
- (2)P As condições de fronteira aplicadas ao modelo devem representar as previstas para a estrutura.
- (3) Quando for apropriado considerar as acções dinâmicas como quase-estáticas, as parcelas dinâmicas poderão ser tidas em conta, quer incluindo-as nos valores estáticos, quer aplicando às acções estáticas coeficientes de amplificação dinâmica equivalentes.

*NOTA: Para certos coeficientes de amplificação dinâmica equivalentes, determinam-se as frequências próprias.*

- (4) No caso de interacção entre o terreno e a estrutura, a contribuição do solo poderá ser modelada por molas e amortecedores equivalentes apropriados.
- (5) Em certos casos (por exemplo, para as vibrações devidas ao vento ou para as acções sísmicas), as acções poderão ser definidas por meio de uma análise modal em regime física e geometricamente linear. Para as estruturas com geometria, rigidez e distribuição de massa regulares, desde que apenas o modo fundamental seja relevante, poderá substituir-se uma análise modal explícita por uma análise com acções estáticas equivalentes.

(6) As acções dinâmicas poderão também ser expressas, em casos apropriados, no domínio do tempo ou no da frequência, sendo a resposta estrutural determinada por métodos adequados.

(7) Nos casos em que as acções dinâmicas causem vibrações de uma intensidade ou frequência susceptíveis de exceder os requisitos de utilização, deverá ser efectuada uma verificação do estado limite de utilização em causa.

*NOTA:* No Anexo A e nas EN 1992 a EN 1999 são fornecidas orientações para avaliar estes limites.

#### **5.1.4 Projecto de resistência ao fogo**

(1) P A análise estrutural para a resistência ao fogo deve basear-se em cenários de incêndio de cálculo (ver a EN 1991-1-2) e deve considerar modelos de evolução da temperatura na estrutura, assim como modelos de comportamento mecânico da estrutura a temperaturas elevadas.

(2) Os critérios de desempenho requeridos à estrutura exposta ao fogo deverão ser verificados por meio de análise global, análise por sub-estruturas ou análise por elementos, e também por utilização de valores tabelados ou de resultados de ensaios.

(3) O comportamento da estrutura exposta ao fogo deverá ser avaliado tendo em conta:

- a exposição ao fogo nominal; ou
- a exposição ao fogo paramétrico;

incluindo as acções acompanhantes.

*NOTA:* Ver também a EN 1991-1-2.

(4) O comportamento estrutural a temperaturas elevadas deverá ser avaliado de acordo com as EN 1992 a EN 1996 e com a EN 1999, que apresentam, para essa análise, modelos térmicos e estruturais.

(5) Nos casos em que seja relevante para o material específico e para o método de avaliação, deverá ter-se em conta que:

- os modelos térmicos poderão basear-se na hipótese de uma temperatura uniforme ou não uniforme ao longo das secções transversais e ao longo dos elementos;
- os modelos estruturais poderão ser limitados a uma análise dos elementos isolados ou poderão considerar a interacção entre os elementos durante a exposição ao fogo.

(6) Os modelos de comportamento mecânico dos elementos estruturais a temperaturas elevadas deverão ser não lineares.

*NOTA:* Ver também as EN 1991 a EN 1999.

#### **5.2 Projecto com apoio experimental**

(1) O projecto poderá basear-se numa combinação de ensaios e de cálculos.

*NOTA:* Os ensaios poderão ser realizados, por exemplo, nas seguintes circunstâncias:

- se não estiverem disponíveis modelos de cálculo adequados;
- se for utilizado um grande número de componentes semelhantes;
- para confirmar, por verificações de controlo, as hipóteses de cálculo.

Ver o Anexo D.

(2) P O projecto apoiado em resultados de ensaios deve assegurar o nível de fiabilidade necessário para a situação de projecto em causa. A incerteza estatística devida a um número limitado de resultados de ensaios deve ser tida em conta.

(3) Deverão utilizar-se coeficientes parciais (incluindo os referentes às incertezas de modelação) comparáveis aos utilizados nas EN 1991 a EN 1999.

## **6 Verificação dos estados limites pelo método dos coeficientes parciais**

### **6.1 Generalidades**

(1)P Quando se utilizar o método dos coeficientes parciais, deve verificar-se, para todas as situações de projecto, que nenhum estado limite é excedido quando se utilizam, nos modelos de cálculo, os valores de cálculo das acções ou dos efeitos das acções e das resistências.

(2) Para as situações de projecto seleccionadas e correspondentes estados limites, as acções relativas aos diferentes casos de carga deverão ser combinadas como especificado nesta secção. No entanto, as acções que, por exemplo, devido a razões físicas, não podem ocorrer simultaneamente, não deverão ser consideradas na mesma combinação.

(3) Os valores de cálculo deverão ser obtidos utilizando:

– o valor característico; ou

– outros valores representativos;

em combinação com os coeficientes parciais e outros coeficientes, como definidos nesta secção e nas EN 1991 a EN 1999.

(4) Pode ser apropriado determinar directamente os valores de cálculo, caso em que deverão, então, ser escolhidos valores conservativos.

(5)P Os valores de cálculo determinados directamente com base estatística devem corresponder, para os diversos estados limites, pelo menos ao mesmo grau de fiabilidade implícito nos coeficientes parciais estabelecidos nesta Norma.

### **6.2 Limitações**

(1) A utilização das Regras de Aplicação indicadas na presente Norma limita-se às verificações dos estados limites últimos e de utilização das estruturas sujeitas a acções estáticas, incluindo os casos em que os efeitos dinâmicos são avaliados a partir de acções quase-estáticas equivalentes e de coeficientes de amplificação dinâmica, por exemplo, no caso das acções do vento ou do tráfego. Para a análise não linear e para a fadiga deverão aplicar-se as regras específicas indicadas em diversas Partes das EN 1991 a EN 1999.

### **6.3 Valores de cálculo**

#### **6.3.1 Valores de cálculo das acções**

(1) O valor de cálculo  $F_d$  de uma acção  $F$  pode ser expresso, em geral, da seguinte forma:

$$F_d = \gamma_f F_{rep} \quad (6.1a)$$

com:

$$F_{rep} = \psi F_k \quad (6.1b)$$

em que:

$F_k$  valor característico da acção;

$F_{rep}$  valor representativo da acção;

$\gamma_f$  coeficiente parcial relativo à acção, que tem em atenção a possibilidade de desvios desfavoráveis do valor da acção em relação aos seus valores representativos;

$\psi$  coeficiente igual a 1,00 ou  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  ou  $\psi_2$ .

(2) Para as acções sísmicas, o valor de cálculo  $A_{Ed}$  deverá ser determinado tendo em conta o comportamento estrutural e outros critérios aplicáveis descritos em pormenor na EN 1998.

### 6.3.2 Valores de cálculo dos efeitos das acções

(1) Para um determinado caso de carga, os valores de cálculo dos efeitos das acções ( $E_d$ ) podem ser expressos, em geral, da seguinte forma:

$$E_d = \gamma_{Sd} E \{ \gamma_{f,i} F_{rep,i} ; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (6.2)$$

em que:

$a_d$  valor de cálculo das grandezas geométricas (ver 6.3.4);

$\gamma_{Sd}$  coeficiente parcial que tem em conta as incertezas:

- na modelação dos efeitos das acções;
- em certos casos, na modelação das próprias acções.

**NOTA:** Num caso mais geral, os efeitos das acções dependem das propriedades dos materiais.

(2) Na maioria dos casos, pode ser feita a seguinte simplificação:

$$E_d = E \{ \gamma_{F,i} F_{rep,i} ; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (6.2a)$$

com:

$$\gamma_{F,i} = \gamma_{Sd} \times \gamma_{f,i} \quad (6.2b)$$

**NOTA:** Quando for apropriado, por exemplo, nos casos em que intervêm acções geotécnicas, podem aplicar-se coeficientes parciais  $\gamma_{F,i}$  aos efeitos das acções consideradas separadas ou pode aplicar-se, globalmente, apenas um determinado coeficiente  $\gamma_F$  ao efeito da combinação de acções com coeficientes parciais adequados.

(3) P Nos casos em que tenha de ser feita uma distinção entre efeitos favoráveis e desfavoráveis das acções permanentes, devem utilizar-se dois coeficientes parciais diferentes ( $\gamma_{G,inf}$  e  $\gamma_{G,sup}$ ).

(4) Para a análise não linear (isto é, quando a relação entre as acções e os respectivos efeitos não é linear), poderão considerar-se, no caso de uma única acção predominante, as seguintes regras simplificadas:

- a) quando a taxa de variação do efeito da acção é maior do que a correspondente taxa de variação da acção, o coeficiente parcial  $\gamma_F$  deverá ser aplicado ao valor representativo da acção;
- b) quando a taxa de variação do efeito da acção é menor do que a correspondente taxa de variação da acção, o coeficiente parcial  $\gamma_F$  deverá ser aplicado ao efeito do valor representativo da acção.

**NOTA:** Com excepção das estruturas de cabo e de membrana, a maioria das estruturas ou dos elementos estruturais pertence à categoria a).

(5) Nos casos em que sejam descritos métodos mais rigorosos nas EN 1991 a EN 1999 (por exemplo, para as estruturas pré-esforçadas), esses métodos deverão ser utilizados em vez do método indicado em 6.3.2(4).

### 6.3.3 Valores de cálculo das propriedades dos materiais ou dos produtos

(1) O valor de cálculo  $X_d$  da propriedade de um material ou de um produto pode ser expresso, em geral, da seguinte forma:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (6.3)$$

em que:

$X_k$  valor característico da propriedade do material ou do produto (ver 4.2(3)) ;

$\eta$  valor médio do factor de conversão que tem em conta:

- os efeitos de volume e de escala;
- os efeitos da humidade e da temperatura;
- quaisquer outros parâmetros relevantes;

$\gamma_m$  coeficiente parcial relativo à propriedade do material ou do produto que tem em conta:

- a possibilidade de um desvio desfavorável da propriedade do material ou do produto em relação ao correspondente valor característico;
- a parcela aleatória do factor de conversão  $\eta$ .

(2) Em alternativa, nos casos apropriados, o factor de conversão  $\eta$  poderá ser:

- implicitamente considerado no próprio valor característico; ou
- utilizando  $\gamma_M$  em vez de  $\gamma_m$  (ver a expressão (6.6b)).

**NOTA:** O valor de cálculo pode ser estabelecido por diferentes meios, nomeadamente a partir de:

- relações empíricas com propriedades físicas medidas; ou
- composição química; ou
- experiência anterior; ou
- valores indicados em normas europeias ou noutros documentos adequados.

### 6.3.4 Valores de cálculo das grandezas geométricas

(1) Os valores de cálculo das grandezas geométricas como, por exemplo, as dimensões dos elementos que são utilizadas para avaliar os efeitos das acções e/ou as resistências, poderão ser representados por valores nominais:

$$a_d = a_{nom} \quad (6.4)$$

(2)P Nos casos em que os efeitos dos desvios das grandezas geométricas (como, por exemplo, imprecisão na posição de cargas ou na localização dos apoios) são significativos para a fiabilidade da estrutura (por exemplo, devido a efeitos de segunda ordem), os valores de cálculo das grandezas geométricas devem ser definidos por:

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a \quad (6.5)$$

em que:

$\Delta a$  tem em conta:

- a possibilidade de desvios desfavoráveis em relação aos valores característicos ou nominais;
- o efeito cumulativo de uma ocorrência simultânea de vários desvios geométricos.

**NOTA 1:**  $a_d$  pode também representar as imperfeições geométricas em que  $a_{nom} = 0$  (ou seja,  $\Delta a \neq 0$ ).

**NOTA 2:** Em certos casos, as EN 1991 a EN 1999 fornecem outras indicações.

(3) Os efeitos de outros desvios deverão ser cobertos por coeficientes parciais:

– relativos às acções ( $\gamma_F$ ); e/ou

– relativos às resistências ( $\gamma_M$ ).

**NOTA:** As tolerâncias estão definidas nas normas sobre execução referidas nas EN 1990 a EN 1999.

### 6.3.5 Valor de cálculo da resistência

(1) O valor de cálculo da resistência  $R_d$  pode ser expresso da seguinte forma:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{X_{d,i}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d\right\} \quad i \geq 1 \quad (6.6)$$

em que:

$\gamma_{Rd}$  coeficiente parcial que abrange a incerteza do modelo de resistência e também os desvios geométricos no caso de estes não serem explicitamente modelados (ver 6.3.4(2));

$X_{d,i}$  valor de cálculo da propriedade do material  $i$ .

(2) Poderá ser aplicada a seguinte simplificação da expressão (6.6):

$$R_d = R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_d\right\} \quad i \geq 1 \quad (6.6a)$$

em que:

$$\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \times \gamma_{m,i} \quad (6.6b)$$

**NOTA:**  $\eta_i$  poderá ser incluído em  $\gamma_{M,i}$  (ver 6.3.3(2)).

(3) Em alternativa à expressão (6.6a), o valor de cálculo da resistência poderá ser obtido directamente do valor característico da resistência de um material ou de um produto, sem determinação explícita dos valores de cálculo das variáveis básicas individuais, pela seguinte expressão:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (6.6c)$$

**NOTA:** Esta alternativa aplica-se a produtos ou elementos constituídos por um único material (como, por exemplo, aço) e, também, em ligação com o Anexo D “Projecto com apoio experimental”.

(4) Em alternativa às expressões (6.6a) e (6.6c) para as estruturas ou elementos estruturais que são analisados por métodos não lineares e que incluem mais de um material actuando em conjunto ou nos casos em que as propriedades do terreno afectam o valor de cálculo da resistência, pode utilizar-se a seguinte expressão para o valor de cálculo da resistência:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{M,1}} R\left\{\eta_1 X_{k,1}; \eta_i X_{k,i(i>1)} \frac{\gamma_{m,1}}{\gamma_{m,i}}; a_d\right\} \quad (6.6d)$$

**NOTA:** Em certos casos, o valor de cálculo da resistência pode ser obtido aplicando directamente coeficientes parciais  $\gamma_M$  às resistências individuais relativas às propriedades dos materiais.



## 6.4 Estados limites últimos

### 6.4.1 Generalidades

(1)P Devem ser verificados, quando pertinente, os seguintes estados limites últimos:

- a) EQU: perda de equilíbrio estático do conjunto ou de parte da estrutura considerada como corpo rígido, em que:
  - sejam significativas pequenas variações no valor ou na distribuição espacial das acções com uma mesma origem; e
  - não sejam, em geral, condicionantes as resistências dos materiais de construção ou do terreno;
- b) STR: rotura ou deformação excessiva da estrutura ou dos elementos estruturais, incluindo sapatas, estacas, muros de caves, etc., em que a resistência dos materiais da estrutura é condicionante;
- c) GEO: rotura ou deformação excessiva do terreno em que as características resistentes do solo ou da rocha são significativas para a resistência da estrutura;
- d) FAT: rotura por fadiga da estrutura ou dos elementos estruturais.

**NOTA:** Para o cálculo da fadiga, as combinações de acções estão indicadas nas EN 1992 a EN 1999.

(2)P Os valores de cálculo das acções devem estar de acordo com o estipulado no Anexo A.

### 6.4.2 Verificações do equilíbrio estático e da resistência

(1)P Quando se considera um estado limite de equilíbrio estático da estrutura (EQU), deve verificar-se que:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb} \quad (6.7)$$

em que:

$E_{d,dst}$  valor de cálculo do efeito das acções não estabilizantes;

$E_{d,stb}$  valor de cálculo do efeito das acções estabilizantes.

(2) Em alguns casos, as condições relativas ao estado limite de equilíbrio estático poderão incluir termos adicionais, como, por exemplo, um coeficiente de atrito entre corpos rígidos.

(3)P Quando se considera um estado limite de rotura ou de deformação excessiva de uma secção, de um elemento ou de uma ligação (STR e/ou GEO), deve verificar-se que:

$$E_d \leq R_d \quad (6.8)$$

em que:

$E_d$  valor de cálculo do efeito das acções, tal como um esforço ou um vector representando vários esforços;

$R_d$  valor de cálculo da resistência correspondente.

**NOTA 1:** No Anexo A são fornecidas informações mais pormenorizadas relativas às verificações STR e GEO.

**NOTA 2:** A expressão (6.8) não cobre todos os modelos de verificação da encurvadura, ou seja, o colapso que ocorre nos casos em que os efeitos de segunda ordem não podem ser limitados pela resposta estrutural, ou por uma resposta estrutural aceitável (ver as EN 1992 a EN 1999).

### 6.4.3 Combinação de acções (excluindo as relativas a fadiga)

#### 6.4.3.1 Generalidades

(1)P Para cada caso de carga, os valores de cálculo dos efeitos das acções ( $E_d$ ) devem ser determinados combinando os valores das acções que se consideram poder ocorrer simultaneamente.

(2) Cada combinação de acções deverá incluir:

- uma acção variável de base da combinação; ou
- uma acção de acidente.

(3) As combinações de acções deverão estar de acordo com o disposto em 6.4.3.2 a 6.4.3.4.

(4)P Quando os resultados de uma verificação dependerem, de forma muito sensível, das variações da intensidade de uma acção permanente de zona para zona da estrutura, as componentes desfavoráveis e favoráveis dessa acção devem ser consideradas como acções individualizadas.

**NOTA:** Isto aplica-se, em particular, à verificação do equilíbrio estático e dos estados limites análogos (ver 6.4.2(2)).

(5) Nos casos em que vários efeitos de uma acção (como, por exemplo, o momento flector e o esforço normal devidos ao peso próprio) não estiverem totalmente correlacionados, poderá ser reduzido o coeficiente parcial aplicado a qualquer componente favorável.

**NOTA:** Para mais orientações sobre este assunto, ver as secções relativas a efeitos vectoriais nas EN 1992 a EN 1999.

(6) Sempre que relevante, deverão ser tidas em conta as deformações impostas.

**NOTA:** Para mais orientações, ver 5.1.2.4(P) e as EN 1992 a EN 1999.

#### 6.4.3.2 Combinações de acções para situações de projecto persistentes ou transitórias (combinações fundamentais)

(1) O formato geral dos efeitos das acções deverá ser:

$$E_d = \gamma_{sd} E \{ \gamma_{g,j} G_{k,j} ; \gamma_p P ; \gamma_{q,1} Q_{k,1} ; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i > 1 \quad (6.9a)$$

(2) As combinações dos efeitos das acções a considerar deverão basear-se:

- no valor de cálculo da acção variável de base da combinação; e
- nos valores de cálculo correspondentes aos valores de combinação das acções variáveis acompanhantes.

Ter-se-á então:

$$E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j} ; \gamma_p P ; \gamma_{Q,1} Q_{k,1} ; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i > 1 \quad (6.9b)$$

**NOTA:** Ver também 6.4.3.2(4).

(3) A combinação de acções entre chavetas { }, em (6.9b), poderá ser expressa como:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

ou, em alternativa para os estados limites STR e GEO, a menos favorável das duas expressões seguintes:

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (6.10a)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (6.10b)$$

em que:

"+" significa “a combinar com”;

$\Sigma$  significa “o efeito combinado de”;

$\xi$  coeficiente de redução para as acções permanentes desfavoráveis  $G$ .

**NOTA:** No Anexo A são fornecidas mais informações para esta escolha.

(4) Se a relação entre as acções e os respectivos efeitos não for linear, as expressões (6.9a) ou (6.9b) deverão ser aplicadas directamente, tendo em conta o aumento relativo dos efeitos das acções face ao aumento da intensidade das acções (ver também 6.3.2(4)).

#### 6.4.3.3 Combinações de acções para situações de projecto acidentais

(1) O formato geral dos efeitos das acções deverá ser:

$$E_d = E\{G_{k,j} ; P ; A_d ; (\psi_{1,1} \text{ ou } \psi_{2,1}) Q_{k,1} ; \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1 ; i > 1 \quad (6.11a)$$

(2) A combinação de acções entre chavetas { } pode ser expressa como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" A_d "+" (\psi_{1,1} \text{ ou } \psi_{2,1}) Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.11b)$$

(3) A escolha entre  $\psi_{1,1} Q_{k,1}$  ou  $\psi_{2,1} Q_{k,1}$  deverá ter em conta a situação de projecto acidental considerada (impacto, incêndio ou sobrevivência após uma situação de acidente).

**NOTA:** Nas Partes pertinentes das EN 1991 a EN 1999 são fornecidas orientações sobre esta matéria.

(4) As combinações de acções para situações de projecto acidentais deverão:

– envolver uma acção de acidente explícita  $A$  (incêndio ou impacto); ou

– referir-se a uma situação após a ocorrência de um acidente ( $A = 0$ ).

Para as situações de incêndio, para além do efeito da temperatura nas propriedades dos materiais,  $A_d$  deverá representar o valor de cálculo da acção térmica indirecta devido ao fogo.

#### 6.4.3.4 Combinações de acções para situações de projecto sísmicas

(1) O formato geral dos efeitos das acções deverá ser:

$$E_d = E\{G_{k,j} ; P ; A_{Ed} ; \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1 ; i \geq 1 \quad (6.12a)$$

(2) A combinação de acções entre chavetas { } pode ser expressa como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" A_{Ed} "+" \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.12b)$$

#### 6.4.4 Coeficientes parciais relativos às acções e às combinações de acções

(1) Os valores dos coeficientes  $\gamma$  e  $\psi$  das acções deverão ser os indicados na EN 1991 e no Anexo A.

### 6.4.5 Coeficientes parciais relativos aos materiais e aos produtos

(1) Os coeficientes parciais relativos às propriedades dos materiais e dos produtos deverão ser obtidos das EN 1992 a EN 1999.

## 6.5 Estados limites de utilização

### 6.5.1 Verificações

(1) Deve verificar-se que:

$$E_d \leq C_d \quad (6.13)$$

em que:

$C_d$  valor de cálculo correspondente ao valor limite do critério de utilização;

$E_d$  valor de cálculo dos efeitos das acções especificadas no critério de utilização, determinado com base na combinação em causa.

### 6.5.2 Critérios de utilização

(1) As deformações a ter em conta no que respeita a requisitos de utilização, deverão ser as indicadas em pormenor no Anexo A relativo ao tipo de construção, ou as acordadas com o dono de obra ou com a autoridade competente.

**NOTA:** Para outros critérios de utilização específicos, como, por exemplo, a largura de fendas, a limitação de tensões ou de extensões e a resistência ao escorregamento, ver as EN 1991 a EN 1999.

### 6.5.3 Combinação de acções

(1) As combinações de acções a ter em conta nas situações de projecto consideradas deverão ser adequadas aos requisitos de utilização e aos critérios de desempenho a verificar.

(2) As expressões seguintes definem, simbolicamente, as combinações de acções para os estados limites de utilização (ver também 6.5.4):

**NOTA:** Admite-se, nestas expressões, que todos os coeficientes parciais são iguais a 1 (ver o Anexo A e as EN 1991 a EN 1999).

a) Combinação característica:

$$E_d = E \{ G_{k,j} ; P ; Q_{k,1} ; \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i > 1 \quad (6.14a)$$

na qual a combinação de acções entre chavetas { } (designada por combinação característica) pode ser expressa por:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

**NOTA:** A combinação característica é normalmente utilizada para os estados limites irreversíveis.

b) Combinação frequente:

$$E_d = E \{ G_{k,j} ; P ; \psi_{1,1} Q_{k,1} ; \psi_{2,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i > 1 \quad (6.15a)$$

na qual a combinação de acções entre chavetas { } (designada por combinação frequente) pode ser expressa por:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,i} Q_{k,i} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

**NOTA:** A combinação frequente é normalmente utilizada para os estados limites reversíveis.

c) Combinação quase-permanente:

$$E_d = E \{ G_{k,j} ; P ; \psi_{2,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i \geq 1 \quad (6.16a)$$

na qual a combinação de acções entre chavetas { } (designada por combinação quase-permanente) pode ser expressa por:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

em que as notações são as definidas em 1.6 e 6.4.3(1).

**NOTA:** A combinação quase-permanente é normalmente utilizada para os efeitos a longo prazo e para o aspecto da estrutura.

(3) Para o valor representativo da acção de pré-esforço (isto é,  $P_k$  ou  $P_m$ ), deverá ser feita referência ao Eurocódigo aplicável ao tipo de pré-esforço em consideração.

(4) Os efeitos das acções devidas a deformações impostas devem ser considerados nos casos pertinentes.

**NOTA:** Em certos casos, as expressões (6.14) a (6.16) requerem modificação, sendo apresentadas, para esse efeito, regras pormenorizadas nas Partes aplicáveis das EN 1991 a EN 1999.

#### 6.5.4 Coeficientes parciais relativos aos materiais

(1) Para os estados limites de utilização, os coeficientes parciais  $\gamma_M$  relativos às propriedades dos materiais deverão ser considerados iguais a 1,0, salvo indicação em contrário nas EN 1992 a EN 1999.

## Anexo A1

(normativo)

### Aplicação a edifícios

#### A1.1 Campo de aplicação

(1) O presente Anexo A1 indica regras e métodos para definir as combinações de acções para edifícios. Indica também os valores de cálculo recomendados para as acções permanentes, variáveis e de acidente e para os coeficientes  $\psi$  a utilizar no projecto de edifícios.

**NOTA:** No Anexo Nacional poderão ser fornecidas orientações quanto à utilização do Quadro 2.1 (valores indicativos do tempo de vida útil de projecto).

#### A1.2 Combinações de acções

##### A1.2.1 Generalidades

(1) Os efeitos das acções que, por motivos físicos ou funcionais, não podem actuar simultaneamente, não deverão ser considerados em conjunto nas combinações de acções.

**NOTA 1:** Dependendo das suas utilizações e da forma e da localização de um edifício, as combinações de acções poderão basear-se em não mais que duas acções variáveis.

**NOTA 2:** Nos casos em que, por razões de natureza geográfica, sejam necessárias modificações de A1.2.1(2) e A1.2.1(3), elas podem ser definidas no Anexo Nacional.

(2) As combinações de acções indicadas nas expressões (6.9a) a (6.12b) deverão ser utilizadas para verificação dos estados limites últimos.

(3) As combinações de acções indicadas nas expressões (6.14a) a (6.16b) deverão ser utilizadas para verificação dos estados limites de utilização.

(4) As combinações de acções que incluem forças de pré-esforço deverão ser consideradas como se indica nas EN 1992 a EN 1999.

##### A1.2.2 Valores dos coeficientes $\psi$

(1) Os valores dos coeficientes  $\psi$  deverão ser especificados.

**NOTA:** Os valores recomendados para os coeficientes  $\psi$  relativos às acções mais usuais poderão ser os indicados no Quadro A1.1.

Quadro A1.1 – Valores recomendados para os coeficientes  $\psi$  para edifícios

Acção	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecargas em edifícios (ver a EN 1991-1-1)			
Categoria A: zonas de habitação	0,7	0,5	0,3
Categoria B: zonas de escritórios	0,7	0,5	0,3
Categoria C: zonas de reunião de pessoas	0,7	0,7	0,6
Categoria D: zonas comerciais	0,7	0,7	0,6
Categoria E: zonas de armazenamento	1,0	0,9	0,8
Categoria F: zonas de tráfego, peso dos veículos $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Categoria G: zonas de tráfego, $30$ kN $<$ peso dos veículos $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coberturas	0	0	0
Acção da neve em edifícios (ver a EN 1991-1-3) <sup>*)</sup>			
– Finlândia, Islândia, Noruega, Suécia	0,70	0,50	0,20
– Restantes Estados-Membros do CEN, para obras localizadas à altitude $H > 1000$ m acima do nível do mar	0,70	0,50	0,20
– Restantes Estados-Membros do CEN, para obras localizadas à altitude $H \leq 1000$ m acima do nível do mar	0,50	0,20	0
Acção do vento em edifícios (ver a EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (excepto incêndio) em edifícios (ver a EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
<b>NOTA:</b> Os valores de $\psi$ poderão ser definidos no Anexo Nacional. <sup>*)</sup> Para os países não mencionados, considerar as condições locais relevantes.			

## A1.3 Estados limites últimos

### A1.3.1 Valores de cálculo das acções em situações de projecto persistentes e transitórias

(1) Os valores de cálculo das acções para os estados limites últimos, nas situações de projecto persistentes e transitórias (expressões 6.9a a 6.10b), deverão estar de acordo com os Quadros A1.2(A) a A1.2(C).

**NOTA:** Os valores indicados nos Quadros A1.2 ((A) a (C)) podem ser alterados no Anexo Nacional, por exemplo, para níveis de fiabilidade diferentes (ver a secção 2 e o Anexo B).

(2) Na aplicação dos Quadros A1.2(A) a A1.2(C), nos casos em que o estado limite é muito sensível a variações da grandeza das acções permanentes, os valores característicos superior e inferior das acções deverão ser tomados de acordo com 4.1.2(2)P.

(3) O equilíbrio estático (EQU, ver 6.4.1) das estruturas de edifícios deverá ser verificado utilizando os valores de cálculo das acções indicados no Quadro A1.2(A).

(4) O projecto dos elementos estruturais (STR, ver 6.4.1) que não envolva acções geotécnicas deverá ser verificado utilizando os valores de cálculo das acções indicados no Quadro A1.2(B).

(5) O projecto dos elementos estruturais (sapatas, estacas, muros de caves, etc.) (STR) que envolva acções geotécnicas e a resistência do terreno (GEO, ver 6.4.1) deverão ser verificados utilizando uma das três abordagens seguintes, complementadas, para aquelas acções e resistências, pela EN 1997:

– Abordagem 1: aplicação, em cálculos separados, dos valores de cálculo do Quadro A1.2(C) e do Quadro A1.2(B) às acções geotécnicas, assim como às outras acções sobre a estrutura ou dela provenientes. Nos casos correntes, o dimensionamento das fundações é determinado pelo Quadro A1.2(C) e a resistência estrutural é determinada pelo Quadro A1.2(B);

*NOTA:* Em certos casos, a aplicação destes quadros é mais complexa (ver a EN 1997).

– Abordagem 2: aplicação dos valores de cálculo do Quadro A1.2(B) às acções geotécnicas, assim como às outras acções sobre a estrutura ou dela provenientes;

– Abordagem 3: aplicação dos valores de cálculo do Quadro A1.2(C) às acções geotécnicas, simultaneamente com a aplicação dos coeficientes parciais do Quadro A1.2(B) às outras acções sobre a estrutura ou dela provenientes.

*NOTA:* A escolha entre as abordagens 1, 2 ou 3 é estabelecida no Anexo Nacional.

(6) A estabilidade global das estruturas de edifícios (por exemplo, a estabilidade de um talude onde esteja implantado um edifício) deverá ser verificada de acordo com a EN 1997.

(7) As roturas por acções de natureza hidráulica incluindo subpressões (por exemplo, na base de uma escavação para a estrutura de um edifício) deverão ser verificadas de acordo com a EN 1997.



Quadro A1.2(A) – Valores de cálculo das acções (EQU) (Conjunto A)

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Acção variável de base da combinação <sup>*)</sup>	Acções variáveis acompanhantes	
	Desfavoráveis	Favoráveis		Principais (caso existam)	Outras
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
<p><sup>*)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.</p> <p><b>NOTA 1:</b> Os valores de <math>\gamma</math> poderão ser definidos no Anexo Nacional. O conjunto de valores recomendados para <math>\gamma</math> é:</p> <p><math>\gamma_{Gj,sup} = 1,10</math>  <math>\gamma_{Gj,inf} = 0,90</math>  <math>\gamma_{Q,1} = 1,50</math> nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)  <math>\gamma_{Q,i} = 1,50</math> nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)</p> <p><b>NOTA 2:</b> Nos casos em que a verificação do equilíbrio estático também envolva a resistência dos elementos estruturais, como alternativa às duas verificações separadas baseadas nos Quadros A1.2(A) e A1.2(B) poderá ser adoptada uma verificação combinada, caso o Anexo Nacional o permita, baseada no Quadro A1.2(A) e com o seguinte conjunto de valores recomendados, que poderão ser alterados nesse Anexo:</p> <p><math>\gamma_{Gj,sup} = 1,35</math>  <math>\gamma_{Gj,inf} = 1,15</math>  <math>\gamma_{Q,1} = 1,50</math> nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)  <math>\gamma_{Q,i} = 1,50</math> nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)</p> <p>desde que a aplicação de <math>\gamma_{Gj,inf} = 1,00</math>, tanto às parcelas favoráveis como desfavoráveis das acções permanentes, não produza um efeito mais desfavorável.</p>					

Quadro A1.2(B) – Valores de cálculo das acções (STR/GEO) (Conjunto B)

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Acção variável de base da combinação <sup>*)</sup>	Acções variáveis acompanhantes <sup>*)</sup>	
	Desfavoráveis	Favoráveis		Principais (caso existam)	Outras
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Expressão 6.10a)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Expressão 6.10b)	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

<sup>\*)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.

**NOTA 1:** A escolha entre (6.10), ou (6.10a) e (6.10b), será feita no Anexo Nacional. No caso de (6.10a) e (6.10b), o Anexo Nacional poderá ainda modificar (6.10a) de forma a incluir apenas acções permanentes.

**NOTA 2:** Os valores de  $\gamma$  e de  $\xi$  poderão ser definidos no Anexo Nacional. Recomendam-se os seguintes valores para  $\gamma$  e  $\xi$  quando se utilizam as expressões (6.10), ou (6.10a) e (6.10b):

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)}$$

$$\xi = 0,85 \text{ (de modo que } \xi \gamma_{Gj,sup} = 0,85 \times 1,35 \approx 1,15 \text{)}.$$

Ver também as EN 1991 a EN 1999 relativamente aos valores de  $\gamma$  a utilizar para as deformações impostas.

**NOTA 3:** Os valores característicos de todas as acções permanentes com a mesma origem são multiplicados por  $\gamma_{G,sup}$ , caso o efeito total das acções resultante seja desfavorável, e por  $\gamma_{G,inf}$ , caso o efeito total das acções resultante seja favorável. Por exemplo, todas as acções devidas ao peso próprio da estrutura poderão ser consideradas como sendo da mesma origem; tal também se aplica se estiverem envolvidos diferentes materiais.

**NOTA 4:** Para determinadas verificações, os valores de  $\gamma_G$  e de  $\gamma_Q$  poderão ser subdivididos em  $\gamma_g$  e  $\gamma_q$  e no coeficiente de incerteza do modelo  $\gamma_{sd}$ . Na maioria dos casos correntes, pode utilizar-se um valor de  $\gamma_{sd}$  variando entre 1,05 e 1,15, o qual pode ser modificado no Anexo Nacional.

Quadro A1.2(C) – Valores de cálculo das acções (STR/GEO) (Conjunto C)

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Acção variável de base da combinação <sup>*)</sup>	Acções variáveis acompanhantes <sup>*)</sup>	
	Desfavoráveis	Favoráveis		Principais (caso existam)	Outras
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

<sup>\*)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.

**NOTA:** Os valores de  $\gamma$  poderão ser definidos no Anexo Nacional. O conjunto de valores recomendados para  $\gamma$  é:

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,00$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,30 \text{ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,30 \text{ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)}$$

### A1.3.2 Valores de cálculo das acções em situações de projecto acidentais e sísmicas

(1) Os coeficientes parciais das acções para os estados limites últimos nas situações de projecto acidentais e sísmicas (expressões 6.11a a 6.12b) deverão ser iguais a 1,0. Os valores de  $\psi$  estão indicados no Quadro A1.1.

**NOTA:** Para a situação de projecto sísmica, ver também a EN 1998.

Quadro A1.3 – Valores de cálculo das acções a utilizar nas situações de projecto acidentais e sísmicas

Situações de projecto	Acções permanentes		Acções de acidente ou sísmicas de base da combinação	Acções variáveis acompanhantes <sup>**)</sup>	
	Desfavoráveis	Favoráveis		Principais (caso existam)	Outras
Acidentais <sup>*)</sup> (Expressões 6.11a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$A_d$	$\psi_{1,1}$ ou $\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Sísmicas (Expressões 6.12a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\gamma A_{Ek}$ ou $A_{Ed}$		$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
<sup>*)</sup> No caso de situações de projecto acidentais, a acção variável principal poderá ser tomada com o seu valor frequente ou, como no caso das combinações de acções em situações sísmicas, com os seu valor quase-permanente. A escolha será feita no Anexo Nacional, dependendo da acção de acidente em consideração. Ver também a EN 1991-1-2. <sup>**)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.					

## A1.4 Estados limites de utilização

### A1.4.1 Coeficientes parciais relativos às acções

(1) Para os estados limites de utilização, os coeficientes parciais relativos às acções deverão ser tomados iguais a 1,0, salvo indicação em contrário nas EN 1991 a EN 1999.

Quadro A1.4 – Valores de cálculo das acções a utilizar na combinação de acções

Combinação	Acções permanentes $G_d$		Acções variáveis $Q_d$	
	Desfavoráveis	Favoráveis	De base da combinação	Outras
Característica	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Frequente	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Quase-permanente	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

### A1.4.2 Critérios de utilização

(1) Os estados limites de utilização nos edifícios deverão ter em conta critérios relacionados, por exemplo, com a rigidez dos pavimentos, a diferença de nível entre pisos, o deslocamento lateral dos pisos e/ou o deslocamento lateral do edifício e a rigidez da cobertura. Os critérios de rigidez poderão ser expressos em termos de valores limites dos deslocamentos verticais e das vibrações. Os critérios de deslocamento lateral poderão ser expressos em termos de valores limites dos deslocamentos horizontais.

(2) Os critérios de utilização deverão ser especificados para cada projecto e acordados com o dono de obra.

*NOTA:* Os critérios de utilização poderão ser definidos no Anexo Nacional.

(3)P Os critérios de utilização relativos às deformações e às vibrações devem ser definidos:

- em função da utilização prevista;
- de acordo com os requisitos de utilização indicados em 3.4;
- independentemente dos materiais constituintes do elemento estrutural de suporte.

#### A1.4.3 Deformações e deslocamentos horizontais

(1) As deformações verticais e horizontais deverão ser calculadas de acordo com as EN 1992 a EN 1999, utilizando as combinações de acções apropriadas, de acordo com as expressões (6.14a) a (6.16b), e tendo em conta os requisitos de utilização indicados em 3.4(1). Deverá ser dada especial atenção na distinção entre estados limites reversíveis e irreversíveis.

(2) Os deslocamentos verticais estão representados esquematicamente na Figura A1.1.

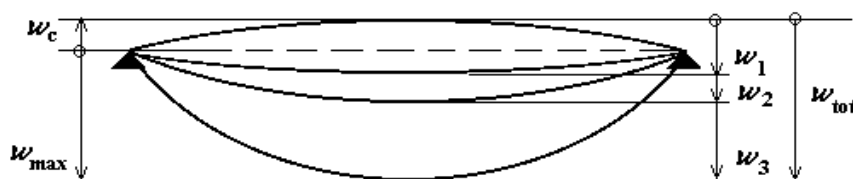


Figura A1.1 – Definição dos deslocamentos verticais

em que:

$w_c$	contraflecha no elemento estrutural não carregado;
$w_1$	parcela inicial do deslocamento devida às cargas permanentes da combinação de acções relevante, de acordo com as expressões (6.14a) a (6.16b);
$w_2$	parcela de longo prazo do deslocamento devida às cargas permanentes;
$w_3$	parcela adicional do deslocamento devida às acções variáveis da combinação de acções relevante de acordo com as expressões (6.14a) a (6.16b);
$w_{tot}$	deslocamento total (soma de $w_1$ , $w_2$ , $w_3$ );
$w_{max}$	deslocamento total deduzido da contraflecha.

(3) Se estiverem a ser considerados o funcionamento da estrutura ou os danos nessa estrutura, ou nos acabamentos ou nos elementos não estruturais (por exemplo, divisórias, revestimentos), a verificação do deslocamento deverá ter em conta os efeitos das acções, permanentes e variáveis, que ocorrem após a execução do elemento ou do acabamento em questão.

*NOTA:* Em 6.5.3 e nas EN 1992 a EN 1999 são fornecidas orientações quanto à utilização das expressões (6.14a) a (6.16b).

(4) Se o aspecto da estrutura estiver a ser verificado, deverá utilizar-se a combinação quase-permanente (expressão 6.16b).

(5) Se estiver a ser verificado o conforto dos utentes, ou o funcionamento de máquinas, a análise deverá ter em conta os efeitos das acções variáveis relevantes.

(6) As deformações a longo prazo devidas à retracção, à relaxação ou à fluência, deverão ser consideradas sempre que for relevante e calculadas com base nos efeitos das acções permanentes e nos valores quase-permanentes das acções variáveis.

(7) Os deslocamentos horizontais são representados esquematicamente na Figura A1.2.

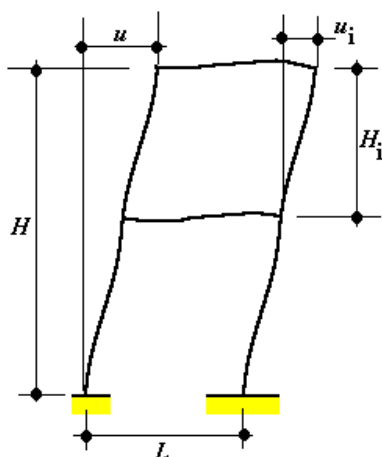


Figura A1.2 – Definição dos deslocamentos horizontais

em que:

$u$  deslocamento horizontal global à altura  $H$  do edifício;

$u_i$  deslocamento horizontal à altura  $H_i$  de um piso.

#### A1.4.4 Vibrações

(1) Para se obter um comportamento satisfatório dos edifícios e dos seus elementos estruturais sob a acção de vibrações nas condições de utilização, deverão ser considerados, entre outros, os seguintes aspectos:

- a) o conforto dos utentes;
- b) o funcionamento da estrutura ou dos seus elementos estruturais (por exemplo, fendas em divisórias, danos nos revestimentos, sensibilidade do recheio do edifício às vibrações).

Outros aspectos deverão ser considerados para cada projecto e acordados com o dono de obra.

(2) Para que o estado limite de utilização de uma estrutura ou de um elemento estrutural não seja excedido quando sujeito a vibrações, a frequência própria das vibrações da estrutura ou do elemento estrutural deverá ser mantida acima de valores apropriados, que dependem da função do edifício e da origem da vibração, e que são acordados com o dono de obra e/ou com a autoridade competente.

(3) Se a frequência própria das vibrações da estrutura for inferior ao valor apropriado, deverá ser efectuada uma análise mais pormenorizada da resposta dinâmica da estrutura, incluindo a consideração do amortecimento.

**NOTA:** Para mais orientações, ver a EN 1991-1-1, a EN 1991-1-4 e a ISO 10137.

(4) As possíveis origens das vibrações que deverão ser consideradas incluem a circulação de pessoas, os movimentos sincronizados de pessoas, o funcionamento de máquinas, as vibrações transmitidas às fundações pelo tráfego e as acções do vento. Estas e outras origens deverão ser especificadas para cada projecto e acordadas com o dono de obra.

## Anexo B

(informativo)

### Gestão da fiabilidade estrutural das construções

#### B.1 Objectivo e campo de aplicação

(1) O presente Anexo fornece orientações complementares relativamente a 2.2 (Gestão da fiabilidade) e às secções aplicáveis das EN 1991 a EN 1999.

*NOTA:* Nos Eurocódigos, por exemplo, nas EN 1992, EN 1993, EN 1996, EN 1997 e EN 1998, especificam-se regras de diferenciação da fiabilidade relativamente a determinados aspectos.

(2) A abordagem adoptada neste Anexo recomenda os seguintes métodos de gestão da fiabilidade estrutural das construções (relativamente aos estados limites últimos, excluindo a fadiga):

a) Em relação a 2.2(5)b, são introduzidas classes que se baseiam nas consequências pressupostas para o colapso e na exposição da construção aos cenários de acidente. Em B.3 é indicado um procedimento para permitir uma certa diferenciação nos coeficientes parciais das acções e das resistências correspondentes às diferentes classes.

*NOTA:* A classificação da fiabilidade pode ser representada por índices  $\beta$  (ver o Anexo C) que têm em conta a variabilidade estatística aceite ou admitida dos efeitos das acções, resistências e incertezas dos modelos.

b) Em relação a 2.2(5)c e 2.2(5)d, apresenta-se em B.4 e B.5 um procedimento para permitir, entre os diversos tipos de construção, uma diferenciação nos requisitos dos níveis de qualidade do projecto e do processo de execução.

*NOTA:* As medidas de gestão e controlo da qualidade relativas ao projecto, às disposições construtivas e à execução, indicadas em B.4 e B.5, pretendem impedir o colapso devido a erros grosseiros e garantir as resistências previstas no projecto.

(3) Esta metodologia foi formulada de forma a constituir um enquadramento que permita, caso seja desejado, a utilização de diferentes níveis de fiabilidade.

#### B.2 Símbolos

No presente Anexo utilizam-se os seguintes símbolos:

$K_{FI}$  coeficiente aplicável às acções para a diferenciação da fiabilidade;

$\beta$  índice de fiabilidade.

#### B.3 Diferenciação da fiabilidade

##### B.3.1 Classes de consequências

(1) Para efeitos da diferenciação da fiabilidade, poderão ser estabelecidas classes de consequências (CC), considerando as consequências do colapso ou do mau funcionamento da estrutura indicadas no Quadro B.1.

Quadro B.1 – Definição de classes de consequências

Classe de consequências	Descrição	Exemplos de edifícios e de obras de engenharia civil
CC3	Consequência <b>elevada</b> em termos de perda de vidas humanas; ou consequências económicas, sociais ou ambientais <b>muito importantes</b>	Bancadas, edifícios públicos em que as consequências do colapso são elevadas (por exemplo, uma sala de concertos)
CC2	Consequência <b>média</b> em termos de perda de vidas humanas; consequências económicas, sociais ou ambientais <b>mediamente importantes</b>	Edifícios de habitação e de escritórios, edifícios públicos em que as consequências do colapso são médias (por exemplo, um edifício de escritórios)
CC1	Consequência <b>baixa</b> em termos de perda de vidas humanas; e consequências económicas, sociais ou ambientais <b>pouco importantes ou desprezáveis</b>	Edifícios agrícolas normalmente não ocupados permanentemente por pessoas (por exemplo, armazéns), estufas

(2) O critério de classificação das consequências é a importância da estrutura ou do elemento estrutural em questão em termos dos danos resultantes do seu colapso (ver B.3.3).

(3) Dependendo da forma estrutural e das decisões tomadas no decorrer do projecto, determinados elementos da estrutura poderão ser considerados numa classe de consequências igual, superior ou inferior à adoptada para a estrutura global.

*NOTA:* Actualmente, os requisitos de fiabilidade são relacionados com os elementos estruturais da construção.

### B.3.2 Diferenciação por valores $\beta$

(1) As classes de fiabilidade (RC) poderão ser definidas utilizando o conceito de índice de fiabilidade  $\beta$ .

(2) Às classes de consequências CC1, CC2 e CC3 poderão ser associadas as classes de fiabilidade RC1, RC2 e RC3.

(3) O Quadro B.2 indica os valores mínimos recomendados para o índice de fiabilidade associado às classes de fiabilidade (ver também o Anexo C).

Quadro B.2 – Valores mínimos recomendados para o índice de fiabilidade  $\beta$  (estados limites últimos)

Classe de fiabilidade	Valores mínimos de $\beta$	
	Período de referência de 1 ano	Período de referência de 50 anos
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

**NOTA:** De uma forma geral, considera-se que um projecto baseado na EN 1990 com os coeficientes parciais indicados no Anexo A1 e nas EN 1991 a EN 1999 conduz a uma estrutura com um valor de  $\beta$  superior a 3,8 para um período de referência de 50 anos. As classes de fiabilidade dos elementos da estrutura acima de RC3 não são consideradas neste Anexo, pois para cada um desses elementos é requerido um estudo específico.

### B.3.3 Diferenciação por medidas relacionadas com os coeficientes parciais

(1) Outro modo de obter uma diferenciação da fiabilidade consiste em distinguir classes de coeficientes  $\gamma_F$  a utilizar nas combinações fundamentais em situações de projecto persistentes. Por exemplo, para os mesmos níveis de supervisão do projecto e de inspecção da execução, poderá aplicar-se aos coeficientes parciais um coeficiente de multiplicação  $K_{FI}$  (ver o Quadro B.3).

Quadro B.3 – Coeficiente  $K_{FI}$  para as acções

Coeficiente $K_{FI}$ para as acções	Classe de fiabilidade		
	RC1	RC2	RC3
$K_{FI}$	0,9	1,0	1,1

**NOTA:**  $K_{FI}$  deverá ser aplicado apenas às acções desfavoráveis. No caso particular da classe RC3, dá-se preferência a outras medidas descritas neste Anexo em vez da utilização de coeficientes  $K_{FI}$ .

(2) A diferenciação da fiabilidade poderá também ser feita através dos coeficientes parciais da resistência  $\gamma_M$ , embora tal não seja normalmente utilizado. Uma excepção é a verificação em relação à fadiga (ver a EN 1993 e também B.6).

(3) Medidas de acompanhamento, como, por exemplo, o nível de controlo da qualidade do projecto e da execução da estrutura, poderão estar associadas às classes de  $\gamma_F$ . Neste Anexo, adoptou-se um sistema de três níveis de controlo nas fases de projecto e de execução. Sugerem-se níveis de supervisão do projecto e níveis de inspecção associados às classes de fiabilidade.

(4) Pode haver casos (por exemplo, postes de iluminação, mastros, etc.) em que, por motivos de economia, se possa aceitar para a estrutura a classe RC1, desde que se adoptem níveis mais elevados de supervisão do projecto e de inspecção.



## **B.4 Níveis de supervisão do projecto**

(1) A supervisão do projecto envolve diversos procedimentos organizativos do controlo da qualidade que podem ser utilizados em conjunto. Por exemplo, a definição de níveis de supervisão do projecto (B.4(2)) poderá ser utilizada em conjunto com outras medidas, tais como a classificação dos projectistas e das entidades de verificação (B.4(3)).

(2) No Quadro B.4 indicam-se três níveis possíveis de supervisão do projecto (DSL). Os níveis de supervisão do projecto poderão estar ligados à classe de fiabilidade seleccionada ou poderão ser escolhidos de acordo com a importância da estrutura e em conformidade com os requisitos nacionais ou com as especificações do projecto, e implementados através de medidas de gestão da qualidade adequadas (ver 2.5).

Quadro B.4 – Níveis de supervisão do projecto (DSL)

Níveis de supervisão do projecto	Características	Requisitos mínimos recomendados para verificação de cálculos, desenhos e especificações
DSL3 relacionado com a RC3	Supervisão alargada	Verificação por terceiros (efectuada por uma entidade diferente da que elaborou o projecto)
DSL2 relacionado com a RC2	Supervisão normal	Verificação interna (efectuada por técnicos diferentes dos originalmente responsáveis, de acordo com os procedimentos da organização)
DSL1 relacionado com a RC1	Supervisão normal	Auto-verificação (efectuada pelos técnicos que elaboraram o projecto)

(3) A diferenciação da supervisão do projecto poderá também incluir uma classificação dos projectistas e/ou dos revisores do projecto (verificadores, entidades de verificação, etc.), em função da sua competência e experiência e da sua organização interna, tendo em conta o tipo de construção em projecto.

*NOTA: O tipo de construção, os materiais utilizados e as formas estruturais podem influir nesta classificação.*

(4) Em alternativa, a diferenciação da supervisão do projecto pode consistir numa avaliação mais pormenorizada da natureza e da grandeza das acções às quais a estrutura tem de resistir, ou num sistema de controlo das acções para restringir, activa ou passivamente, tais acções.

## **B.5 Níveis de inspecção durante a execução**

(1) No Quadro B.5 indicam-se três níveis possíveis de inspecção da execução (IL). Estes níveis poderão relacionar-se com as classes de gestão da qualidade seleccionadas e ser implementados através de medidas de gestão da qualidade adequadas (ver 2.5). As normas de execução aplicáveis referidas nas EN 1992 a EN 1996 e na EN 1999 incluem orientações complementares sobre esta matéria.

Quadro B.5 – Níveis de inspecção (IL)

Níveis de inspecção	Características	Requisitos
IL3 relacionado com a RC3	Inspecção alargada	Inspecção por terceiros
IL2 relacionado com a RC2	Inspecção normal	Inspecção de acordo com os procedimentos da organização
IL1 relacionado com a RC1	Inspecção normal	Inspecção pelo próprio

**NOTA:** Os níveis de inspecção definem as matérias e o âmbito da inspecção dos produtos e da execução das obras. As regras irão, portanto, variar de um material estrutural para outro, e são indicadas nas normas de execução aplicáveis.

## B.6 Coeficientes parciais relativos às propriedades de resistência

(1) Os coeficientes parciais relativos às propriedades resistentes de um material, de um produto ou de um elemento poderão ser reduzidos se for utilizado um nível de inspecção superior ao necessário de acordo com o Quadro B.5 e/ou se forem utilizados requisitos mais exigentes.

**NOTA 1:** Para avaliar esta redução por meio de ensaios, ver a secção 5 e o Anexo D.

**NOTA 2:** Nas EN 1992 a EN 1999 poderão ser indicadas ou referidas regras para diversos materiais.

**NOTA 3:** Essa redução, que tem em conta, por exemplo, as incertezas de modelação e os desvios das dimensões, não é uma medida de diferenciação da fiabilidade; é apenas uma medida de compensação para manter o nível de fiabilidade dependente da eficácia das medidas de controlo.

## **Anexo C**

### **(informativo)**

### **Bases para o método dos coeficientes parciais e para a análise da fiabilidade**

#### **C.1 Objectivo e campo de aplicação**

(1) O presente Anexo fornece informações sobre o método dos coeficientes parciais descrito na secção 6 e no Anexo A, assim como a sua fundamentação teórica. Apresenta também as bases do Anexo D e relaciona-se com o conteúdo do Anexo B.

(2) O presente Anexo contém também informações sobre:

- os métodos de fiabilidade estrutural;
- a aplicação do método de fiabilidade na calibração dos valores de cálculo e/ou dos coeficientes parciais adoptados nas verificações dos estados limites;
- os procedimentos para a verificação da fiabilidade nos Eurocódigos.

#### **C.2 Símbolos**

No presente Anexo utilizam-se os seguintes símbolos:

Letras maiúsculas latinas

$P_f$  probabilidade de ruína<sup>\*)</sup>

$\text{Prob}(.)$  probabilidade

$P_s$  probabilidade de sobrevivência

Letras minúsculas latinas

$a$  grandeza geométrica

$g$  função de desempenho

Letras maiúsculas gregas

$\Phi$  função cumulante da distribuição normal reduzida

Letras minúsculas gregas

$\alpha_E$  coeficiente de sensibilidade FORM (First Order Reliability Method) para os efeitos das acções

$\alpha_R$  coeficiente de sensibilidade FORM (First Order Reliability Method) para a resistência

---

<sup>\*)</sup> A probabilidade de ruína pode entender-se, em sentido lato, como a probabilidade de ultrapassar um dado nível de desempenho requerido.  $P_f$  é o complemento de  $P_s$  (nota nacional).

$\beta$	índice de fiabilidade
$\theta$	parâmetro de incerteza do modelo
$\mu_X$	valor médio de $X$
$\sigma_X$	desvio padrão de $X$
$V_X$	coeficiente de variação de $X$

### C.3 Introdução

(1) No método dos coeficientes parciais são atribuídos valores de cálculo às variáveis básicas (nomeadamente acções, resistências e grandezas geométricas) utilizando coeficientes parciais e coeficientes  $\psi$ , e faz-se uma verificação para assegurar que nenhum estado limite relevante é excedido (ver C.7).

**NOTA:** A secção 6 trata dos valores de cálculo das acções e dos seus efeitos, dos valores de cálculo das propriedades dos materiais e dos produtos e das grandezas geométricas.

(2) Em princípio, os valores numéricos dos coeficientes parciais e dos coeficientes  $\psi$  podem ser determinados por qualquer das seguintes formas:

a) efectuando a sua calibração com base na experiência da prática da construção tradicional;

**NOTA:** Baseia-se neste critério a maioria dos valores dos coeficientes parciais e dos coeficientes  $\psi$  propostos nos Eurocódigos actualmente disponíveis.

b) recorrendo à avaliação estatística de dados experimentais e de observações de campo. (Essa avaliação deverá ser realizada no contexto de uma teoria probabilística da fiabilidade).

(3) Ao utilizar o critério 2b), isoladamente ou em combinação com o critério 2a), os coeficientes parciais relativos aos estados limites últimos, para os diferentes materiais e acções, deverão ser calibrados de tal forma que os níveis de fiabilidade correspondentes a estruturas representativas estejam o mais próximo possível do índice de fiabilidade objectivo (ver C.6).

### C.4 Enquadramento geral dos métodos de fiabilidade

(1) Apresenta-se na Figura C.1 um diagrama de enquadramento dos vários métodos disponíveis para calibração dos coeficientes parciais (e a relação entre eles) que constam das expressões de cálculo relativas aos estados limites.

(2) Os processos probabilísticos de calibração dos coeficientes parciais podem ser subdivididos em duas classes principais:

- métodos totalmente probabilísticos (nível III);
- métodos de fiabilidade de primeira ordem (FORM) (nível II).

**NOTA 1:** Os métodos totalmente probabilísticos (nível III) fornecem, em princípio, respostas correctas ao problema da fiabilidade, sendo, no entanto, raramente utilizados na calibração da regulamentação de projecto devido à frequente falta de dados estatísticos.

**NOTA 2:** Os métodos de nível II utilizam certas aproximações bem definidas e conduzem a resultados que, para a maioria das aplicações estruturais, podem ser considerados suficientemente rigorosos.

(3) Tanto nos métodos de nível II como nos de nível III, a medida de fiabilidade deverá ser identificada com a probabilidade de sobrevivência  $P_s = (1 - P_f)$ , em que  $P_f$  é a probabilidade de ruína para o modo de ruína em consideração, relativamente a um período de referência adequado. Se a probabilidade de ruína calculada for superior a um valor objectivo predefinido  $P_0$ , deverá considerar-se que a estrutura não é segura.

**NOTA:** A “probabilidade de ruína” e o correspondente índice de fiabilidade (ver C.5) são apenas valores conceptuais que não representam, necessariamente, as frequências de ruína reais mas são utilizados como valores operacionais para efeitos de calibração de regulamentos e de comparação dos níveis de fiabilidade das estruturas.

(4) Os Eurocódigos foram baseados, principalmente, no método *a* (ver a Figura C.1). O método *c* ou outros métodos equivalentes foram utilizados no desenvolvimento posterior dos Eurocódigos.

**NOTA:** Um exemplo de um método equivalente é o dimensionamento com apoio experimental (ver o Anexo D).

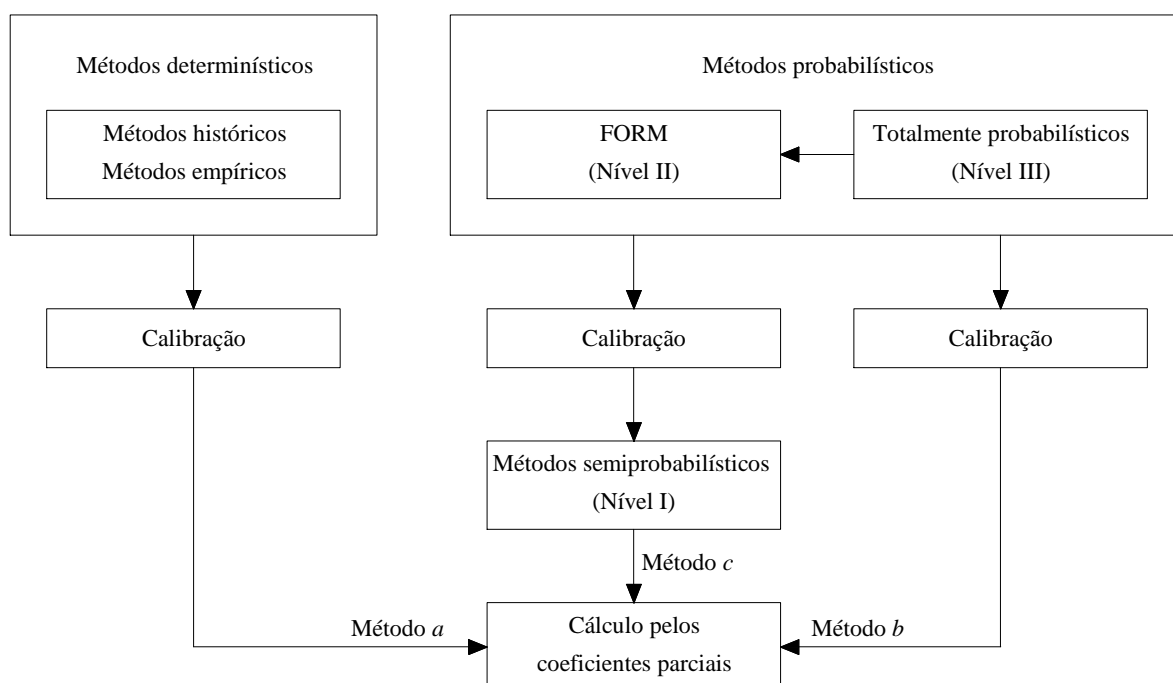


Figura C.1 – Enquadramento geral dos métodos de fiabilidade

## C.5 Índice de fiabilidade $\beta$

(1) Nos métodos de nível II, uma medida alternativa da fiabilidade é convencionalmente definida pelo índice de fiabilidade  $\beta$  que está relacionado com  $P_f$  por:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (C.1)$$

em que  $\Phi$  é a função cumulante da distribuição normal reduzida. A relação entre  $P_f$  e  $\beta$  está indicada no Quadro C.1.

Quadro C.1 – Relação entre  $P_f$  e  $\beta$

$P_f$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
$\beta$	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

(2) A probabilidade de ruína  $P_f$  pode ser expressa por uma função de desempenho  $g$  tal que uma estrutura sobrevive se  $g > 0$  e colapsa se  $g \leq 0$ :

$$P_f = \text{Prob}(g \leq 0) \quad (\text{C.2a})$$

Se  $R$  é a resistência e  $E$  o efeito das acções, a função de desempenho  $g$  é:

$$g = R - E \quad (\text{C.2b})$$

em que  $R$ ,  $E$  e  $g$  são variáveis aleatórias.

(3) Se  $g$  tiver uma distribuição normal,  $\beta$  é obtido por:

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} \quad (\text{C.2c})$$

em que:

$\mu_g$  valor médio de  $g$ ;

$\sigma_g$  respectivo desvio padrão;

tendo-se:

$$\mu_g - \beta\sigma_g = 0 \quad (\text{C.2d})$$

e

$$P_f = \text{Prob}(g \leq 0) = \text{Prob}(g \leq \mu_g - \beta\sigma_g) \quad (\text{C.2e})$$

Para outras distribuições de  $g$ ,  $\beta$  é apenas uma medida convencional da fiabilidade

$$P_s = (1 - P_f).$$

## C.6 Valores alvo do índice de fiabilidade $\beta$

(1) No Quadro C.2 indicam-se valores alvo do índice de fiabilidade  $\beta$  para várias situações de projecto, em relação a períodos de referência de 1 ano e 50 anos. Os valores de  $\beta$  no Quadro C.2 correspondem aos níveis de segurança dos elementos estruturais da classe de fiabilidade RC2 (ver o Anexo B).

**NOTA 1:** Para estas avaliações de  $\beta$ :

- normalmente têm sido utilizadas distribuições lognormal ou de Weibull para os parâmetros de resistência dos materiais e da estrutura e para as incertezas dos modelos;

- normalmente têm sido utilizadas distribuições normais para o peso próprio;

- ao considerar as verificações não envolvendo fadiga, são frequentemente utilizadas distribuições normais para as acções variáveis, embora fosse mais apropriado utilizar as distribuições de valores extremos.

**NOTA 2:** Quando a principal incerteza provém de acções que têm máximos estatisticamente independentes em cada ano, os valores de  $\beta$  para um período de referência diferente podem ser calculados utilizando a seguinte expressão:

$$\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n \quad (\text{C.3})$$

em que:

$\beta_n$  índice de fiabilidade para um período de referência de  $n$  anos;

$\beta_1$  índice de fiabilidade para um ano.

Quadro C.2 – Índice de fiabilidade alvo  $\beta$  para elementos estruturais da classe RC2 <sup>1)</sup>

Estado limite	Índice de fiabilidade alvo	
	1 ano	50 anos
Último	4,7	3,8
Fadiga		1,5 a 3,8 <sup>2)</sup>
Utilização (irreversível)	2,9	1,5
<sup>1)</sup> Ver o Anexo B.		
<sup>2)</sup> Depende do grau de inspecção, reparação e tolerância face aos danos.		

(2) A frequência real de ruína de uma estrutura depende significativamente de erros humanos, o que não é considerado no cálculo dos coeficientes parciais (ver o Anexo B). Assim,  $\beta$  não indica, necessariamente, a frequência real da ruína estrutural.

## C.7 Abordagem para calibração dos valores de cálculo

(1) No método dos valores de cálculo para verificação da fiabilidade (ver a Figura C.1), os valores de cálculo têm que ser definidos para todas as variáveis básicas. Considera-se que o dimensionamento é suficiente se os estados limites não forem atingidos quando os valores de cálculo são introduzidos nos modelos de análise. Em notação simbólica, tal é expresso como:

$$E_d < R_d \quad (C.4)$$

em que o índice “d” se refere a valores de cálculo. Trata-se da forma prática de assegurar que o índice de fiabilidade  $\beta$  é igual ou superior ao valor alvo.

$E_d$  e  $R_d$  podem ser expressos de forma parcialmente simbólica como:

$$E_d = E \{ F_{d1}, F_{d2}, \dots a_{d1}, a_{d2}, \dots \theta_{d1}, \theta_{d2}, \dots \} \quad (C.5a)$$

$$R_d = R \{ X_{d1}, X_{d2}, \dots a_{d1}, a_{d2}, \dots \theta_{d1}, \theta_{d2}, \dots \} \quad (C.5b)$$

em que:

$E$  efeito das acções;

$R$  resistência;

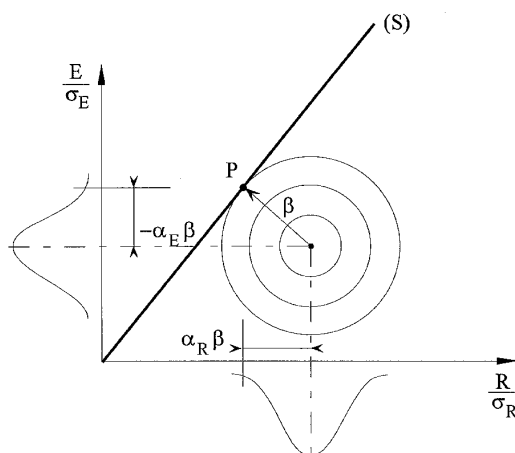
$F$  acção;

$X$  propriedade do material;

$a$  grandeza geométrica;

$\theta$  parâmetro referente à incerteza do modelo.

Para determinados estados limites (por exemplo, os que envolvem fadiga) poderá ser necessária uma formulação mais geral para os representar.



(S) limite de ruína  $g = R - E = 0$

P ponto de cálculo

Figura C.2 – Ponto de cálculo e índice de fiabilidade  $\beta$  de acordo como o método de fiabilidade de primeira ordem (FORM) para variáveis com distribuição normal e não correlacionadas

(2) Os valores de cálculo deverão basear-se nos valores das variáveis básicas no ponto de cálculo do FORM, que pode ser definido como o ponto na superfície de ruína ( $g = 0$ ) mais próximo do ponto médio no espaço de variáveis normalizadas (conforme indicado em diagrama na Figura C.2).

(3) Os valores de cálculo dos efeitos das acções  $E_d$  e das resistências  $R_d$  deverão ser definidos de tal forma que a probabilidade de se ter um valor mais desfavorável seja a seguinte:

$$P(E > E_d) = \Phi(+\alpha_E \beta) \quad (\text{C.6a})$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-\alpha_R \beta) \quad (\text{C.6b})$$

em que:

$\beta$  índice de fiabilidade alvo (ver C.6);

$\alpha_E$  e  $\alpha_R$ , com  $|\alpha| \leq 1$ , são os valores dos coeficientes de sensibilidade do FORM. O valor de  $\alpha$  é negativo para as acções desfavoráveis e os efeitos das acções, e positivo para as resistências.

$\alpha_E$  e  $\alpha_R$  poderão ser tomados, respectivamente, iguais a - 0,7 e 0,8, desde que:

$$0,16 < \sigma_E / \sigma_R < 7,6 \quad (\text{C.7})$$

em que  $\sigma_E$  e  $\sigma_R$  são, respectivamente, os desvios padrão do efeito da acção e da resistência nas expressões (C.6a) e (C.6b). Tal corresponde a:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,7\beta) \quad (\text{C.8a})$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-0,8\beta) \quad (\text{C.8b})$$

(4) Nos casos em que a condição (C.7) não é satisfeita, deverá utilizar-se  $\alpha = \pm 1,0$  para a variável com o maior desvio padrão, e  $\alpha = \pm 0,4$  para a variável com o menor desvio padrão.



(5) Quando o modelo das acções contém várias variáveis básicas, a expressão (C.8a) deverá ser utilizada apenas para a variável de base da combinação. Para as acções acompanhantes, os valores de cálculo poderão ser definidos por:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,4 \times 0,7 \times \beta) = \Phi(-0,28\beta) \quad (C.9)$$

**NOTA:** Para  $\beta = 3,8$ , os valores definidos pela expressão (C.9) correspondem aproximadamente ao quantilho de 0,90.

(6) As expressões indicadas no Quadro C.3 deverão ser utilizadas para determinar os valores de cálculo das variáveis com a distribuição de probabilidade nele indicada.

Quadro C.3 - Valores de cálculo para diversas funções de distribuição

Distribuição	Valores de cálculo
Normal	$\mu - \alpha\beta\sigma$
Lognormal	$\mu \exp(-\alpha\beta V)$ para $V = \sigma/\mu < 0,2$
de Gumbel	$u - \frac{1}{a} \ln\{-\ln \Phi(-\alpha\beta)\}$ <p>em que <math>u = \mu - \frac{0,577}{a}</math> ; <math>a = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}</math></p>

**NOTA:** Nestas expressões,  $\mu$ ,  $\sigma$  e  $V$  são, respectivamente, o valor médio, o desvio padrão e o coeficiente de variação de uma dada variável. Para as acções variáveis, esses valores deverão basear-se no mesmo período de referência considerado para  $\beta$ .

(7) Um método para determinação do coeficiente parcial correspondente consiste em dividir o valor de cálculo de uma acção variável pelo seu valor representativo ou característico.

## C.8 Procedimentos para a verificação da fiabilidade nos Eurocódigos

(1) Nas EN 1990 a EN 1999, os valores de cálculo das variáveis básicas,  $X_d$  e  $F_d$ , normalmente não intervêm directamente nas expressões de verificação pelo método dos coeficientes parciais, mas são introduzidos em termos dos seus valores representativos  $X_{rep}$  e  $F_{rep}$ , os quais poderão ser:

- valores característicos, ou seja, valores com uma probabilidade, imposta ou pretendida, de serem excedidos, como, por exemplo, no caso de acções, de propriedades dos materiais e de grandezas geométricas (ver 1.5.3.14, 1.5.4.1 e 1.5.5.1, respectivamente);
- valores nominais, que são tratados como valores característicos relativamente às propriedades dos materiais (ver 1.5.4.3) e como valores de cálculo relativamente às grandezas geométricas (ver 1.5.5.2).

(2) Os valores representativos  $X_{rep}$  e  $F_{rep}$ , deverão ser divididos e/ou multiplicados, respectivamente, pelos coeficientes parciais apropriados para se obter os valores de cálculo  $X_d$  e  $F_d$ .

**NOTA:** Ver também a expressão (C.10).

(3) Os valores de cálculo das acções  $F$ , das propriedades dos materiais  $X$  e das grandezas geométricas  $a$  são indicados nas expressões (6.1), (6.3) e (6.4), respectivamente.

Nos casos em que se utiliza um valor superior para o valor de cálculo da resistência (ver 6.3.3), a expressão (6.3) toma a forma:

$$X_d = \eta \gamma_M X_{k,sup} \quad (C.10)$$

em que  $\gamma_M$  é um coeficiente apropriado superior a 1.

**NOTA:** A expressão (C.10) poderá ser utilizada para o cálculo em termos da capacidade real.

(4) Os valores de cálculo das incertezas de modelação poderão ser incluídos nas expressões de cálculo através dos coeficientes parciais  $\gamma_{Sd}$  e  $\gamma_{Rd}$  aplicados ao modelo global, de tal forma que:

$$E_d = \gamma_{Sd} E \{ \gamma_{gj} G_{kj}; \gamma_P P; \gamma_{ql} Q_{kl}; \gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ki}; a_d \dots \} \quad (C.11)$$

$$R_d = R \{ \eta X_k / \gamma_m; a_d \dots \} / \gamma_{Rd} \quad (C.12)$$

(5) O coeficiente  $\psi$ , que toma em consideração as reduções nos valores de cálculo das acções variáveis, é aplicado, sob a forma de  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  ou  $\psi_2$ , às acções variáveis acompanhantes que ocorram simultaneamente.

(6) Se necessário, poderão ser feitas nas expressões (C.11) e (C.12) as simplificações a seguir indicadas.

a) Relativamente às acções (para uma acção independente ou no caso de linearidade dos efeitos das acções):

$$E_d = E \{ \gamma_{F,i} F_{rep,i}; a_d \} \quad (C.13)$$

b) Relativamente às resistências, o formato geral é obtido pelas expressões (6.6), e poderão ser indicadas outras simplificações no Eurocódigo de materiais aplicável. As simplificações só deverão ser feitas se não reduzirem o nível de fiabilidade.

**NOTA:** Nos Eurocódigos encontram-se com frequência modelos não lineares da resistência e das acções e modelos de acções ou resistências de múltiplas variáveis. Nestes casos, as relações acima descritas tornam-se mais complexas.

## C.9 Coeficientes parciais na EN 1990

(1) Os diferentes coeficientes parciais disponíveis na presente Norma encontram-se em 1.6.

(2) A relação entre os coeficientes parciais individualizados nos Eurocódigos está esquematicamente ilustrada na Figura C.3.

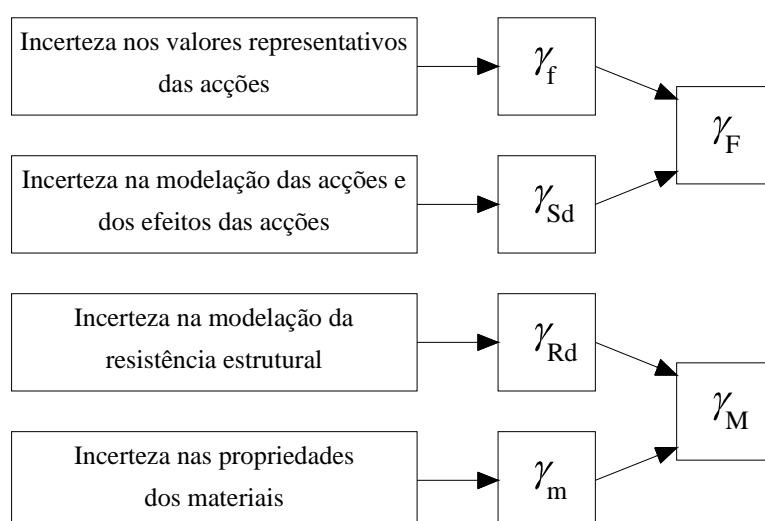


Figura C.3 – Relação entre coeficientes parciais individualizados

## C.10 Coeficientes $\psi_0$

(1) No Quadro C.4 estão indicadas expressões para obtenção dos coeficientes  $\psi_0$  (ver a secção 6) no caso de duas acções variáveis.

(2) As expressões indicadas no Quadro C.4 foram determinadas nas seguintes hipóteses e condições:

- as duas acções a combinar são independentes uma da outra;
- o período básico ( $T_1$  ou  $T_2$ ) para cada acção é constante;  $T_1$  é o período básico maior;
- os valores das acções nos respectivos períodos básicos são constantes;
- as intensidades de uma acção nos períodos básicos não estão correlacionadas;
- as duas acções pertencem a processos ergódicos.

(3) As funções de distribuição do Quadro C.4 referem-se aos máximos no período de referência  $T$ . Estas funções de distribuição são funções globais que tomam em conta a probabilidade de o valor de uma acção ser zero durante certos períodos.

Quadro C.4 – Expressões para  $\psi_0$  para o caso de duas acções variáveis

Distribuição	$\psi_0 = F_{\text{acompanhante}} / F_{\text{de base da combinação}}$
Geral	$\frac{F_s^{-1}\{\Phi(0,4\beta')^{N_1}\}}{F_s^{-1}\{\Phi(0,7\beta)^{N_1}\}}$ <p>com <math>\beta' = -\Phi^{-1}\{\Phi(-0,7\beta) / N_1\}</math></p>
Aproximação para $N_1$ muito elevado	$\frac{F_s^{-1}\{\exp[-N_1\Phi(-0,4\beta')]\}}{F_s^{-1}\{\Phi(0,7\beta)\}}$ <p>com <math>\beta' = -\Phi^{-1}\{\Phi(-0,7\beta) / N_1\}</math></p>
Normal (aproximação)	$\frac{1 + (0,28\beta - 0,7 \ln N_1)V}{1 + 0,7\beta V}$
de Gumbel (aproximação)	$\frac{1 - 0,78V[0,58 + \ln(-\ln \Phi(0,28\beta)) + \ln N_1]}{1 - 0,78V[0,58 + \ln(-\ln \Phi(0,7\beta))]}$
<p><math>F_s(\cdot)</math> cumulante da distribuição dos valores extremos da acção acompanhante no período de referência <math>T</math>;  <math>\Phi(\cdot)</math> cumulante da distribuição normal reduzida;  <math>T</math> período de referência;  <math>T_1</math> maior dos períodos básicos para as acções em combinação;  <math>N_1</math> relação <math>T/T_1</math>, arredondada ao número inteiro mais próximo;  <math>\beta</math> índice de fiabilidade;  <math>V</math> coeficiente de variação da acção acompanhante para o período de referência.</p>	

## Anexo D

(informativo)

### Projecto com apoio experimental

#### D.1 Objectivo e campo de aplicação

(1) O presente Anexo fornece orientações sobre as secções 3.5, 4.2 e 5.2.

(2) O presente Anexo não se destina a substituir as regras de aceitação que constam em especificações europeias harmonizadas relativas a produtos, noutras especificações de produtos ou em normas de execução.

#### D.2 Símbolos

No presente Anexo utilizam-se os seguintes símbolos:

Letras maiúsculas latinas

$E(.)$	valor médio de $(.)$
$V$	coeficiente de variação [ $V = (\text{desvio padrão}) / (\text{valor médio})$ ]
$V_X$	coeficiente de variação de $X$
$V_\delta$	estimador do coeficiente de variação do termo de erro $\delta$
$\underline{X}$	vector das $j$ variáveis básicas $X_1 \dots X_j$
$X_{k(n)}$	valor característico, incluindo a incerteza estatística, de uma amostra de dimensão $n$ com exclusão de qualquer factor de conversão
$\underline{X}_m$	vector dos valores médios das variáveis básicas
$\underline{X}_n$	vector dos valores nominais das variáveis básicas

Letras minúsculas latinas

$b$	factor de correcção
$b_i$	factor de correcção do provete $i$
$g_{rt}(\underline{X})$	função de resistência (das variáveis básicas $\underline{X}$ ) utilizada como modelo de cálculo
$k_{d,n}$	coeficiente correspondente ao quantilho de cálculo
$k_n$	coeficiente correspondente ao quantilho característico
$m_X$	média dos resultados de $n$ amostras
$n$	número de ensaios ou dos seus resultados numéricos
$r$	valor da resistência
$r_d$	valor de cálculo da resistência
$r_e$	valor experimental da resistência

---

$r_{ee}$	valor extremo (máximo ou mínimo) da resistência experimental [ou seja, valor de $r_e$ que mais se desvia do valor médio $r_{em}$ ]
$r_{ei}$	resistência experimental do provete $i$
$r_{em}$	valor médio da resistência experimental
$r_k$	valor característico da resistência
$r_m$	valor da resistência calculado utilizando os valores médios $\underline{X}_m$ das variáveis básicas
$r_n$	valor nominal da resistência
$r_t$	resistência teórica determinada a partir da função de resistência $g_{rt}(\underline{X})$
$r_{ti}$	resistência teórica determinada utilizando os parâmetros medidos $\underline{X}$ relativos ao provete $i$
$s$	valor estimado do desvio padrão $\sigma$
$s_\Delta$	valor estimado de $\sigma_\Delta$
$s_\delta$	valor estimado de $\sigma_\delta$

#### Letras maiúsculas gregas

$\Phi$	função cumulante da distribuição normal reduzida
$\Delta$	logaritmo do termo de erro $\delta$ [ $\Delta_i = \ln(\delta_i)$ ]
$\bar{\Delta}$	valor estimado de $E(\Delta)$

#### Letras minúsculas gregas

$\alpha_E$	coeficiente de sensibilidade FORM (First Order Reliability Method) para os efeitos das acções
$\alpha_R$	coeficiente de sensibilidade FORM (First Order Reliability Method) para a resistência
$\beta$	índice de fiabilidade
$\gamma_M^*$	coeficiente parcial corrigido para as resistências [ $\gamma_M^* = r_n/r_d$ , de modo que $\gamma_M^* = k_c \gamma_M$ ]
$\delta$	termo de erro
$\delta_i$	termo de erro observado para o provete $i$ , obtido a partir da comparação da resistência experimental $r_{ei}$ com o valor médio corrigido da resistência teórica $br_{ti}$
$\eta_d$	valor de cálculo do eventual factor de conversão (desde que não seja incluído no coeficiente parcial de resistência $\gamma_M$ )
$\eta_K$	factor de redução aplicável no caso de conhecimento prévio
$\sigma$	desvio padrão [ $\sigma = \sqrt{\text{variância}}$ ]
$\sigma_\Delta^2$	variância do termo $\Delta$

### D.3 Tipos de ensaios

(1) É necessário distinguir entre os seguintes tipos de ensaios:

- a) ensaios para estabelecer directamente a resistência última ou as propriedades de utilização das estruturas ou dos elementos estruturais para condições de carga definidas. Esses ensaios podem ser realizados, por exemplo, para as solicitações de fadiga ou as acções de impacto;
- b) ensaios para determinar propriedades específicas dos materiais, utilizando procedimentos de ensaio especificados; por exemplo, ensaios de terreno *in situ* ou no laboratório, ou ensaios de novos materiais;
- c) ensaios visando a redução das incertezas nos parâmetros relativos aos modelos das acções ou dos seus efeitos; por exemplo, ensaios em túnel aerodinâmico, ou ensaios para avaliar as acções das ondas ou das correntes;
- d) ensaios visando a redução das incertezas nos parâmetros utilizados nos modelos de resistência; por exemplo, ensaios de elementos estruturais ou de conjuntos de elementos estruturais (por exemplo, estruturas de coberturas ou de pavimentos);
- e) ensaios de controlo para identificar ou verificar a qualidade dos produtos fornecidos ou a consistência das características de produção; por exemplo, ensaios de cabos para pontes ou ensaios de provetes de betão;
- f) ensaios realizados durante a execução para obter informações necessárias a uma parte dela; por exemplo, ensaios de resistência de estacas, medição de forças em cabos durante a execução;
- g) ensaios de controlo para verificar o comportamento de uma estrutura real ou dos elementos estruturais após a conclusão da sua execução, como, por exemplo, para determinação de deslocamentos elásticos, frequências de vibração ou do amortecimento.

(2) Para os tipos de ensaios (a), (b), (c) e (d), os valores de cálculo a utilizar deverão ser determinados, quando tal seja exequível, a partir dos resultados dos ensaios aplicando técnicas estatísticas aceites (ver D.5 a D.8).

**NOTA:** Para avaliar os resultados dos ensaios de tipo (c) poderão ser necessárias técnicas especiais.

(3) Os tipos de ensaios (e), (f) e (g) poderão ser considerados como ensaios de recepção nos casos em que não estejam disponíveis resultados de ensaios na fase de projecto. Os valores de cálculo deverão ser estimativas conservativas que se prevê possam satisfazer, numa fase posterior, os critérios de recepção (ensaios (e), (f) e (g)).

### D.4 Programação dos ensaios

(1) Antes da execução dos ensaios, deverá ser acordado um plano de ensaios com a entidade responsável pela sua realização. Este plano deverá definir os objectivos dos ensaios e todas as especificações necessárias para a selecção ou produção dos provetes a ensaiar, a realização dos ensaios e a análise dos resultados. O plano de ensaios deverá abranger:

- os objectivos e o âmbito;
- a previsão dos resultados dos ensaios;
- a especificação dos provetes a ensaiar e da amostragem;
- as especificações do carregamento;
- os dispositivos de ensaio;
- as medições;

– a análise dos resultados e o relatório dos ensaios.

### **Objectivos e âmbito**

O objectivo dos ensaios deverá ser claramente indicado, contemplando, por exemplo, as propriedades requeridas, a influência de certos parâmetros de cálculo considerados com diversos valores durante o ensaio e o domínio de validade. Deverão também ser indicadas as limitações do ensaio e as conversões necessárias (por exemplo, efeitos de escala).

### **Previsão dos resultados dos ensaios**

Todas as propriedades e circunstâncias que possam influenciar a previsão dos resultados dos ensaios deverão ser tidas em conta, incluindo:

- os parâmetros geométricos e a respectiva variabilidade;
- as imperfeições geométricas;
- as propriedades dos materiais;
- os parâmetros dependentes dos métodos de fabrico e de execução;
- os efeitos de escala das condições ambientais tendo em conta, quando relevante, a sequência das fases do ensaio.

Deverão ser descritos os modos previstos de ruína e/ou os modelos de cálculo, juntamente com as variáveis correspondentes. Se houver dúvidas significativas quanto aos modos de ruína críticos, o plano de ensaios deverá ser elaborado com base em ensaios-piloto prévios.

*NOTA: Deverá ter-se em conta que um elemento estrutural pode apresentar vários modos de ruína fundamentalmente diferentes.*

### **Especificação dos provetes a ensaiar e da amostragem**

Os provetes a ensaiar deverão ser especificados, ou obtidos por amostragem, de tal forma que representem as condições da estrutura real.

Os factores a ter em conta incluem:

- as dimensões e as tolerâncias;
- o material e o fabrico de protótipos;
- o número de provetes a ensaiar;
- os métodos de amostragem;
- as condições limites de ensaio.

O objectivo dos procedimentos de amostragem deverá ser a obtenção de uma amostra estatisticamente representativa.

Deverá ser dada atenção a qualquer diferença entre os provetes a ensaiar e a população de produtos, susceptível de influenciar os resultados dos ensaios.

### **Especificações do carregamento**

O carregamento e as condições ambientais a especificar para o ensaio deverão incluir:

- os pontos de aplicação das cargas;
- a história de aplicação das cargas;
- as condições limites de ensaio;

- as temperaturas;
- a humidade relativa;
- o tipo de carregamento, por deformação ou controlo de forças, etc.

A sequência de aplicação das cargas deverá ser definida de forma a representar a utilização prevista para o elemento estrutural, em condições de utilização normais e severas. As interações entre a resposta estrutural e os dispositivos utilizados para aplicação das cargas deverão ser tidas em conta sempre que forem relevantes.

Quando o comportamento estrutural depender dos efeitos de uma ou mais acções que não variem de modo sistemático, esses efeitos deverão ser especificados pelos seus valores representativos.

### **Dispositivos de ensaio**

O equipamento de ensaio deverá ser o adequado para o tipo de ensaios e para a gama de medições prevista. Deverá ser dada especial atenção às disposições destinadas a garantir resistência e rigidez suficientes nos dispositivos de apoio e de aplicação das cargas, espaço necessário aos deslocamentos, etc.

### **Medições**

Antes da realização dos ensaios, deverá ser elaborada uma lista de todas as propriedades relevantes que devem ser medidas em cada provete de ensaio. Deverá também ser elaborada uma lista que inclua:

- a) a localização das medições;
- b) os procedimentos de registo dos resultados, incluindo, caso seja relevante:
  - a evolução das deformações no tempo;
  - as velocidades;
  - as acelerações;
  - as extensões;
  - as forças e pressões;
  - as frequências;
  - a precisão das medições;
  - os aparelhos de medida adequados.

### **Análise dos resultados e relatório dos ensaios**

Consultar D.5 a D.8 para orientações específicas. Deverão ser referidas as normas nas quais os ensaios se baseiam.

## **D.5 Determinação dos valores de cálculo**

(1) A determinação a partir de ensaios dos valores de cálculo de uma propriedade de um material, de um parâmetro de um modelo ou de uma resistência, deverá ser efectuada por um dos seguintes métodos:

- a) determinando um valor característico, que é em seguida dividido por um coeficiente parcial e, se necessário, multiplicado por um factor de conversão explícito (ver D.7.2 e D.8.2);
- b) determinando directamente o valor de cálculo, tendo em conta, implícita ou explicitamente, a conversão dos resultados e a fiabilidade total requerida (ver D.7.3 e D.8.3).



**NOTA:** Em geral, dá-se preferência ao método a) desde que o valor do coeficiente parcial seja determinado a partir do método de cálculo normal (ver (3)).

(2) A determinação de um valor característico a partir de ensaios (método D.5(1)a)) deverá ter em conta:

- a) a dispersão dos resultados dos ensaios;
- b) a incerteza estatística associada ao número de ensaios;
- c) o conhecimento estatístico prévio.

(3) O coeficiente parcial a aplicar a um valor característico deverá ser obtido no Eurocódigo aplicável, desde que haja uma semelhança suficiente entre os ensaios e o domínio de aplicação corrente do coeficiente parcial tal como utilizado nas verificações numéricas.

(4) Se a resposta da estrutura ou do elemento estrutural ou a resistência do material depender de influências que não estejam suficientemente contempladas nos ensaios, como, por exemplo:

- os efeitos de tempo e de duração;
- os efeitos de escala e de dimensão;
- as diferentes condições ambientais, de carregamento e de fronteira;
- os efeitos da resistência;

o modelo de cálculo deverá ter em conta, de modo adequado, essas influências.

(5) Em casos especiais, quando se utiliza o método indicado em D.5(1)b), ao determinar os valores de cálculo deverá ter-se em conta :

- os estados limites;
- o nível de fiabilidade requerido;
- a compatibilidade com as hipóteses associadas às acções (expressão C.8a));
- o tempo de vida útil de projecto requerido, quando apropriado;
- o conhecimento prévio obtido em casos semelhantes.

**NOTA:** Poderão encontrar-se mais informações em D.6, D.7 e D.8.

## **D.6 Princípios gerais para as análises estatísticas**

(1) Ao analisar os resultados dos ensaios, o comportamento dos provetes a ensaiar e os modos de ruína deverão ser comparados com as respectivas previsões teóricas. Quando ocorrem desvios significativos em relação a uma previsão deverá procurar-se uma explicação, o que poderá implicar a realização de mais ensaios, possivelmente em condições diferentes, ou a modificação do modelo teórico.

(2) A análise dos resultados dos ensaios deverá basear-se em métodos estatísticos, com a utilização das informações (estatísticas) disponíveis sobre o tipo de distribuição a utilizar e os parâmetros a ela associados. Os métodos indicados neste Anexo poderão ser utilizados apenas quando forem satisfeitas as seguintes condições:

- os dados estatísticos (incluindo as informações prévias) tenham sido obtidos em populações identificadas e suficientemente homogéneas;
- esteja disponível um número suficiente de observações.

**NOTA:** Ao nível da interpretação dos resultados dos ensaios, podem distinguir-se três categorias principais:

- nos casos em que seja realizado apenas um ensaio (ou um número muito reduzido de ensaios), não é possível efectuar uma interpretação estatística clássica. Apenas a utilização de uma grande quantidade de informações prévias, associadas às hipóteses sobre os graus de importância relativa dessas informações e dos resultados dos ensaios, permite apresentar uma interpretação como sendo estatística (métodos Bayesianos, ver a ISO 12491);
- se for realizada uma série de ensaios maior para analisar um parâmetro, poderá ser possível uma interpretação estatística clássica. Os casos mais correntes são tratados, como exemplos, em D.7. Esta interpretação necessitará ainda de utilizar algumas informações prévias sobre o parâmetro; no entanto, estas serão normalmente em menor número do que no caso anterior;
- quando se realiza uma série de ensaios para calibrar um modelo (como uma função) e um ou mais parâmetros associados, é possível efectuar uma interpretação estatística clássica.

(3) O resultado da análise de um ensaio só deverá ser considerado válido para as especificações e características de carga consideradas nos ensaios. Para extrapolação dos resultados visando abranger outros parâmetros de cálculo e outras cargas, deverão utilizar-se informações adicionais, obtidas em ensaios anteriores ou em bases teóricas.

## D.7 Determinação estatística de uma propriedade individual

### D.7.1 Generalidades

(1) A secção D.7 fornece expressões práticas para a determinação de valores de cálculo a partir de ensaios dos tipos (a) e (b) de D.3(3) de uma propriedade individual (por exemplo, uma resistência) ao utilizar os métodos de avaliação (a) e (b) de D.5(1).

**NOTA:** As expressões apresentadas, que utilizam processos Bayesianos com distribuições prévias “vagas” (contendo pouca informação), conduzem praticamente aos mesmos resultados que a estatística clássica, com níveis de confiança iguais a 0,75.

(2) A propriedade individual  $X$  poderá representar:

- a) uma resistência de um produto;
- b) uma propriedade que contribua para a resistência de um produto.

(3) No caso a), o método descrito em D.7.2 e D.7.3 pode ser aplicado directamente para a determinação dos valores característicos ou de cálculo, ou, ainda, dos coeficientes parciais.

(4) No caso b), deverá considerar-se que o valor de cálculo da resistência inclui também:

- os efeitos de outras propriedades;
- a incerteza do modelo;
- outros efeitos (de escala, de volume, etc.).

(5) Os quadros e expressões indicados em D.7.2 e D.7.3 baseiam-se nas seguintes hipóteses:

- todas as variáveis satisfazem uma distribuição normal ou lognormal;
- não existe conhecimento prévio do valor médio;
- para o caso " $V_X$  desconhecido", não existe conhecimento prévio do coeficiente de variação;
- para o caso " $V_X$  conhecido", existe conhecimento satisfatório do coeficiente de variação.

**NOTA:** A adopção de uma distribuição lognormal para certas variáveis tem a vantagem de não poderem ocorrer valores negativos, como, por exemplo, para as variáveis geométricas e de resistência.

Na prática, é muitas vezes preferível utilizar o caso " $V_X$  conhecido" com uma estimativa superior conservativa de  $V_X$ , em vez de aplicar as regras fornecidas para o caso " $V_X$  desconhecido". Além disso,  $V_X$ , quando desconhecido, deverá ser considerado não inferior a 0,10.

### D.7.2 Avaliação pelo valor característico

(1) O valor de cálculo de uma propriedade  $X$  deverá ser obtido por:

$$X_d = \eta_d \frac{X_{k(n)}}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} m_X \{1 - k_n V_X\} \quad (D.1)$$

em que:

$\eta_d$  valor de cálculo do factor de conversão.

**NOTA:** A avaliação do factor de conversão apropriado depende muito do tipo de ensaio e do tipo de material.

O valor de  $k_n$  consta do Quadro D.1.

(2) Ao utilizar o Quadro D.1, deverá ser considerado um de dois casos, conforme a seguir indicado.

– A linha " $V_X$  conhecido" deverá ser utilizada se o coeficiente de variação,  $V_X$ , ou um limite superior realista do mesmo, for conhecido previamente.

**NOTA:** O conhecimento prévio pode basear-se na avaliação de ensaios anteriores em situações comparáveis. O que é "comparável" resulta de avaliação técnica (ver D.7.1(3)).

– A linha " $V_X$  desconhecido" deverá ser utilizada se o coeficiente de variação  $V_X$  não for previamente conhecido, tendo, portanto, que ser estimado a partir da amostra como:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - m_x)^2 \quad (D.2)$$

$$V_X = s_X / m_X \quad (D.3)$$

(3) O coeficiente parcial  $\gamma_m$  deverá ser seleccionado de acordo com o domínio de aplicação dos resultados do ensaio.

Quadro D.1 – Valores de  $k_n$  para o valor característico de 5 %

$n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_X$ conhecido	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$V_X$ desconhecido	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

**NOTA 1:** Este Quadro baseia-se na distribuição normal.

**NOTA 2:** Com uma distribuição lognormal, a expressão (D.1) passa a ser:

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \exp[m_y - k_n s_y]$$

em que:

$$m_y = \frac{1}{n} \sum \ln(x_i)$$

Se  $V_X$  for conhecido previamente,  $s_y = \sqrt{\ln(V_X^2 + 1)} \approx V_X$

Se  $V_X$  for desconhecido previamente,  $s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\ln x_i - m_y)^2}$

### D.7.3 Avaliação directa do valor de cálculo para verificações do estado limite último

(1) O valor de cálculo  $X_d$  de  $X$  deverá ser obtido por:

$$X_d = \eta_d m_X \{1 - k_{d,n} V_X\} \quad (D.4)$$

Neste caso,  $\eta_d$  deverá contemplar todas as incertezas não abrangidas pelos ensaios.

(2)  $k_{d,n}$  deverá ser obtido a partir do Quadro D.2.

Quadro D.2 – Valores de  $k_{d,n}$  para o valor de cálculo relativo a estados limites últimos

$n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_X$ conhecido	4,36	3,77	3,56	3,44	3,37	3,33	3,27	3,23	3,16	3,13	3,04
$V_X$ desconhecido	-	-	-	11,40	7,85	6,36	5,07	4,51	3,64	3,44	3,04

**NOTA 1:** Este Quadro baseia-se na hipótese de o valor de cálculo corresponder ao produto  $\alpha_k \beta = 0,8 \times 3,8 = 3,04$  (ver o Anexo C) e  $X$  ter uma distribuição normal. Tal corresponde a uma probabilidade de 0,1 % de se observar um valor inferior.

**NOTA 2:** Com uma distribuição lognormal, a expressão (D.4) passa a ser:

$$X_d = \eta_d \exp[m_y - k_{d,n} s_y]$$

## D.8 Determinação estatística de modelos de resistência

### D.8.1 Generalidades

(1) A secção D.8 destina-se, principalmente, a definir procedimentos (métodos) para calibração de modelos de resistência e para determinação de valores de cálculo a partir de ensaios do tipo d) (ver D.3(1)). Serão utilizadas as informações prévias disponíveis (conhecimentos ou hipóteses).

(2) Com base na observação do comportamento real em ensaios e em considerações de ordem teórica, deverá ser desenvolvido um “modelo de cálculo” que conduza à determinação de uma função de resistência. A validade deste modelo deverá ser depois verificada por meio de uma interpretação estatística de todos os dados de ensaios disponíveis. Em caso de necessidade, o modelo de cálculo é ajustado até se obter uma correlação suficiente entre os valores teóricos e os dados dos ensaios.

(3) O desvio nas previsões obtidas, utilizando o modelo de cálculo, deverá ser também determinado a partir dos ensaios. Este desvio terá de ser combinado com os desvios das outras variáveis da função de resistência, para se obter a ordem de grandeza do desvio global. Aquelas outras variáveis incluem:

– o desvio na resistência do material e na rigidez;

– o desvio nas grandezas geométricas.

(4) A resistência característica deverá ser determinada tendo em conta os desvios de todas as variáveis.

(5) Distinguem-se, em D.5(1), dois métodos diferentes para determinação dos valores de cálculo, os quais são desenvolvidos em D.8.2 e D.8.3. Em D.8.4 são indicadas, adicionalmente, algumas simplificações possíveis.

Estes métodos são apresentados como uma sucessão discreta de etapas, sendo indicados e comentados alguns pressupostos relativamente à população de ensaio; estes pressupostos são aplicáveis a alguns dos casos mais correntes.

## **D.8.2 Procedimento padrão de avaliação (Método (a))**

### **D.8.2.1 Generalidades**

(1) No procedimento padrão de avaliação são feitas as seguintes hipóteses:

- a) a função de resistência é uma função de um conjunto de variáveis independentes  $\underline{X}$ ;
- b) dispõe-se de um número suficiente de resultados de ensaios;
- c) são quantificadas todas as necessárias propriedades, quer geométricas quer dos materiais;
- d) não há correlação (dependência estatística) entre as variáveis da função de resistência;
- e) todas as variáveis seguem uma distribuição normal ou lognormal.

*NOTA:* A adopção de uma distribuição lognormal para uma variável tem a vantagem de não poderem ocorrer valores negativos.

(2) O procedimento padrão para o método referido em D.5(1)a) inclui as sete etapas indicadas em D.8.2.2.1 a D.8.2.2.7.

### **D.8.2.2 Procedimento padrão**

#### **D.8.2.2.1 Etapa 1: Desenvolvimento de um modelo de cálculo**

(1) Desenvolver um modelo de cálculo para a resistência teórica  $r_t$  do elemento ou do pormenor estrutural considerado, representado pela função de resistência:

$$r_t = g_{\pi}(\underline{X}) \quad (\text{D.5})$$

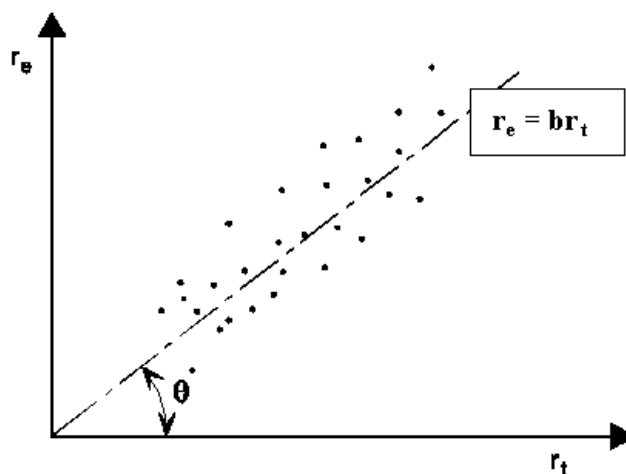
(2) A função de resistência deverá incluir todas as adequadas variáveis básicas  $\underline{X}$  que afectam a resistência no estado limite considerado.

(3) Todos os parâmetros básicos deverão ser medidos em cada provete  $i$  a ensaiar (hipótese (c) em D.8.2.1) e deverão estar disponíveis para a avaliação.

#### **D.8.2.2.2 Etapa 2: Comparação entre os valores experimentais e teóricos**

(1) Atribuir às propriedades que constam da função de resistência os respectivos valores reais medidos, de forma a obter valores teóricos  $r_{ti}$  com vista à sua comparação com os valores experimentais  $r_{ei}$  obtidos nos ensaios.

(2) Os pontos que representam pares de valores correspondentes ( $r_{ti}$ ,  $r_{ei}$ ) deverão ser representados num diagrama, conforme indicado na Figura D.1.

Figura D.1 – Diagrama  $r_e - r_t$ 

(3) Se a função de resistência é exacta e completa, todos os pontos situam-se sobre a recta com  $\theta = \pi/4$ . Na prática, os pontos terão alguma dispersão, mas as causas de qualquer desvio sistemático em relação àquela recta deverão ser investigadas para verificar se tal traduz erros nos métodos de ensaio ou na função de resistência.

#### D.8.2.2.3 Etapa 3: Estimativa do valor médio do factor de correcção $b$

(1) Representar o modelo probabilístico da resistência  $r$  no formato:

$$r = b r_t \delta \quad (\text{D.6})$$

em que:

$b$  inclinação da regressão linear dos mínimos quadrados obtida por:

$$b = \frac{\sum r_e r_t}{\sum r_t^2} \quad (\text{D.7})$$

(2) O valor médio da função de resistência teórica, calculado utilizando os valores médios  $\underline{X}_m$  das variáveis básicas, pode ser obtido por:

$$r_m = b r_t(\underline{X}_m) \delta = b g_{rt}(\underline{X}_m) \delta \quad (\text{D.8})$$

#### D.8.2.2.4 Etapa 4: Estimativa do coeficiente de variação dos erros

(1) O erro  $\delta_i$  para cada valor experimental  $r_{ei}$  deverá ser determinado a partir da expressão (D.9):

$$\delta_i = \frac{r_{ei}}{b r_{ti}} \quad (\text{D.9})$$

(2) A partir dos valores de  $\delta_i$ , deverá ser determinado um valor estimado para  $V_\delta$  definindo:

$$\Delta_i = \ln(\delta_i) \quad (\text{D.10})$$

(3) O valor estimado  $\bar{\Delta}$  para  $E(\Delta)$  deverá ser obtido por:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad (\text{D.11})$$

(4) O valor estimado  $s_{\Delta}^2$  para  $\sigma_{\Delta}^2$  deverá ser obtido por:

$$s_{\Delta}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \Delta_i - \bar{\Delta} \right)^2 \quad (\text{D.12})$$

(5) A expressão:

$$V_{\delta} = \sqrt{\exp(s_{\Delta}^2) - 1} \quad (\text{D.13})$$

poderá ser utilizada como o coeficiente de variação  $V_{\delta}$  dos erros  $\delta_i$ .

#### D.8.2.2.5 Etapa 5: Análise da compatibilidade

(1) Deverá ser analisada a compatibilidade da população de ensaio com as hipóteses feitas para a função de resistência.

(2) Se a dispersão dos valores ( $r_{ei}$ ,  $r_{ii}$ ) for demasiado elevada para se obterem funções de resistência de cálculo económicas, essa dispersão poderá ser reduzida de uma das seguintes formas:

- corrigindo o modelo de cálculo, de modo a ter em conta parâmetros que tenham sido anteriormente ignorados;
- modificando  $b$  e  $V_{\delta}$ , dividindo a população total de ensaio em subconjuntos apropriados para os quais a influência daqueles parâmetros adicionais poderá ser considerada constante.

(3) Para determinar quais os parâmetros que têm mais influência na dispersão, os resultados dos ensaios poderão ser divididos em subconjuntos relativos a esses parâmetros.

**NOTA:** O objectivo é melhorar a função de resistência por subconjunto, analisando cada subconjunto e utilizando o procedimento padrão. A desvantagem de dividir os resultados dos ensaios em subconjuntos é que o número de resultados de ensaios em cada subconjunto pode tornar-se muito reduzido.

(4) Ao determinar os coeficientes de quantilho,  $k_n$ , (ver a Etapa 7), o valor de  $k_n$  para os subconjuntos poderá ser determinado com base no número total de ensaios da série original.

**NOTA:** Chama-se a atenção para o facto de a distribuição de frequências, relativamente à resistência, poder ser melhor descrita por uma função bimodal ou multimodal. Podem utilizar-se técnicas especiais de aproximação para transformar estas funções numa distribuição unimodal.

#### D.8.2.2.6 Etapa 6: Determinação dos coeficientes $V_{Xi}$ das variáveis básicas

(1) Se se puder demonstrar que a população de ensaio é totalmente representativa da variabilidade da população real, os coeficientes de variação  $V_{Xi}$  das variáveis básicas da função de resistência poderão ser determinados a partir dos dados dos ensaios. No entanto, uma vez que, em geral, tal não acontece, os coeficientes de variação  $V_{Xi}$  terão que ser normalmente determinados com base em algum conhecimento prévio.

#### D.8.2.2.7 Etapa 7: Determinação do valor característico $r_k$ da resistência

(1) Se a função de resistência para  $j$  variáveis básicas for uma função produto da forma:

$$r = b r_i \delta = b \{ X_1 \times X_2 \dots X_j \} \delta$$

o valor médio  $E(r)$  poderá ser obtido por:

$$E(r) = b \{E(X_1) \times E(X_2) \dots E(X_j)\} = b g_{rt}(\underline{X}_m) \quad (D.14a)$$

e o coeficiente de variação  $V_r$  poderá ser obtido a partir da função produto:

$$V_r^2 = (V_\delta^2 + 1) \left[ \prod_{i=1}^j (V_{Xi}^2 + 1) \right] - 1 \quad (D.14b)$$

(2) Em alternativa, para pequenos valores de  $V_\delta^2$  e  $V_{Xi}^2$ , poderá utilizar-se a seguinte aproximação de  $V_r$ :

$$V_r^2 = V_\delta^2 + V_{rt}^2 \quad (D.15a)$$

com:

$$V_{rt}^2 = \sum_{i=1}^j V_{Xi}^2 \quad (D.15b)$$

(3) Se a função de resistência for uma função mais complexa, da forma:

$$r = b r_t \delta = b g_{rt}(X_1, \dots, X_j) \delta$$

o valor médio  $E(r)$  poderá ser obtido por:

$$E(r) = b g_{rt}(E(X_1), \dots, E(X_j)) = b g_{rt}(\underline{X}_m) \quad (D.16a)$$

e o coeficiente de variação  $V_{rt}$  poderá ser obtido por:

$$V_{rt}^2 = \frac{\text{VAR}[g_{rt}(\underline{X})]}{g_{rt}^2(\underline{X}_m)} \cong \frac{1}{g_{rt}^2(\underline{X}_m)} \times \sum_{i=1}^j \left( \frac{\partial g_{rt}}{\partial X_i} \sigma_i \right)^2 \quad (D.16b)$$

(4) Se o número de ensaios for limitado (por exemplo  $n < 100$ ), deverão ter-se em consideração as incertezas estatísticas na distribuição de  $\Delta$ . A distribuição deverá ser considerada como uma distribuição t-central, com os parâmetros  $\bar{\Delta}$ ,  $V_\Delta$  e  $n$ .

(5) Neste caso, a resistência característica  $r_k$  deverá ser obtida por:

$$r_k = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_\infty \alpha_{rt} Q_{rt} - k_n \alpha_\delta Q_\delta - 0,5 Q^2) \quad (D.17)$$

com:

$$Q_{rt} = \sigma_{\ln(r_t)} = \sqrt{\ln(V_{rt}^2 + 1)} \quad (D.18a)$$

$$Q_\delta = \sigma_{\ln(\delta)} = \sqrt{\ln(V_\delta^2 + 1)} \quad (D.18b)$$

$$Q = \sigma_{\ln(r)} = \sqrt{\ln(V_r^2 + 1)} \quad (D.18c)$$

$$\alpha_{rt} = \frac{Q_{rt}}{Q} \quad (D.19a)$$



$$\alpha_{\delta} = \frac{Q_{\delta}}{Q} \quad (\text{D.19b})$$

em que:

$k_n$  coeficiente correspondente ao quantilho característico indicado no Quadro D.1 para o caso “ $V_X$  desconhecido”;

$k_{\infty}$  valor de  $k_n$  para  $n \rightarrow \infty$  [ $k_{\infty} = 1,64$ ];

$\alpha_{rt}$  coeficiente de ponderação de  $Q_{rt}$ ;

$\alpha_{\delta}$  coeficiente de ponderação de  $Q_{\delta}$ .

**NOTA:** O valor de  $V_{\delta}$  é estimado a partir da amostra de ensaio considerada.

(6) Se estiver disponível um grande número de ensaios ( $n \geq 100$ ), o valor característico da resistência  $r_k$  poderá ser obtido por:

$$r_k = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{\infty} Q - 0,5 Q^2) \quad (\text{D.20})$$

### D.8.3 Procedimento padrão de avaliação (Método (b))

(1) Neste caso, o procedimento é o mesmo que em D.8.2, excepto que a Etapa 7 é adaptada pela substituição do coeficiente  $k_n$ , correspondente ao quantilho característico, pelo coeficiente  $k_{d,n}$  correspondente ao quantilho de cálculo. Este coeficiente  $k_{d,n}$  será igual ao produto  $\alpha_R \beta$ , estimado em  $0,8 \times 3,8 = 3,04$ , como é geralmente aceite na obtenção do valor de cálculo  $r_d$  da resistência (ver o Anexo C).

(2) Para o caso de um número limitado de ensaios, o valor de cálculo  $r_d$  deverá ser obtido por:

$$r_d = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{d,\infty} \alpha_{rt} Q_{rt} - k_{d,n} \alpha_{\delta} Q_{\delta} - 0,5 Q^2) \quad (\text{D.21})$$

em que:

$k_{d,n}$  coeficiente correspondente ao quantilho de cálculo indicado no Quadro D.2 para o caso “ $V_X$  desconhecido”;

$k_{d,\infty}$  valor de  $k_{d,n}$  para  $n \rightarrow \infty$  [ $k_{d,\infty} = 3,04$ ].

**NOTA:** O valor de  $V_{\delta}$  será estimado a partir da amostra de ensaio considerada.

(2) Para o caso de um grande número de ensaios, o valor de cálculo  $r_d$  poderá ser obtido por:

$$r_d = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{d,\infty} Q - 0,5 Q^2) \quad (\text{D.22})$$

### D.8.4 Utilização de conhecimentos prévios adicionais

(1) Se a validade da função de resistência  $r_t$  e um limite superior (estimativa conservativa) do coeficiente de variação  $V_r$  forem previamente conhecidos, com base num número significativo de ensaios anteriores, poderá ser adoptado o seguinte método simplificado na realização de outros ensaios.

(2) Se apenas se realizar mais um ensaio, o valor característico  $r_k$  poderá ser determinado a partir do resultado  $r_e$  deste ensaio aplicando:

$$r_k = \eta_k r_e \quad (\text{D.23})$$

em que:

$\eta_k$  factor de redução aplicável no caso de conhecimento prévio e que poderá ser obtido por:

$$\eta_k = 0,9 \exp(-2,31 V_r - 0,5 V_r^2) \quad (\text{D.24})$$

em que:

$V_r$  coeficiente de variação máximo observado em ensaios anteriores.

(3) Se forem realizados mais dois ou três ensaios, o valor característico  $r_k$  poderá ser determinado a partir do valor médio  $r_{em}$  dos resultados dos ensaios aplicando:

$$r_k = \eta_k r_{em} \quad (\text{D.25})$$

em que:

$\eta_k$  factor de redução aplicável no caso de conhecimento prévio, e que poderá ser obtido por:

$$\eta_k = \exp(-2,0 V_r - 0,5 V_r^2) \quad (\text{D.26})$$

em que:

$V_r$  coeficiente de variação máximo observado em ensaios anteriores;

desde que cada valor extremo (máximo ou mínimo)  $r_{ee}$  satisfaça a condição:

$$|r_{ee} - r_{em}| \leq 0,10 r_{em} \quad (\text{D.27})$$

(4) Os valores do coeficiente de variação  $V_r$  indicados no Quadro D.3 poderão ser admitidos para os tipos de ruína a especificar (por exemplo, no Eurocódigo de projecto aplicável), conduzindo aos factores de redução  $\eta_k$  constantes do Quadro, obtidos de acordo com as expressões (D.24) e (D.26).

Quadro D.3 – Factor de redução  $\eta_k$

Coeficiente de variação $V_r$	Factor de redução $\eta_k$	
	Para 1 ensaio	Para 2 ou 3 ensaios
0,05	0,80	0,90
0,11	0,70	0,80
0,17	0,60	0,70

## **Bibliografia**

ISO 2394	<i>General principles on reliability for structures</i>
ISO 2631:1997	<i>Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration</i>
ISO 3898	<i>Basis for design of structures – Notations – General symbols</i>
ISO 6707-1	<i>Building and civil engineering – Vocabulary – Part 1: General terms</i>
ISO 8930	<i>General principles on reliability for structures – List of equivalent terms</i>
EN ISO 9001:2000	<i>Quality management systems – Requirements (ISO 9001:2000)</i>
ISO 10137	<i>Basis for design of structures – Serviceability of buildings against vibrations</i>
ISO 8402	<i>Quality management and quality assurance – Vocabulary</i>

## **Anexo Nacional NA**

### **Introdução**

O presente Anexo Nacional foi elaborado no âmbito da actividade da Comissão Técnica Portuguesa de Normalização CT 115 – Eurocódigos Estruturais, cuja coordenação é assegurada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) na sua qualidade de Organismo de Normalização Sectorial (ONS) no domínio dos Eurocódigos Estruturais.

A inclusão de um Anexo Nacional na NP EN 1990:2009 decorre do disposto no Preâmbulo desta Norma.

### **NA.1 – Objectivo e campo de aplicação**

Este Anexo Nacional estabelece as condições para a implementação, em Portugal, da NP EN 1990:2009 – “Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas”, as quais se referem aos seguintes aspectos:

- a) Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) para edifícios;
- b) utilização dos Anexos informativos;
- c) informações complementares não contraditórias.

Neste Anexo Nacional especificam-se apenas os NDP correspondentes ao Anexo A1 (normativo) “Aplicação a edifícios”.

*NOTA:* As versões nacionais de Anexos normativos da EN 1990 referentes a outros tipos de estruturas serão acompanhadas, quando da sua publicação, dos correspondentes Anexos Nacionais.

### **NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) para edifícios**

#### **NA.2.1 – Generalidades**

Os Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) relativos às Regras de Aplicação onde são permitidas opções nacionais são estabelecidos no Preâmbulo da presente Norma.

Nas secções NA.2.2 e NA.2.3 referem-se, respectivamente, as Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional e com prescrições a nível nacional. As prescrições a nível nacional, indicadas na secção NA.2.3, são referenciadas do mesmo modo que no corpo da Norma mas precedidas de “NA – “.

#### **NA.2.2 – Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional**

Relativamente a:

- A1.2.2 (Quadro A1.1)
- A1.4.2(2)

prescinde-se de introduzir prescrições a nível nacional, devendo adoptar-se as correspondentes prescrições constantes do Anexo A1 desta Norma e, se tal for o caso, os procedimentos ou os valores aí recomendados.

### NA.2.3 – Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional

#### a) NA–A1.1(1)

Para o projecto de edifícios podem ser adoptados os valores indicativos do tempo de vida útil de projecto constantes do Quadro 2.1, devendo também incluir-se na categoria 5 desse quadro as estruturas de edifícios social ou economicamente muito importantes.

#### b) NA–A1.2.1(1)

No projecto de estruturas de edifícios não devem ser utilizadas as combinações de acções indicadas nas expressões (6.10a) e (6.10b), tendo em conta a opção nacional adoptada no Quadro NA–A1.2(B).

#### c) NA–A1.3.1(1) (Quadros A1.2 (A) a (C))

Devem ser adoptados os Quadros NA–A1.2(A) a NA–A1.2(C) em vez dos Quadros A1.2(A) a A1.2(C), tendo-se introduzido naqueles quadros a acção de pré-esforço, dado que tal acção também consta da expressão (6.10).

Quadro NA–A1.2(A) – Valores de cálculo das acções (EQU) (Conjunto A)

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Pré-esforço	Acção variável de base da combinação <sup>*)</sup>	Acções variáveis acompanhantes <sup>*)</sup>
	Desfavoráveis	Favoráveis	$\gamma_P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$			

<sup>\*)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.

**NOTA:** Os valores de  $\gamma_F$  que devem ser adoptados são os seguintes:

$\gamma_{Gj,sup} = 1,10$

$\gamma_{Gj,inf} = 0,90$

$\gamma_{Q,1} = 1,50$  nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)

$\gamma_{Q,i} = 1,50$  nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)

$\gamma_F$  - os valores deste coeficiente constam dos Eurocódigos aplicáveis.

Quadro NA–A1.2(B) – Valores de cálculo das acções (STR/GEO) (Conjunto B)

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Pré-esforço	Acção variável de base da combinação <sup>*)</sup>	Acções variáveis acompanhantes <sup>*)</sup>
	Desfavoráveis	Favoráveis	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$			

<sup>\*)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.

**NOTA 1:** As combinações de acções indicadas nas expressões (6.10a) e (6.10b) não devem ser utilizadas.

**NOTA 2:** Os valores de  $\gamma_P$  que devem ser adoptados são os seguintes:

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)}$$

$\gamma_P$  - os valores deste coeficiente constam dos Eurocódigos aplicáveis.

Para os valores de  $\gamma_a$  utilizar para as deformações impostas, ver os Eurocódigos aplicáveis.

**NOTA 3:** Os valores característicos de todas as acções permanentes com a mesma origem são multiplicados por  $\gamma_{Gj,sup}$  caso o efeito total das acções resultante seja desfavorável, e por  $\gamma_{Gj,inf}$ , caso o efeito total das acções resultante seja favorável. Por exemplo, todas as acções devidas ao peso próprio da estrutura podem ser consideradas como sendo da mesma origem; tal também se aplica se estiverem envolvidos diferentes materiais.

**NOTA 4:** Para determinadas verificações, os valores de  $\gamma_G$  e de  $\gamma_Q$  podem ser subdivididos em  $\gamma_g$  e  $\gamma_q$  e no coeficiente de incerteza do modelo  $\gamma_{sd}$ . Na maioria dos casos correntes, pode utilizar-se um valor de  $\gamma_{sd}$  variando entre 1,05 e 1,15.

Quadro NA–A1.2(C) – Valores de cálculo das acções (STR/GEO) (Conjunto C)

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Pré-esforço	Acção variável de base da combinação <sup>*)</sup>	Acções variáveis acompanhantes <sup>*)</sup>
	Desfavoráveis	Favoráveis	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$			

<sup>\*)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1

**NOTA:** Os valores de  $\gamma_P$  que devem ser adoptados são os seguintes:

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,00$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,30 \text{ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,30 \text{ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)}$$

$\gamma_P$  - os valores deste coeficiente constam dos Eurocódigos aplicáveis.

#### **d) NA–A1.3.1(5)**

As abordagens a adoptar são estabelecidas no Anexo Nacional da NP EN 1997-1, dada a influência de parâmetros de natureza geotécnica nas verificações de segurança em causa.

#### **e) NA–A1.3.2 (Quadro A1.3)**

Deve ser adoptado o Quadro NA–A1.3 em vez do Quadro A1.3, tendo-se introduzido naquele quadro a acção de pré-esforço, dado que tal acção também consta das expressões (6.11) e (6.12).

Quadro NA–A1.3 – Valores de cálculo das acções a utilizar nas situações de projecto  
acidentais e sísmicas

Situações de projecto	Acções permanentes		Pré-esforço	Acções de acidente ou sísmicas de base da combinação	Acções variáveis acompanhantes <sup>*)</sup>	
	Desfavoráveis	Favoráveis			Principais	Outras
Acidentais (Expressões 6.11a/b)	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$P$	$A_d$	$\psi_{1,i} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Sísmicas <sup>**) (Expressões 6.12a/b)</sup>	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$P$	$\gamma A_{Ek}$ ou $A_{Ed}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$	

<sup>\*)</sup> As acções variáveis são as consideradas no Quadro A 1.1.

<sup>\*\*) Ver também a NP EN 1998.</sup>

### **NA.3 – Utilização dos Anexos informativos**

Em Portugal, os Anexos B, C e D mantêm o carácter informativo.

Dado o carácter informativo destes anexos, eles só poderão ser aplicados desde que tal não prejudique os Princípios estabelecidos na presente Norma e se tenha em conta o disposto em 1.4(5), sempre que eventuais regras de projecto resultantes da aplicação destes anexos possuam um cariz alternativo às Regras de Aplicação estabelecidas nesta Norma.

### **NA.4 – Informações complementares**

#### **NA.4.1 – Objectivo**

Na secção NA.4 são fornecidas informações complementares não contraditórias com as prescrições da presente Norma, visando auxiliar a aplicação desta Norma.

#### **NA.4.2 – Informações gerais**

##### **a) Estados limites últimos não referidos na NP EN 1990**

São referidos na presente Norma quatro tipos de estados limites últimos (ver 6.4.1) designados, abreviadamente, por EQU, STR, GEO e FAT, sendo que as combinações de acções e os critérios de verificação da segurança relativos ao estado limite de fadiga (FAT) não constam da NP EN 1990 e são remetidos para as NP EN 1992 a NP EN 1999.

Na NP EN 1997-1, além dos estados limites EQU, STR e GEO anteriormente referidos, são também considerados dois outros tipos particulares de estados limites últimos, designados, abreviadamente, por UPL e HYD (ver 2.4.7.1.1(P) da NP EN 1997-1). Nessa Norma também se indicam os coeficientes parciais  $\gamma$  a

aplicar na verificação das respectivas condições de segurança (ver A.4 e A.5 do Anexo normativo A da NP EN 1997-1). No Anexo Nacional da NP EN 1997-1 são indicados os valores destes coeficientes que devem ser adoptados em Portugal.

#### **b) Aspectos omissos nas NP EN 1990 a NP EN 1999**

Nos casos em que as NP EN 1990 a NP EN 1999 sejam omissas relativamente a alguns aspectos do projecto ou à execução da estrutura de uma determinada obra de engenharia civil, poderão, se necessário, adoptar-se, sobre os aspectos em causa, especificações constantes de normas e regulamentos idóneos, desde que tal conduza a resultados compatíveis com os Princípios estabelecidos no conjunto das NP EN referidas.

### **NA.4.3 – Informações específicas**

#### **a) Gestão da fiabilidade estrutural das construções (Anexo B)**

O Anexo B pode ser usado como orientação geral para o desenvolvimento e implementação de sistemas de gestão da fiabilidade estrutural das construções, incluindo aspectos ligados à qualidade do projecto e da construção das estruturas. Saliente-se que, relativamente a estes últimos aspectos, são fornecidas neste Anexo indicações importantes para a satisfação dos pressupostos subjacentes à aplicação da presente Norma (ver 1.3).

#### **b) Bases para o método dos coeficientes parciais e para a análise da fiabilidade (Anexo C)**

O Anexo C pode ser usado para a calibração de valores de cálculo e de coeficientes parciais, particularmente no que se refere a acções não consideradas ou não quantificadas nas NP EN 1991 e NP EN 1998.

#### **c) Projecto com apoio experimental (Anexo D)**

A aplicação do Anexo D pode permitir obter dados com interesse para a quantificação de parâmetros relevantes para o projecto de alguns tipos de estruturas.

### **NA.5 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais**

<b>Norma europeia</b>	<b>Norma nacional</b>	<b>Título</b>
EN 1991-1-1:2002	NP EN 1991-1-1:2009	<i>Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-1: Acções gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios</i>
EN 1991-1-3:2003	NP EN 1991-1-3:2009	<i>Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-3: Acções gerais – Acções da neve</i>
EN 1991-1-5:2003	NP EN 1991-1-5:2009	<i>Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-5: Acções gerais – Acções térmicas</i>