

# Norma Portuguesa

---

**NP**  
**EN 1991-1-4**  
**2010**

**Eurocódigo 1 – Acções em estruturas**  
**Parte 1-4: Acções gerais**  
**Acções do vento**

Eurocode 1 – Actions sur les structures  
Partie 1-4: Actions générales  
Actions du vent

Eurocode 1 – Actions on structures  
Part 1-4: General actions  
Wind actions

**ICS**  
91.010.30

**DESCRIPTOR**  
Eurocódigo; estruturas; ventos; betão armado; resistência ao vento; cálculos matemáticos; pontes; edifícios

**CORRESPONDÊNCIA**  
Versão portuguesa da EN 1991-1-4:2005 + AC:2010

**HOMOLOGAÇÃO**  
Termo de Homologação n.º 67/2010, de 2010-03-19

**ELABORAÇÃO**  
CT 115 (LNEC)

**EDIÇÃO**  
Março de 2010

**CÓDIGO DE PREÇO**  
XEC041

© 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 1992-1-4:2005, foi dado estatuto de Norma Portuguesa em 2005-08-16 (Termo de Adopção nº 1155/2005, de 2005-08-16).

A presente Norma é a versão portuguesa da EN 1991-1-4:2005 + AC:2010, a qual faz parte de um conjunto de normas integrantes do Eurocódigo 1: Acções em estruturas.

Esta Norma constitui a Parte 1-4 do Eurocódigo 1, fornecendo orientações para a determinação das acções do vento natural, a utilizar no projecto estrutural de edifícios e de outras obras de engenharia civil. Nas restantes Partes do mesmo Eurocódigo são tratadas outras acções que interessam ao projecto de estruturas. As acções geotécnicas e a acção sísmica são tratadas nos Eurocódigos 7 e 8, respectivamente.

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).

NORMA EUROPEIA  
EUROPÄISCHE NORM  
NORME EUROPÉENNE  
EUROPEAN STANDARD

**EN 1991-1-4**

Abril 2005

**+ AC**

Janeiro 2010

ICS: 91.010.30

Substitui a ENV 1991-2-4:1995

**Versão portuguesa**

Eurocódigo 1 – Acções em estruturas  
Parte 1-4: Acções gerais – Acções do vento

Eurocode 1 – Einwirkungen auf  
Tragwerke  
Teil 1-4: Allgemeine  
Einwirkungen  
Windlasten

Eurocode 1 – Actions sur les  
structures  
Partie 1-4: Actions générales  
Actions du vent

Eurocode 1 – Actions on  
structures  
Part 1-4: General actions  
Wind actions

A presente Norma é a versão portuguesa da Norma Europeia EN 1991-1-4:2005 + AC:2010 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 2004-06-04 e 2010-01-27, 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, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

**CEN**

Comité Européen de Normalization  
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 1991-1-4.....	11
Anexo Nacional da EN 1991-1-4 .....	11
<b>1 Generalidades.....</b>	<b>14</b>
1.1 Objectivo e campo de aplicação .....	14
1.2 Referências normativas.....	15
1.3 Pressupostos.....	15
1.4 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação .....	15
1.5 Projecto com apoio experimental e de medições.....	15
1.6 Termos e definições.....	15
1.7 Símbolos .....	16
<b>2 Situações de projecto .....</b>	<b>21</b>
<b>3 Modelação das acções do vento .....</b>	<b>21</b>
3.1 Natureza.....	21
3.2 Representações das acções do vento.....	22
3.3 Classificação das acções do vento .....	22
3.4 Valores característicos .....	22
3.5 Modelos .....	22
<b>4 Velocidade do vento e pressão dinâmica .....</b>	<b>22</b>
4.1 Base de cálculo .....	22
4.2 Valores de referência .....	23
4.3 Vento médio .....	24
4.3.1 Variação com a altura .....	24
4.3.2 Rugosidade do terreno .....	24
4.3.3 Orografia.....	26
4.3.4 Construções vizinhas de grande porte e de altura consideravelmente maior.....	27

---

4.3.5 Edifícios e obstáculos pouco espaçados .....	27
4.4 Turbulência do vento.....	27
4.5 Pressão dinâmica de pico .....	27
<b>5 Acções do vento.....</b>	<b>29</b>
5.1 Generalidades .....	29
5.2 Pressão exercida pelo vento em superfícies .....	30
5.3 Forças exercidas pelo vento .....	31
<b>6 Coeficiente estrutural <math>c_s c_d</math>.....</b>	<b>33</b>
6.1 Generalidades .....	33
6.2 Determinação de $c_s c_d$ .....	33
6.3 Procedimento pormenorizado.....	33
6.3.1 Coeficiente estrutural $c_s c_d$ .....	33
6.3.2 Verificação dos estados limites de utilização .....	35
6.3.3 Excitação por turbulência de esteira.....	35
<b>7 Coeficientes de pressão e de força.....</b>	<b>36</b>
7.1 Generalidades .....	36
7.1.1 Escolha do coeficiente aerodinâmico .....	36
7.1.2 Pressões e forças assimétricas ou em oposição .....	37
7.1.3 Efeitos do gelo e da neve.....	37
7.2 Coeficientes de pressão para edifícios.....	38
7.2.1 Generalidades .....	38
7.2.2 Paredes verticais de edifícios de planta rectangular .....	39
7.2.3 Coberturas em terraço .....	42
7.2.4 Coberturas de uma vertente.....	44
7.2.5 Coberturas de duas vertentes .....	47
7.2.6 Coberturas de quatro vertentes .....	50
7.2.7 Coberturas múltiplas.....	52
7.2.8 Coberturas em abóbada e cúpulas .....	54
7.2.9 Pressão interior .....	55
7.2.10 Pressão sobre paredes ou coberturas com mais de um pano (ou superfície envolvente) .....	57
7.3 Coberturas isoladas.....	59
7.4 Paredes isoladas, platibandas, vedações e painéis de sinalização .....	66
7.4.1 Paredes isoladas e platibandas.....	66

7.4.2 Coeficientes de protecção para paredes e vedações.....	69
7.4.3 Painéis de sinalização .....	69
7.5 Coeficientes de atrito .....	70
7.6 Elementos estruturais de secção rectangular .....	72
7.7 Elementos estruturais de secção com arestas vivas .....	73
7.8 Elementos estruturais de secção poligonal regular .....	74
7.9 Cilindros de base circular .....	75
7.9.1 Coeficientes de pressão exterior .....	75
7.9.2 Coeficientes de força .....	77
7.9.3 Coeficientes de força para cilindros verticais dispostos em linha .....	79
7.10 Esferas .....	80
7.11 Estruturas treliçadas.....	81
7.12 Bandeiras .....	84
7.13 Esbelteza efectiva $\lambda$ e coeficiente de efeitos de extremidade $\psi_x$ .....	85
<b>8 Acções do vento em pontes.....</b>	<b>88</b>
8.1 Generalidades .....	88
8.2 Escolha do procedimento de cálculo da resposta (à acção do vento) .....	90
8.3 Coeficientes de força .....	90
8.3.1 Coeficientes de força na direcção $x$ (método geral).....	90
8.3.2 Força na direcção $x$ - Método simplificado .....	94
8.3.3 Forças na direcção $z$ produzidas pelo vento em tabuleiros de pontes.....	94
8.3.4 Forças na direcção $y$ produzidas pelo vento em tabuleiros de pontes.....	95
8.4 Pilares de pontes .....	96
8.4.1 Direcções do vento e situações de projecto .....	96
8.4.2 Efeitos do vento nos pilares .....	96
<b>Anexo A (informativo) Efeitos do terreno .....</b>	<b>97</b>
A.1 Ilustrações da rugosidade máxima de cada categoria de terreno .....	97
A.2 Transição entre as categorias de rugosidade 0, I, II, III e IV .....	98
A.3 Cálculo numérico dos coeficientes de orografia.....	99
A.4 Construções vizinhas .....	105
A.5 Elevação do nível de referência .....	106
<b>Anexo B (informativo) Procedimento 1 para a determinação do coeficiente estrutural <math>c_s c_d</math> .....</b>	<b>107</b>
B.1 Turbulência do vento .....	107

B.2 Coeficiente estrutural .....	108
B.3 Número de carregamentos para a resposta dinâmica .....	110
B.4 Deslocamento e acelerações para a verificação de uma construção vertical em relação aos estados limites de utilização .....	111
<b>Anexo C (informativo) Procedimento 2 para a determinação do coeficiente estrutural <math>c_s c_d</math> .....</b>	<b>113</b>
C.1 Turbulência do vento .....	113
C.2 Coeficiente estrutural .....	113
C.3 Número de carregamentos para a resposta dinâmica .....	114
C.4 Deslocamento e acelerações para a verificação dos estados limites de utilização .....	114
<b>Anexo D (informativo) Valores de <math>c_s c_d</math> para diferentes tipos de construções .....</b>	<b>116</b>
<b>Anexo E (informativo) Desprendimento de vórtices e instabilidades aeroelásticas .....</b>	<b>121</b>
E.1 Desprendimento de vórtices .....	121
E.2 Galope .....	135
E.3 Galope de interferência de dois ou mais cilindros independentes .....	140
E.4 Divergência e drapejamento ( <i>flutter</i> ) .....	140
<b>Anexo F (informativo) Características dinâmicas das estruturas .....</b>	<b>143</b>
F.1 Generalidades .....	143
F.2 Frequência fundamental .....	143
F.3 Configuração do modo fundamental de vibração .....	148
F.4 Massa equivalente .....	150
F.5 Decremento logarítmico de amortecimento .....	150
<b>Bibliografia .....</b>	<b>153</b>
<b>Anexo Nacional NA .....</b>	<b>154</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>154</b>
<b>NA.1 – Objectivo e campo de aplicação .....</b>	<b>154</b>
<b>NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) .....</b>	<b>154</b>
NA.2.1 – Generalidades .....	154
NA.2.2 – Princípios e Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional .....	154
NA.2.3 – Princípios e Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional .....	155
<b>NA.3 – Utilização dos Anexos informativos .....</b>	<b>160</b>
<b>NA.4 – Informações complementares .....</b>	<b>160</b>
NA.4.1 – Objectivo .....	160
NA.4.2 – Informações gerais .....	160

**NP**  
**EN 1991-1-4**  
**2010**

p. 8 de 162

---

NA.4.3 – Informações específicas .....	160
<b>NA.5 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais .....</b>	<b>162</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 2005, e as normas nacionais divergentes devem ser anuladas o mais tardar em Março de 2010.

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, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

A presente Norma substitui a ENV 1991-2-4:1995.

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

## **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 89/106/CEE do Conselho relativa a produtos de construção – DPC – e as Directivas 93/37/CEE, 92/50/CEE e 89/440/CEE do Conselho 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

---

<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 1994	Eurocódigo 4:	Projecto de estruturas mistas aço-betão
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 89/106/CEE do Conselho, particularmente a Exigência Essencial n.º 1 – Resistência mecânica e estabilidade – e a Exigência Essencial n.º 2 – Segurança contra incêndio;
- 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 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 do vento;
- 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 1991-1-4**

A presente Norma define as acções do vento e apresenta linhas de orientação para o projecto estrutural de edifícios e de outras obras de engenharia civil.

A presente Norma destina-se a donos de obra, projectistas, construtores e autoridades competentes.

A presente Norma destina-se a ser utilizada para o projecto de estruturas, em conjunto com a EN 1990:2002, as outras Partes da EN 1991 e as EN 1992 a EN 1999.

### **Anexo Nacional da EN 1991-1-4**

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 1991-1-4 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 1991-1-4 em:

1.5(2)

---

<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.

# NP

## EN 1991-1-4

### 2010

p. 12 de 162

---

4.1(1)  
4.2(1)P, Nota 2  
4.2(2)P, Notas 1, 2, 3 e 5  
4.3.1(1), Notas 1 e 2  
4.3.2(1)  
4.3.2(2)  
4.3.3(1)  
4.3.4(1)  
4.3.5(1)  
4.4(1), Nota 2  
4.5(1), Notas 1 e 2  
  
5.3(5)  
  
6.1(1)  
6.3.1(1), Nota 3  
6.3.2(1)  
  
7.1.2(2)  
7.1.3(1)  
7.2.1(1), Nota 2  
7.2.2(1)  
7.2.2(2), Nota 1  
7.2.8(1)  
7.2.9(2)  
7.2.10(3), Notas 1 e 2  
7.4.1(1)  
7.4.3(2)  
7.6(1), Nota 1  
7.7(1), Nota 1  
7.8(1)  
7.10(1), Nota 1  
7.11(1), Nota 2  
7.13(1)  
7.13(2)  
  
8.1(1), Notas 1 e 2  
8.1(4)  
8.1(5)  
8.2(1), Nota 1  
8.3(1)  
8.3.1(2)  
8.3.2(1)  
8.3.3(1), Nota 1  
8.3.4(1)  
8.4.2(1)  
  
A.2(1)  
  
E.1.3.3(1)  
E.1.5.1(1), Notas 1 e 2

E.1.5.1(3)  
E.1.5.2.6(1), Nota 1  
E.1.5.3(2), Nota 1  
E.1.5.3(4)  
E.1.5.3(6)  
E.3(2)

## **1 Generalidades**

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

(1) A presente Norma fornece orientações relativamente à determinação das acções do vento natural para o projecto estrutural de edifícios e de outras obras de engenharia civil, para cada uma das áreas submetidas àquelas acções. Tal inclui o conjunto ou partes da estrutura ou elementos ligados a esta, tais como componentes, elementos de revestimento e respectivas ligações, guardas de segurança e barreiras anti-ruído.

(2) A presente Norma aplica-se a:

- edifícios e outras obras de engenharia civil com alturas até 200 m; ver também (11);
- pontes em que nenhum tramo tenha um vão superior a 200 m, desde que satisfaçam os critérios relativos à resposta dinâmica; ver (12) e 8.2.

(3) A presente Norma destina-se a prever as acções características do vento sobre estruturas apoiadas no solo, seus componentes e elementos acessórios.

(4) Certos aspectos necessários à determinação das acções do vento numa estrutura dependem da localização, da disponibilidade e qualidade de dados meteorológicos, do tipo de terreno, etc. É necessário que tais informações sejam fornecidas no Anexo Nacional e no Anexo A, através de opção nacional conforme é indicado pelas notas inseridas no texto. No texto principal são fornecidos valores por defeito e métodos a utilizar caso o Anexo Nacional não forneça informações.

(5) O Anexo A apresenta ilustrações das categorias de terreno e fornece regras relativas aos efeitos da orografia, incluindo a elevação do nível de referência, a mudança de rugosidade, a influência da natureza do local e a influência de construções vizinhas.

(6) Os Anexos B e C fornecem procedimentos alternativos para o cálculo do coeficiente estrutural  $c_s c_d$ .

(7) O Anexo D fornece valores do coeficiente  $c_s c_d$  para diferentes tipos de construções.

(8) O Anexo E fornece regras relativas à resposta ao desprendimento de vórtices e algumas recomendações relativas a outros efeitos aeroelásticos.

(9) O Anexo F fornece características dinâmicas de estruturas com comportamento linear.

(10) A presente Norma não fornece orientações relativamente a efeitos térmicos locais sobre o vento característico, tais como forte inversão térmica à superfície nas regiões árticas, afunilamento ou tornados.

(11) Os mastros espiados e as torres em treliça são tratados na EN 1993-3-1, e os postes de iluminação são tratados na EN 40.

(12) A presente Norma não fornece orientações relativamente aos seguintes aspectos:

- vibrações de torção, por exemplo em edifícios altos com um núcleo central;
- vibrações de tabuleiros de pontes devidas à turbulência transversal do vento;
- acções do vento em pontes suspensas ou de tirantes;
- vibrações em que é necessário considerar outros modos para além do fundamental.

## **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).

EN 1990 <sup>*)</sup>	<i>Eurocode – Basis of structural design</i>
EN 1991-1-3 <sup>*)</sup>	<i>Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-3: Snow loads</i>
EN 1991-1-6	<i>Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-6: Actions during execution</i>
EN 1991-2	<i>Eurocode 1 – Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges</i>
EN 1993-3-1	<i>Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 3-1: Masts and towers</i>

## **1.3 Pressupostos**

(1)P Os pressupostos constantes na EN 1990, 1.3 aplicam-se à presente Norma.

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

(1)P As regras indicadas na EN 1990, 1.4 aplicam-se à presente Norma.

## **1.5 Projecto com apoio experimental e de medições**

(1) A título suplementar, poderá recorrer-se a ensaios em túnel de vento e a métodos numéricos comprovados e/ou devidamente validados a fim de obter informações relativas às acções e à resposta, utilizando modelos adequados da estrutura e do vento natural.

(2) A partir de medições adequadas, à escala real, poderão ser obtidas informações sobre as acções e a resposta, assim como sobre os parâmetros do terreno.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer orientações relativamente ao projecto com apoio experimental e de medições.

## **1.6 Termos e definições**

Para os fins da presente Norma, aplicam-se os termos e definições fornecidos nas ISO 2394, ISO 3898 e ISO 8930, assim como os seguintes termos e definições. Além disso, para os fins da presente Norma considera-se a lista básica de termos e definições fornecida na EN 1990, 1.5.

### **1.6.1 valor básico da velocidade de referência do vento**

Velocidade média do vento referida a períodos de 10 min com uma probabilidade anual de ser excedida igual a 0,02, independentemente da direcção do vento, a uma altura de 10 m acima de terreno plano em campo aberto e tendo em conta os efeitos da altitude (se necessário).

### **1.6.2 valor de referência da velocidade do vento**

Valor básico da velocidade de referência do vento modificado para ter em conta a direcção do vento considerada e a estação do ano (se necessário).

### **1.6.3 velocidade média do vento**

Valor de referência da velocidade do vento modificado para ter em conta os efeitos da rugosidade do terreno e da orografia.

---

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

**1.6.4 coeficiente de pressão**

Os coeficientes de pressão exterior fornecem o efeito do vento nas superfícies exteriores dos edifícios; os coeficientes de pressão interior fornecem o efeito do vento nas superfícies interiores dos edifícios.

Os coeficientes de pressão exterior repartem-se por coeficientes globais e coeficientes locais. Os coeficientes locais correspondem aos coeficientes de pressão para superfícies carregadas de área igual ou inferior a  $1 \text{ m}^2$ , sendo aplicados, por exemplo, no cálculo de elementos de pequena dimensão e ligações; os coeficientes globais correspondem aos coeficientes de pressão para superfícies carregadas de área superior a  $10 \text{ m}^2$ .

Os coeficientes de pressão resultante fornecem o efeito conjunto das pressões exteriores e interiores do vento sobre uma construção, um elemento estrutural ou um componente.

**1.6.5 coeficiente de força**

Os coeficientes de força fornecem o efeito global do vento sobre uma construção, um elemento estrutural ou um componente, considerados no seu todo e incluindo o atrito, caso este não seja especificamente excluído.

**1.6.6 coeficiente de resposta quase-estática**

O coeficiente de resposta quase-estática tem em conta a falta de total correlação das pressões na superfície da construção.

**1.6.7 coeficiente de resposta em ressonância**

O coeficiente de resposta em ressonância tem em conta o efeito da turbulência em ressonância com o modo de vibração.

**1.7 Símbolos**

(1) Para os fins da presente Norma, utilizam-se os símbolos seguintes.

*NOTA:* As notações utilizadas baseiam-se na ISO 3898:1999. Na presente Norma, o símbolo “ponto” nas expressões representa o sinal de multiplicação. Esta notação foi utilizada para evitar confusão com expressões envolvendo funções.

(2) Em 1.6 da EN 1990 apresenta-se uma lista básica de símbolos, sendo apresentados a seguir os símbolos adicionais específicos da presente Norma.

Letras maiúsculas latinas

$A$	área
$A_{fr}$	área varrida pelo vento
$A_{ref}$	área de referência
$B^2$	coeficiente de resposta quase-estática
$C$	coeficiente de força aerodinâmica para pontes
$E$	módulo de Young
$F_{fr}$	força de atrito resultante
$F_j$	força de excitação, associada ao desprendimento de vórtices, no ponto $j$ da estrutura
$F_w$	força resultante exercida pelo vento
$H$	altura de um acidente orográfico
$I_v$	intensidade de turbulência



---

$K$	coeficiente de configuração modal; parâmetro de forma
$K_a$	coeficiente de amortecimento aerodinâmico
$K_{iv}$	coeficiente de interferência para o desprendimento de vórtices
$K_{rd}$	coeficiente de redução para platibandas
$K_w$	coeficiente de comprimento de correlação
$K_x$	coeficiente adimensional
$L$	comprimento do tramo do tabuleiro de uma ponte; escala de turbulência
$L_d$	comprimento real da vertente virada a sotavento
$L_e$	comprimento efectivo da vertente virada a barlavento
$L_j$	comprimento de correlação
$L_u$	comprimento real da vertente virada a barlavento
$N$	número de ciclos causados por desprendimento de vórtices
$N_g$	número de carregamentos relativo à resposta a rajadas
$R^2$	coeficiente de resposta em ressonância
$Re$	número de Reynolds
$R_h, R_b$	funções de admitância aerodinâmica
$S$	acção do vento
$Sc$	número de Scruton
$S_L$	função de densidade espectral de potência adimensional
$St$	número de Strouhal
$W_s$	peso dos elementos estruturais que contribuem para a rigidez de uma chaminé
$W_t$	peso total de uma chaminé

#### Letras minúsculas latinas

$a_G$	coeficiente de instabilidade por galope
$a_{IG}$	parâmetro de estabilidade combinada para o galope de interferência
$b$	largura da construção (comprimento da superfície perpendicular à direcção do vento, salvo indicação em contrário)
$c_{alt}$	coeficiente de altitude
$c_d$	coeficiente dinâmico
$c_{dir}$	coeficiente de direcção
$c_e(z)$	coeficiente de exposição
$c_f$	coeficiente de força

$c_{f,o}$	coeficiente de força para construções ou elementos estruturais sem livre escoamento em torno das extremidades
$c_{f,l}$	coeficiente de força de sustentação
$c_{fr}$	coeficiente de atrito
$c_{lat}$	coeficiente de força lateral
$c_M$	coeficiente de momento
$c_p$	coeficiente de pressão
$c_{pe}$	coeficiente de pressão exterior
$c_{pi}$	coeficiente de pressão interior
$c_{p,net}$	coeficiente de pressão resultante
$c_{prob}$	coeficiente de probabilidade
$c_r$	coeficiente de rugosidade
$c_o$	coeficiente de orografia
$c_s$	coeficiente de dimensão
$c_{season}$	coeficiente de sazão
$d$	profundidade da construção (comprimento da superfície paralela à direcção do vento, salvo indicação em contrário)
$e$	excentricidade de uma força ou distância ao bordo
$f_L$	frequência adimensional
$h$	altura da construção
$h_{ave}$	altura de obstrução
$h_{dis}$	elevação do nível de referência
$k$	rugosidade equivalente
$k_l$	coeficiente de turbulência
$k_p$	factor de pico
$k_r$	coeficiente de terreno
$k_\theta$	rigidez de torção
$l$	comprimento de uma construção horizontal
$m$	massa por unidade de comprimento
$m_1$	massa equivalente por unidade de comprimento
$n_i$	frequência própria do modo de vibração $i$ da estrutura
$n_{1,x}$	frequência fundamental de vibração na direcção do vento
$n_{1,y}$	frequência fundamental de vibração na direcção transversal ao vento

---

$n_0$	frequência de ovalização
$p$	probabilidade anual de excedência
$q_b$	pressão dinâmica de referência
$q_p$	pressão dinâmica de pico
$r$	raio
$s$	coeficiente; coordenada
$t$	tempo de integração da velocidade de referência do vento; espessura de uma placa
$v_{CG}$	velocidade do vento de início do galope
$v_{CIG}$	velocidade crítica do vento para o galope de interferência
$v_{crit}$	velocidade crítica do vento para o desprendimento de vórtices
$v_{div}$	velocidade crítica do vento em relação à divergência
$v_m$	velocidade média do vento
$v_{b,0}$	valor básico da velocidade de referência do vento
$v_b$	valor de referência da velocidade do vento
$w$	pressão exercida pelo vento
$x$	distância horizontal entre o local e o topo da vertente
$x-direction$	direcção horizontal, perpendicular ao tramo
$y-direction$	direcção horizontal ao longo do tramo
$y_{max}$	amplitude máxima na direcção transversal ao vento, para a velocidade crítica do vento
$z$	altura acima do solo
$z_{ave}$	altura média
$z-direction$	direcção vertical
$z_0$	comprimento de rugosidade
$z_e (z_i)$	altura de referência para a pressão exterior (interior) exercida pelo vento
$z_g$	distância entre o solo e o componente considerado
$z_{max}$	altura máxima
$z_{min}$	altura mínima
$z_s$	altura de referência para a determinação do coeficiente estrutural

Letras maiúsculas gregas

$\Phi$	inclinação da vertente virada a barlavento
$\Phi_{1,x}$	configuração do modo fundamental de vibração na direcção do vento

Letras minúsculas gregas

$\alpha_G$	coeficiente de instabilidade por galope
$\alpha_{IG}$	parâmetro de estabilidade combinada para o galope de interferência
$\delta$	decremento logarítmico de amortecimento
$\delta_a$	decremento logarítmico de amortecimento aerodinâmico
$\delta_d$	decremento logarítmico de amortecimento devido a dispositivos especiais
$\delta_s$	decremento logarítmico de amortecimento estrutural
$\varepsilon$	coeficiente
$\varepsilon_0$	factor de largura de banda
$\varepsilon_1$	factor de frequência
$\eta$	variável
$\varphi$	índice de cheios; obstrução em coberturas isoladas
$\lambda$	esbelteza
$\mu$	índice de aberturas; permeabilidade de uma superfície
$\nu$	frequência de passagens ascendentes; coeficiente de Poisson; viscosidade cinemática
$\theta$	ângulo de torção; direcção do vento
$\rho$	massa volúmica do ar
$\sigma_v$	desvio padrão da turbulência
$\sigma_{a,x}$	desvio padrão da aceleração na direcção do vento
$\psi_{mc}$	coeficiente de redução para coberturas isoladas de naves múltiplas
$\psi_r$	coeficiente de redução aplicável ao coeficiente de força de secções quadradas com cantos arredondados
$\psi_\lambda$	coeficiente de redução aplicável ao coeficiente de força de elementos estruturais com efeitos de extremidade
$\psi_{\lambda\alpha}$	coeficiente de efeitos de extremidade para cilindros de base circular
$\psi_s$	coeficiente de protecção para paredes e vedações
$\zeta$	expoente da configuração modal

## Índices

crit	crítico
e	exterior; exposição
fr	atrito
i	interior; número do modo de vibração
j	número da área elementar ou do ponto de uma estrutura
m	médio
p	pico; platibanda
ref	referência
v	velocidade do vento
x	direcção do vento
y	direcção transversal ao vento
z	direcção vertical

## 2 Situações de projecto

(1)P As acções do vento devem ser determinadas para cada situação de projecto identificada de acordo com a EN 1990, 3.2.

(2) De acordo com a EN 1990, 3.2(3)P, deverão ser tidas em consideração as outras acções (tais como as da neve, do tráfego ou do gelo) que alterem os efeitos devidos ao vento.

**NOTA:** Ver também as EN 1991-1-3, EN 1991-2 e ISO 12494.

(3) De acordo com a EN 1990, 3.2(3)P, deverão ser tidas em consideração as modificações da construção durante as fases de execução (tais como as diferentes fases da geometria da estrutura, as características dinâmicas, etc.) que possam alterar os efeitos devidos ao vento.

**NOTA:** Ver também a EN 1991-1-6.

(4) Nos casos em que, no projecto, se admite que as janelas e as portas estarão fechadas em situações de tempestade, o efeito da sua abertura deverá ser tratado como uma situação de projecto accidental.

**NOTA:** Ver também a EN 1990, 3.2(2)P.

(5) A fadiga devida aos efeitos das acções do vento deverá ser tida em conta no caso de estruturas a tal susceptíveis.

**NOTA:** O número de ciclos de carregamento poderá ser obtido dos Anexos B, C e E.

## 3 Modelação das acções do vento

### 3.1 Natureza

(1) As acções do vento variam em função do tempo e actuam directamente, na forma de pressões, sobre as superfícies exteriores das construções; no caso de construções fechadas, actuam também, indirectamente, sobre as superfícies interiores, devido à porosidade da superfície exterior. As acções do vento poderão também actuar directamente sobre a superfície interior de construções abertas. Das pressões que actuam

sobre elementos da superfície resultam forças perpendiculares à superfície da construção ou dos elementos de revestimento individuais. Além disso, quando o vento varre áreas grandes de construções, poderão desenvolver-se forças de atrito significativas, actuando tangencialmente à superfície.

### **3.2 Representações das acções do vento**

(1) A acção do vento é representada por um conjunto simplificado de pressões ou de forças cujos efeitos são equivalentes aos efeitos extremos do vento turbulento.

### **3.3 Classificação das acções do vento**

(1) Salvo especificação em contrário, as acções do vento deverão ser classificadas como acções variáveis fixas; ver a EN 1990, 4.1.1.

### **3.4 Valores característicos**

(1) As acções do vento calculadas de acordo com a presente Norma são valores característicos (ver a EN 1990, 4.1.2). Estas acções são determinadas a partir dos valores de referência da velocidade do vento ou da pressão dinâmica. De acordo com a EN 1990, 4.1.2(7)P, os valores de referência são valores característicos cuja probabilidade anual de serem excedidos é de 0,02, o que equivale a um período médio de retorno igual a 50 anos.

*NOTA: Todos os coeficientes ou modelos para a determinação das acções do vento a partir dos valores de referência são escolhidos de forma a que a probabilidade de ocorrência das acções do vento calculadas não seja superior à probabilidade de ocorrência desses valores de referência.*

### **3.5 Modelos**

(1) O efeito do vento na estrutura (isto é, a resposta da estrutura) depende da dimensão, da forma e das propriedades dinâmicas da estrutura. A presente Norma cobre a resposta dinâmica devida à turbulência longitudinal (na direcção do vento) em ressonância com as vibrações, igualmente na direcção do vento, segundo um modo fundamental de flexão cuja configuração tem o mesmo sinal em todos os pontos.

A resposta das estruturas deverá ser calculada de acordo com a secção 5 a partir da pressão dinâmica de pico,  $q_p$ , à altura de referência no campo de escoamento não perturbado, dos coeficientes de força e de pressão e do coeficiente estrutural  $c_s c_d$  (ver a secção 6). A pressão  $q_p$  depende do regime local de ventos, da rugosidade do terreno, da orografia e da altura de referência. A pressão  $q_p$  é igual à pressão dinâmica média do vento acrescida de uma contribuição associada a flutuações de curta duração.

(2) A resposta aeroelástica deverá ser tida em conta no caso de estruturas flexíveis, tais como cabos, mastros, chaminés e pontes.

*NOTA: O Anexo E fornece orientações simplificadas relativamente à resposta aeroelástica.*

## **4 Velocidade do vento e pressão dinâmica**

### **4.1 Base de cálculo**

(1) A velocidade do vento e a pressão dinâmica compreendem uma componente média e uma componente flutuante.

A velocidade média do vento,  $v_m$ , deverá ser determinada a partir do valor de referência da velocidade do vento,  $v_b$ , o qual depende do regime local de ventos, conforme é descrito em 4.2, e da variação do vento em

função da altura, determinada a partir da rugosidade do terreno e da orografia conforme é descrito em 4.3. A pressão dinâmica de pico é determinada em 4.5.

A componente flutuante do vento é caracterizada pela intensidade de turbulência definida em 4.4.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer informações climáticas nacionais a partir das quais seja possível obter directamente, para as categorias de terreno consideradas, a velocidade média do vento,  $v_m$ , a pressão dinâmica de pico,  $q_p$ , e outros valores suplementares.

## 4.2 Valores de referência

(1)P O valor básico da velocidade de referência do vento,  $v_{b,0}$ , é o valor característico da velocidade média do vento referida a períodos de 10 min, independentemente da direcção do vento e da época do ano, a uma altura de 10 m acima do nível do solo em terreno do tipo campo aberto, com vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura.

**NOTA 1:** Este terreno corresponde à categoria de terreno II no Quadro 4.1.

**NOTA 2:** O valor básico da velocidade de referência do vento,  $v_{b,0}$ , poderá ser fornecido no Anexo Nacional.

(2)P O valor de referência da velocidade do vento deve ser calculado através da expressão (4.1):

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.1)$$

em que:

$v_b$  valor de referência da velocidade do vento, definido em função da direcção do vento e da época do ano a uma altura de 10 m acima da superfície de um terreno da categoria II;

$v_{b,0}$  valor básico da velocidade de referência do vento; ver (1)P;

$c_{dir}$  coeficiente de direcção; ver a Nota 2;

$c_{season}$  coeficiente de sazão; ver a Nota 3.

**NOTA 1:** Se a influência da altitude no valor de referência da velocidade do vento,  $v_b$ , não for incluída no valor básico especificado,  $v_{b,0}$ , o Anexo Nacional poderá indicar um procedimento para a ter em conta.

**NOTA 2:** O valor do coeficiente de direcção  $c_{dir}$  para diferentes direcções do vento poderá ser fornecido no Anexo Nacional; o valor recomendado é 1,0.

**NOTA 3:** O valor do coeficiente de sazão  $c_{season}$  poderá ser fornecido no Anexo Nacional; o valor recomendado é 1,0.

**NOTA 4:** A velocidade média do vento, referida a períodos de 10 min, com a probabilidade anual  $p$  de ser excedida é determinada multiplicando o valor de referência da velocidade do vento  $v_b$ , fornecido em 4.2(2)P, pelo coeficiente de probabilidade  $c_{prob}$  calculado pela expressão (4.2); ver também a EN 1991-1-6.

$$c_{prob} = \left( \frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n \quad (4.2)$$

em que:

$K$  parâmetro de forma, função do coeficiente de variação da distribuição de valores extremos;

$n$  expoente.

**NOTA 5:** Os valores de  $K$  e de  $n$  poderão ser fornecidos no Anexo Nacional. Os valores recomendados são 0,2 para  $K$  e 0,5 para  $n$ .

(3) O coeficiente de sazão  $c_{season}$  poderá ser utilizado para estruturas provisórias e para todas as estruturas em fase de construção. Para estruturas amovíveis, que possam ser utilizadas em qualquer época do ano,  $c_{season}$  deverá ser considerado igual a 1,0.

**NOTA:** Ver também a EN 1991-1-6.

### 4.3 Vento médio

#### 4.3.1 Variação com a altura

(1) A velocidade média do vento a uma altura  $z$  acima do solo,  $v_m(z)$ , depende da rugosidade do terreno, da orografia e do valor de referência da velocidade do vento,  $v_b$ , e deverá ser determinada através da expressão (4.3):

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (4.3)$$

em que:

$c_r(z)$  coeficiente de rugosidade, definido em 4.3.2;

$c_o(z)$  coeficiente de orografia, considerado igual a 1,0 salvo especificação em contrário indicada em 4.3.3.

**NOTA 1:** No Anexo Nacional poderão ser fornecidas informações sobre  $c_o$ . Se a orografia for tida em conta no valor de referência da velocidade do vento, o valor recomendado é 1,0.

**NOTA 2:** No Anexo Nacional poderão ser fornecidos gráficos ou quadros para o cálculo de  $v_m(z)$ .

Deverá ser considerada a influência de construções vizinhas sobre a velocidade do vento (ver 4.3.4).

#### 4.3.2 Rugosidade do terreno

(1) O coeficiente de rugosidade  $c_r(z)$  tem em conta a variabilidade da velocidade média do vento no local da construção em resultado:

– da altura acima do nível do solo;

– da rugosidade do terreno a barlavento da construção, na direcção do vento considerada.

**NOTA:** O procedimento para a determinação de  $c_r(z)$  poderá ser fornecido no Anexo Nacional. O procedimento recomendado para a determinação do coeficiente de rugosidade à altura  $z$  é definido pela expressão (4.4) e baseia-se num perfil de velocidades logarítmico:

$$\begin{aligned} c_r(z) &= k_r \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) & \text{para } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \\ c_r(z) &= c_r(z_{\min}) & \text{para } z \leq z_{\min} \end{aligned} \quad (4.4)$$

em que:

$z_0$  comprimento de rugosidade;

$k_r$  coeficiente de terreno dependente do comprimento de rugosidade  $z_0$ , calculado através de:

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (4.5)$$

em que:

$z_{0,II}$  = 0,05 m (categoria de terreno II, ver o Quadro 4.1);

$z_{\min}$  altura mínima definida no Quadro 4.1;

$z_{\max}$  a ser considerada igual a 200 m.

$z_0$  e  $z_{\min}$  dependem da categoria de terreno. No Quadro 4.1 são fornecidos valores recomendados em função de cinco categorias de terreno representativas.

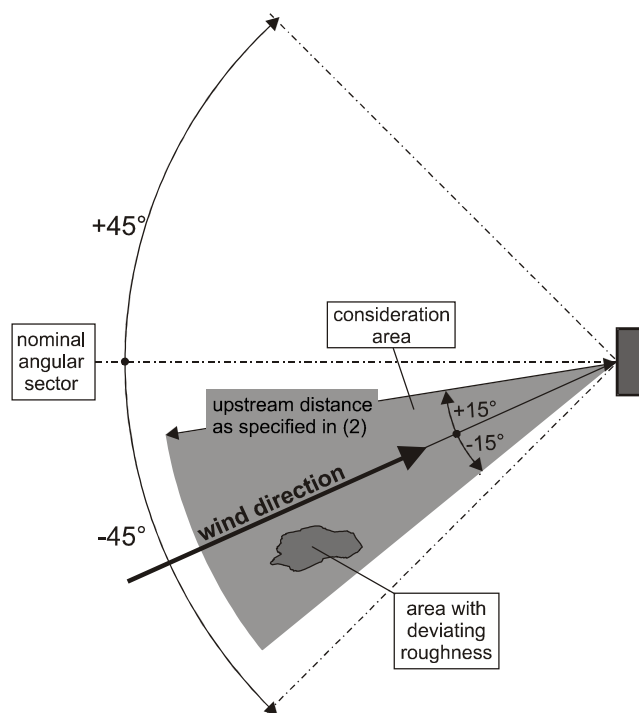


A expressão (4.4) é válida quando a extensão de terreno a barlavento com rugosidade uniforme é suficientemente longa para que se registre uma estabilização satisfatória do perfil de velocidade; ver (2).

*Quadro 4.1 – Categorias e parâmetros de terreno*

<i>Categoria de terreno</i>	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
<i>0 Mar ou zona costeira exposta aos ventos de mar</i>	<i>0,003</i>	<i>1</i>
<i>I Lagos ou zona plana e horizontal com vegetação negligenciável e livre de obstáculos</i>	<i>0,01</i>	<i>1</i>
<i>II Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura</i>	<i>0,05</i>	<i>2</i>
<i>III Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: aldeias, zonas suburbanas, florestas permanentes)</i>	<i>0,3</i>	<i>5</i>
<i>IV Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m</i>	<i>1,0</i>	<i>10</i>
<b>NOTA:</b> As categorias de terreno estão ilustradas em A.1.		

(2) A categoria de terreno a considerar para uma dada direcção do vento depende da rugosidade do solo e da extensão com rugosidade de terreno uniforme dentro dum sector angular definido em torno da direcção do vento. As zonas de pequena área (inferior a 10 % da área da zona considerada) que tenham uma rugosidade diferente poderão ser ignoradas. Ver a Figura 4.1.



#### Legenda:

nominal angular sector	sector angular nominal
consideration area	zona considerada
upstream distance as specified in (2)	extensão para barlavento, conforme é especificada em (2)
wind direction	direcção do vento
area with deviating roughness	zona com rugosidade diferente

Figura 4.1 – Avaliação da rugosidade do terreno

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá definir o sector angular e a extensão para barlavento. Como sector angular recomendado, poderá ser considerado o sector de 30° definido por  $\pm 15^\circ$  em relação à direcção do vento. O valor recomendado da extensão para barlavento poderá ser obtido de A.2.

(3) Nos casos em que um coeficiente de pressão ou de força é definido para um sector angular nominal, deverá ser utilizado o menor comprimento de rugosidade de entre os relativos a qualquer sector angular de 30°.

(4) Nos casos em que, na definição de uma dada zona, seja possível escolher entre duas ou mais categorias de terreno, deverá ser utilizada a categoria com menor comprimento de rugosidade.

#### 4.3.3 Orografia

(1) Nos casos em que, devido à orografia (por exemplo, colinas, falésias, etc.), as velocidades do vento sejam aumentadas em mais de 5 %, os efeitos correspondentes deverão ser considerados utilizando o coeficiente de orografia  $c_o$ .

**NOTA:** O procedimento a utilizar para a determinação de  $c_o$  poderá ser fornecido no Anexo Nacional; o procedimento recomendado é fornecido em A.3.

(2) Os efeitos da orografia poderão ser desprezados quando o declive médio do terreno a barlavento é inferior a 3°. O terreno a barlavento poderá ser tomado em consideração até uma distância de 10 vezes a altura do elemento orográfico isolado.

#### **4.3.4 Construções vizinhas de grande porte e de altura consideravelmente maior**

(1) Se uma construção for implantada na proximidade de outra cuja altura seja, pelo menos, o dobro da altura média das construções vizinhas, poderá então ficar exposta (em função das suas características) a velocidades do vento acrescidas, para certas direcções do vento. Este tipo de casos deverá ser tomado em consideração.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer um procedimento para ter em conta este efeito. Em A.4 é indicado um procedimento conservativo, recomendado como primeira aproximação.

#### **4.3.5 Edifícios e obstáculos pouco espaçados**

(1) O efeito de edifícios e de outros obstáculos pouco espaçados poderá ser tido em conta.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer um procedimento. Em A.5 é indicado um procedimento, recomendado como primeira aproximação. Em terrenos rugosos, edifícios pouco espaçados modificam o escoamento médio do vento na proximidade do solo, como se o nível deste fosse elevado de uma altura que se designa por elevação do nível de referência,  $h_{dis}$ .

### **4.4 Turbulência do vento**

(1) A intensidade de turbulência à altura  $z$ ,  $I_v(z)$ , é definida como o quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento.

**NOTA 1:** A componente de turbulência da velocidade do vento tem um valor médio nulo e um desvio padrão  $\sigma_v$ . O desvio padrão da turbulência,  $\sigma_v$ , poderá ser determinado através da expressão (4.6):

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I \quad (4.6)$$

Para o coeficiente de terreno,  $k_r$ , ver a expressão (4.5); para o valor de referência da velocidade do vento,  $v_b$ , ver a expressão (4.1); para o coeficiente de turbulência,  $k_I$ , ver a Nota 2.

**NOTA 2:** As regras recomendadas para a determinação de  $I_v(z)$  são fornecidas pela expressão (4.7):

$$\begin{aligned} I_v(z) &= \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} & \text{para } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \\ I_v(z) &= I_v(z_{\min}) & \text{para } z < z_{\min} \end{aligned} \quad (4.7)$$

em que:

$k_I$  coeficiente de turbulência. O valor de  $k_I$  poderá ser fornecido no Anexo Nacional; o valor recomendado é 1,0;

$c_o$  coeficiente de orografia, descrito em 4.3.3;

$z_0$  comprimento de rugosidade, fornecido no Quadro 4.1.

### **4.5 Pressão dinâmica de pico**

(1) Deverá ser determinada a pressão dinâmica de pico à altura  $z$ ,  $q_p(z)$ , a qual resulta da velocidade média e das flutuações de curta duração da velocidade do vento.

**NOTA 1:** O Anexo Nacional poderá fornecer regras para a determinação de  $q_p(z)$ ; a regra recomendada é fornecida pela expressão (4.8):

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.8)$$

em que:

$\rho$  massa volúmica do ar, a qual depende da altitude, da temperatura e da pressão atmosférica previstas para a região durante situações de vento intenso;

$c_e(z)$  coeficiente de exposição, calculado pela expressão (4.9):

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (4.9)$$

$q_b$  pressão dinâmica de referência, calculada pela expressão (4.10):

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (4.10)$$

**NOTA 2:** Os valores de  $\rho$  poderão ser fornecidos no Anexo Nacional; o valor recomendado é  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

**NOTA 3:** O valor 7 na expressão (4.8) baseia-se num factor de pico igual a 3,5 e é consistente com os valores dos coeficientes de pressão e de força que são fornecidos na secção 7.

Para o caso de um terreno plano em que  $c_o(z) = 1,0$  (ver 4.3.3), o coeficiente de exposição  $c_e(z)$  é representado na Figura 4.2 em função da altura acima do solo e da categoria de terreno, conforme é definida no Quadro 4.1.

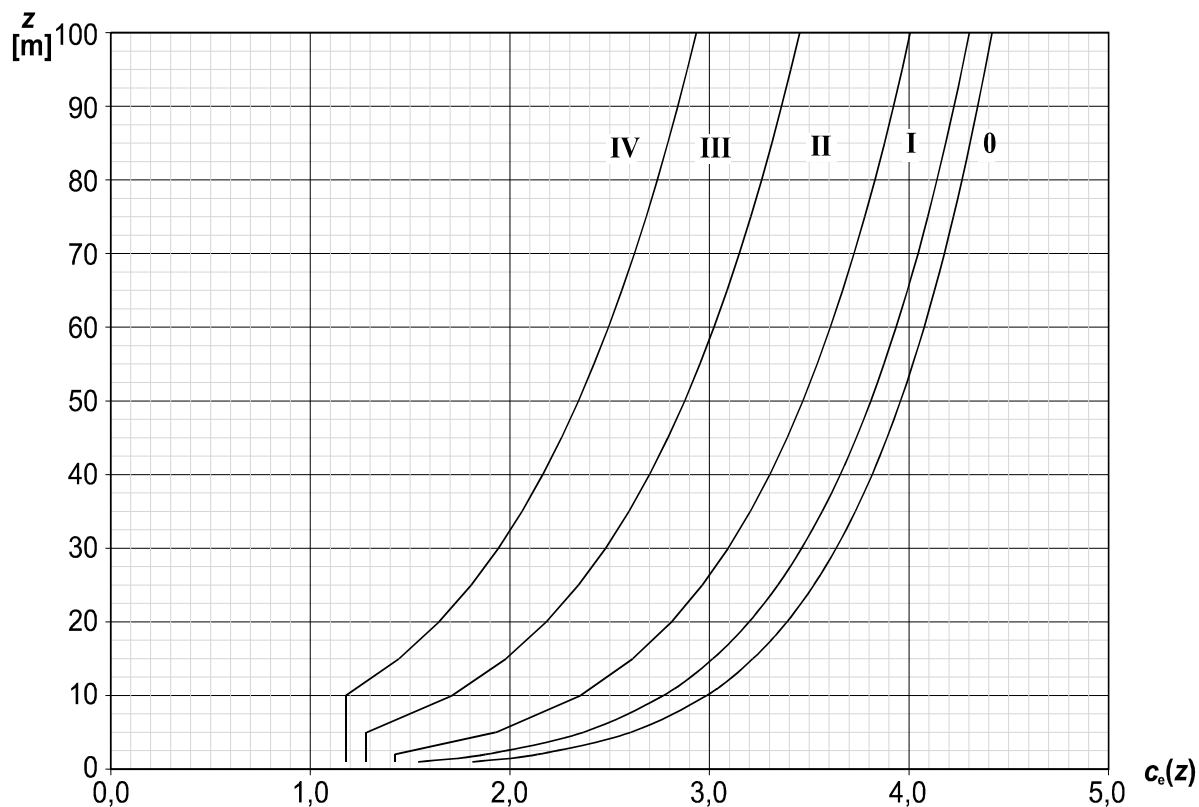


Figura 4.2 – Representação do coeficiente de exposição  $c_e(z)$  para  $c_0=1,0$  e  $k_1=1,0$

## 5 Acções do vento

### 5.1 Generalidades

(1)P As acções do vento sobre as construções e os elementos de construção devem ser determinadas tendo em conta tanto as pressões exteriores como as pressões interiores devidas ao vento.

**NOTA:** No Quadro 5.1 apresenta-se um resumo dos procedimentos de cálculo para a determinação das acções do vento.

*Quadro 5.1 – Procedimentos de cálculo para a determinação das acções do vento*

<i>Parâmetro</i>	<i>Referência</i>
<i>Pressão dinâmica de pico <math>q_p</math></i> - valor de referência da velocidade do vento $v_b$ - altura de referência $z_e$ - categoria de terreno - valor característico da pressão dinâmica de pico $q_p$ - intensidade de turbulência $I_v$ - velocidade média do vento $v_m$ - coeficiente de orografia $c_o(z)$ - coeficiente de rugosidade $c_r(z)$	4.2(2)P Secção 7 Quadro 4.1 4.5(1) 4.4 4.3.1 4.3.3 4.3.2
<i>Pressões exercidas pelo vento (sobre revestimentos, ligações e elementos de construção, por exemplo)</i> - coeficiente de pressão exterior $c_{pe}$ - coeficiente de pressão interior $c_{pi}$ - coeficiente de pressão resultante $c_{p,net}$ - pressão exterior exercida pelo vento: $w_e = q_p c_{pe}$ - pressão interior exercida pelo vento: $w_i = q_p c_{pi}$	Secção 7 Secção 7 Secção 7 5.2(1) 5.2(2)
<i>Forças exercidas pelo vento sobre as construções (cálculo dos efeitos globais do vento, por exemplo)</i> - coeficiente estrutural $c_s c_d$ - força exercida pelo vento $F_w$ calculada a partir de coeficientes de força - força exercida pelo vento $F_w$ calculada a partir de coeficientes de pressão	Secção 6 5.3(2) 5.3(3)

## 5.2 Pressão exercida pelo vento em superfícies

(1) A pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores,  $w_e$ , deverá ser obtida através da expressão (5.1):

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (5.1)$$

em que:

$q_p(z_e)$  pressão dinâmica de pico;

$z_e$  altura de referência para a pressão exterior, fornecida na secção 7;

$c_{pe}$  coeficiente de pressão para a pressão exterior; ver a secção 7.

**NOTA:**  $q_p(z)$  é definido em 4.5.

(2) A pressão exercida pelo vento nas superfícies interiores de uma construção,  $w_i$ , deverá ser obtida através da expressão (5.2):

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (5.2)$$

em que:

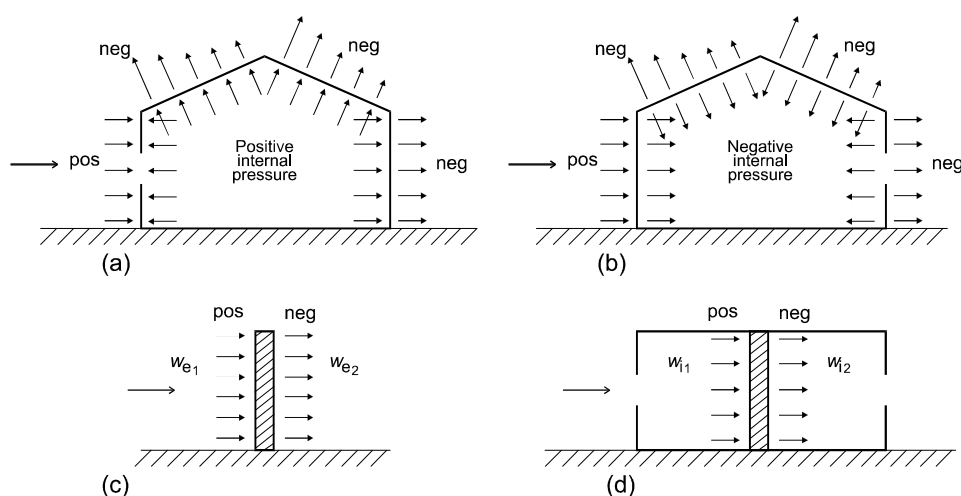
$q_p(z_i)$  pressão dinâmica de pico;

$z_i$  altura de referência para a pressão interior, fornecida na secção 7;

$c_{pi}$  coeficiente de pressão para a pressão interior, fornecido na secção 7.

**NOTA:**  $q_p(z)$  é definido em 4.5.

(3) A pressão resultante exercida numa parede, numa cobertura ou num elemento é a diferença entre as pressões que actuam sobre as faces opostas tendo em devida conta os seus sinais. Uma pressão exercida contra a superfície é considerada positiva, ao passo que uma sucção, actuando com um sentido que se afasta da superfície, é considerada negativa. Na Figura 5.1 são fornecidos exemplos.



**Legenda:**

Positive internal pressure	Pressão interior positiva
Negative internal pressure	Pressão interior negativa

Figura 5.1 – Pressão exercida em superfícies

### 5.3 Forças exercidas pelo vento

(1) As forças exercidas pelo vento sobre o conjunto da construção ou sobre um seu componente deverão ser determinadas:

- a partir de coeficientes de força (ver (2)), ou
- a partir das pressões nas superfícies (ver (3)).

(2) A força exercida pelo vento,  $F_w$ , sobre uma construção ou um seu componente poderá ser determinada directamente através da expressão (5.3):

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (5.3)$$

ou por soma vectorial abrangendo os elementos de construção individuais (conforme é indicado em 7.2.2), através da expressão (5.4):

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementos}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (5.4)$$

em que:

$c_s c_d$  coeficiente estrutural, definido na secção 6;

$c_f$  coeficiente de força relativo à construção ou ao elemento de construção, fornecido na secção 7 ou na secção 8;

$q_p(z_e)$  pressão dinâmica de pico (definida em 4.5) à altura de referência  $z_e$  (definida na secção 7 ou na secção 8);

$A_{ref}$  área de referência da construção ou do elemento de construção, indicada na secção 7 ou na secção 8.

**NOTA:** A secção 7 fornece valores de  $c_f$  para construções ou elementos de construção tais como prismas, cilindros, coberturas, painéis de sinalização, placas e estruturas treliçadas, etc. Estes valores incluem os efeitos do atrito. A secção 8 fornece valores de  $c_f$  para pontes.

(3) A força exercida pelo vento,  $F_w$ , sobre uma construção ou um elemento de construção poderá ser determinada por soma vectorial das forças  $F_{w,e}$ ,  $F_{w,i}$  e  $F_{fr}$ , calculadas a partir das pressões exteriores e interiores utilizando as expressões (5.5) e (5.6) e as forças de atrito, resultantes do atrito do vento paralelamente às superfícies exteriores, calculadas utilizando a expressão (5.7).

– forças exteriores:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{superfícies}} w_e \cdot A_{ref} \quad (5.5)$$

– forças interiores:

$$F_{w,i} = \sum_{\text{superfícies}} w_i \cdot A_{ref} \quad (5.6)$$

– forças de atrito:

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad (5.7)$$

em que:

$c_s c_d$  coeficiente estrutural, definido na secção 6;

$w_e$  pressão exterior na superfície individual à altura  $z_e$ , determinada pela expressão (5.1);

$w_i$  pressão interior na superfície individual à altura  $z_i$ , determinada pela expressão (5.2);

$A_{ref}$  área de referência da superfície individual;

$c_{fr}$  coeficiente de atrito, determinado através de 7.5;

$A_{fr}$  área de superfície exterior paralela ao vento, fornecida em 7.5.

**NOTA 1:** No caso de elementos (por exemplo: paredes, coberturas), a força exercida pelo vento é igual à diferença entre as forças resultantes exterior e interior.

**NOTA 2:** As forças de atrito  $F_{fr}$  actuam na direcção das componentes do vento paralelas às superfícies exteriores.

(4) Os efeitos do atrito do vento sobre a superfície podem ser ignorados quando a área total de todas as superfícies paralelas (ou pouco inclinadas) em relação ao vento é igual ou inferior a 4 vezes a área total de todas as superfícies exteriores perpendiculares ao vento (nos lados de barlavento e de sotavento).



(5) Na soma das forças exercidas pelo vento sobre as estruturas de edifícios, poderá tomar-se em consideração a falta de total correlação, entre os lados de barlavento e de sotavento, das pressões exercidas pelo vento.

*NOTA:* O Anexo Nacional poderá determinar que esta falta de correlação possa ser aplicada de uma forma geral ou que seja limitada às paredes, tal como é aplicado em 7.2.2(3). É recomendado que a falta de correlação seja considerada apenas para as paredes (ver 7.2.2(3)).

## **6 Coeficiente estrutural $c_s c_d$**

### **6.1 Generalidades**

(1) O coeficiente estrutural  $c_s c_d$  deverá ter em conta o efeito nas acções do vento da não simultaneidade na ocorrência das pressões de pico sobre a superfície ( $c_s$ ) em conjunto com o efeito das vibrações da estrutura devidas à turbulência ( $c_d$ ).

*NOTA:* O coeficiente estrutural  $c_s c_d$  poderá ser decomposto num coeficiente de dimensão  $c_s$  e num coeficiente dinâmico  $c_d$ , com base em 6.3. No Anexo Nacional poderão ser fornecidas informações relativas à conveniência em decompor, ou não, o coeficiente estrutural  $c_s c_d$ .

### **6.2 Determinação de $c_s c_d$**

(1) O coeficiente  $c_s c_d$  poderá ser determinado da forma seguinte:

- a) Para edifícios de altura inferior a 15 m, o valor de  $c_s c_d$  poderá ser considerado igual a 1.
- b) Para elementos de fachada e de cobertura cuja frequência própria seja superior a 5 Hz, o valor de  $c_s c_d$  poderá ser considerado igual a 1.
- c) Para edifícios de estrutura porticada que contenham paredes resistentes e cuja altura seja inferior a 100 m e a 4 vezes a dimensão do edifício na direcção do vento, o valor de  $c_s c_d$  poderá ser considerado igual a 1.
- d) Para chaminés de secções transversais circulares e com uma altura inferior a 60 m e a 6,5 vezes o seu diâmetro, o valor de  $c_s c_d$  poderá ser considerado igual a 1.
- e) Em alternativa, para os casos a), b), c) e d) acima indicados, os valores de  $c_s c_d$  poderão ser determinados a partir de 6.3.1.
- f) Para outras obras de engenharia civil (que não as pontes, as quais são consideradas na secção 8) e para chaminés e edifícios não abrangidos pelos limites referidos em c) e d),  $c_s c_d$  deverá ser determinado a partir de 6.3 ou ser obtido do Anexo D.

*NOTA 1:* As frequências próprias dos elementos de fachada e de cobertura poderão ser calculadas utilizando o Anexo F (vãos envidraçados inferiores a 3 m conduzem, geralmente, a frequências próprias superiores a 5 Hz).

*NOTA 2:* As figuras do Anexo D fornecem valores de  $c_s c_d$  para vários tipos de construções. Estas figuras fornecem envolventes, do lado da segurança, de valores calculados a partir de modelos que satisfazem os requisitos definidos em 6.3.1.

### **6.3 Procedimento pormenorizado**

#### **6.3.1 Coeficiente estrutural $c_s c_d$**

(1) O procedimento pormenorizado para o cálculo do coeficiente estrutural  $c_s c_d$  é descrito pela expressão (6.1). Este procedimento só pode ser utilizado se forem respeitadas as condições indicadas em 6.3.1(2).

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (6.1)$$

em que:

$z_s$  altura de referência para a determinação do coeficiente estrutural, ver a Figura 6.1. No caso de construções não abrangidas pela Figura 6.1,  $z_s$  poderá ser considerado igual à altura da construção,  $h$ ;

$k_p$  factor de pico, definido como o quociente entre o valor máximo da parte flutuante da resposta e o desvio padrão desta;

$I_v$  intensidade de turbulência, definida em 4.4;

$B^2$  coeficiente de resposta quase-estática, que tem em conta a falta de total correlação das pressões sobre a superfície da construção;

$R^2$  coeficiente de resposta em ressonância, que tem em conta o efeito da turbulência em ressonância com o modo de vibração.

**NOTA 1:** O coeficiente de dimensão  $c_s$  tem em conta o efeito de redução na acção do vento devido à não simultaneidade na ocorrência das pressões de pico sobre a superfície da construção; poderá ser obtido através da expressão (6.2):

$$c_s = \frac{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (6.2)$$

**NOTA 2:** O coeficiente dinâmico  $c_d$  tem em conta o efeito de majoração devido às vibrações provocadas pela turbulência em ressonância com a estrutura; poderá ser obtido através da expressão (6.3):

$$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}} \quad (6.3)$$

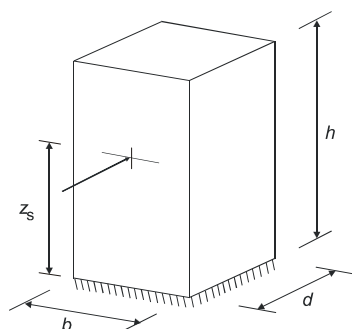
**NOTA 3:** O procedimento a utilizar para a determinação de  $k_p$ ,  $B$  e  $R$  poderá ser fornecido no Anexo Nacional. O procedimento recomendado é indicado no Anexo B. No Anexo C é indicado um procedimento alternativo. A título indicativo, as diferenças entre os valores de  $c_s c_d$  obtidos pelo Anexo C e os obtidos pelo Anexo B não excedem cerca de 5 %.

(2)P A expressão (6.1) só deve ser utilizada se forem satisfeitos todos os requisitos seguintes:

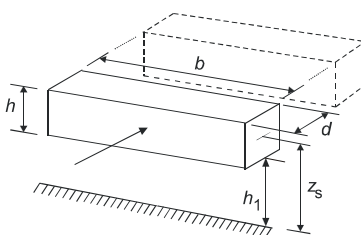
- a construção corresponde a uma das formas gerais representadas na Figura 6.1;
- só são significativas as vibrações na direcção do vento segundo o modo fundamental, e a configuração deste modo tem um sinal constante.

**NOTA:** A contribuição para a resposta do segundo modo, ou de modos superiores, de vibração na direcção do vento é desprezável.

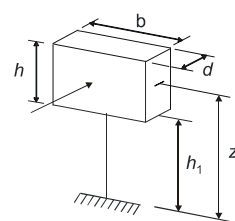
a) construções verticais tais como edifícios, etc.



b) “oscilador paralelo”, isto é, construções horizontais tais como vigas, etc.



c) construções de pequena dimensão, tais como painéis de sinalização, etc.



**NOTA:** Em 1.1(2) também são especificadas limitações.

$$z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{\min}$$

$$z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min}$$

$$z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min}$$

Figura 6.1 – Formas gerais das construções abrangidas pelo método de cálculo (são também representadas as dimensões da construção e a altura de referência)

### 6.3.2 Verificação dos estados limites de utilização

(1) Para a verificação dos estados limites de utilização deverão ser considerados o deslocamento máximo na direcção do vento e o desvio padrão da aceleração característica da estrutura à altura  $z$ , também na direcção do vento. Para o cálculo do deslocamento máximo na direcção do vento, deverá utilizar-se a força estática equivalente definida em 5.3.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer um método para a determinação do deslocamento e do desvio padrão da aceleração, ambos na direcção do vento. O método recomendado é indicado no Anexo B. No Anexo C é indicado um método alternativo.

### 6.3.3 Excitação por turbulência de esteira

(1) No caso de edifícios esbeltos ( $h/d > 4$ ) e de chaminés esbeltas ( $h/d > 6,5$ ) dispostas em pares ou em grupo, deverá ser tomado em consideração o efeito de aumento da turbulência na esteira de construções vizinhas (excitação por turbulência de esteira).

(2) Os efeitos da turbulência de esteira poderão ser considerados desprezáveis se pelo menos uma das condições seguintes se verificar:

- a distância entre dois edifícios ou chaminés é superior a 25 vezes a dimensão, medida na direcção transversal ao vento, do edifício ou da chaminé a barlavento;
- a frequência própria do edifício ou da chaminé a sotavento é superior a 1 Hz.

**NOTA:** Se nenhuma das condições indicadas em 6.3.3(2) se verificar, recomenda-se a realização de ensaios em túnel de vento ou o recurso a um parecer especializado.

## **7 Coeficientes de pressão e de força**

### **7.1 Generalidades**

(1) A presente secção deverá ser utilizada para determinar os coeficientes aerodinâmicos adequados às construções. Consoante a construção em causa, os coeficientes aerodinâmicos adequados serão:

- coeficientes de pressão interior e exterior, ver 7.1.1(1);
- coeficientes de pressão resultante, ver 7.1.1(2);
- coeficientes de atrito, ver 7.1.1(3);
- coeficientes de força, ver 7.1.1(4).

#### **7.1.1 Escolha do coeficiente aerodinâmico**

(1) Deverão ser determinados coeficientes de pressão para:

- edifícios, utilizando 7.2 tanto para as pressões interiores como para as pressões exteriores;
- cilindros de base circular, utilizando 7.2.9 para as pressões interiores e 7.9.1 para as pressões exteriores.

*NOTA 1: Os coeficientes de pressão exterior fornecem o efeito do vento sobre as superfícies exteriores dos edifícios; os coeficientes de pressão interior fornecem o efeito do vento sobre as superfícies interiores dos edifícios.*

*NOTA 2: Os coeficientes de pressão exterior repartem-se por coeficientes globais e coeficientes locais. Os coeficientes locais correspondem aos coeficientes de pressão para superfícies carregadas de área igual a  $1 \text{ m}^2$ ; poderão ser utilizados no cálculo de elementos de pequena dimensão e ligações. Os coeficientes globais correspondem aos coeficientes de pressão para superfícies carregadas de área igual a  $10 \text{ m}^2$ ; poderão ser utilizados para superfícies carregadas de área superior a  $10 \text{ m}^2$ .*

(2) Deverão ser determinados coeficientes de pressão resultante para:

- coberturas isoladas, utilizando 7.3;
- paredes isoladas, platibandas e vedações, utilizando 7.4.

*NOTA: Os coeficientes de pressão resultante fornecem o efeito conjunto das pressões exteriores e interiores do vento sobre uma construção, um elemento estrutural ou um componente.*

(3) Os coeficientes de atrito deverão ser determinados para as paredes e superfícies definidas em 5.3(3) e (4), utilizando 7.5.

(4) Deverão ser determinados coeficientes de força para:

- painéis de sinalização, utilizando 7.4.3;
- elementos estruturais de secção transversal rectangular, utilizando 7.6;
- elementos estruturais de secção com arestas vivas, utilizando 7.7;
- elementos estruturais de secção poligonal regular, utilizando 7.8;
- cilindros de base circular, utilizando 7.9.2 e 7.9.3;
- esferas, utilizando 7.10;
- estruturas treliçadas, utilizando 7.11;
- bandeiras, utilizando 7.12.

Poderá ser aplicado um coeficiente de redução em função da esbelteza efectiva da estrutura, utilizando 7.13.

**NOTA:** Os coeficientes de força fornecem o efeito global do vento sobre uma construção, um elemento estrutural ou um componente, considerados no seu todo e incluindo o atrito, caso este não seja especificamente excluído.

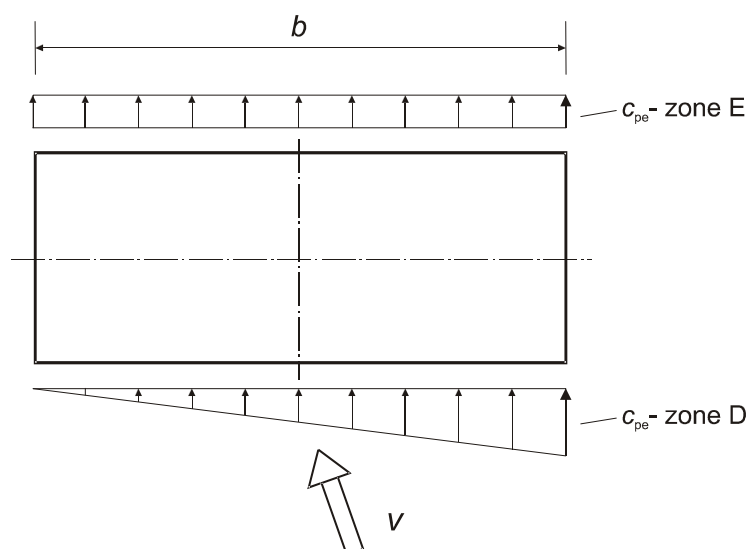
### 7.1.2 Pressões e forças assimétricas ou em oposição

(1) No caso de as flutuações instantâneas do vento sobre as superfícies poderem conduzir a uma assimetria significativa do carregamento e de ser previsível que a configuração estrutural seja sensível a um tal carregamento (por exemplo, torção em edifícios nominalmente simétricos com um único núcleo), os efeitos das referidas flutuações deverão ser tidos em conta.

(2) Para coberturas isoladas e painéis de sinalização, deverão ser aplicados 7.3 e 7.4.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer procedimentos para outras construções. Os procedimentos recomendados são os seguintes:

a) Para construções rectangulares susceptíveis a efeitos de torção, a distribuição de pressões indicada na Figura 7.1 deverá ser aplicada para representar os efeitos de torção devidos a um vento oblíquo ou devidos à falta de total correlação entre as forças exercidas pelo vento em pontos diferentes da construção.



Legenda:

zone E      zona E

zone D      zona D

Figura 7.1 – Distribuição de pressões para ter em conta os efeitos de torção; as zonas e os valores de  $c_{pe}$  são fornecidos no Quadro 7.1 e na Figura 7.5

b) Para outros casos, a assimetria do carregamento deverá ser tida em conta eliminando a acção de cálculo do vento nas partes da construção em que a referida acção produza um efeito benéfico.

### 7.1.3 Efeitos do gelo e da neve

(1) Se o gelo ou a neve modificarem a geometria de uma construção a ponto de haver alteração da sua forma ou da área de referência, tal situação deverá ser tida em conta.

**NOTA:** No Anexo Nacional poderão ser fornecidas informações adicionais.

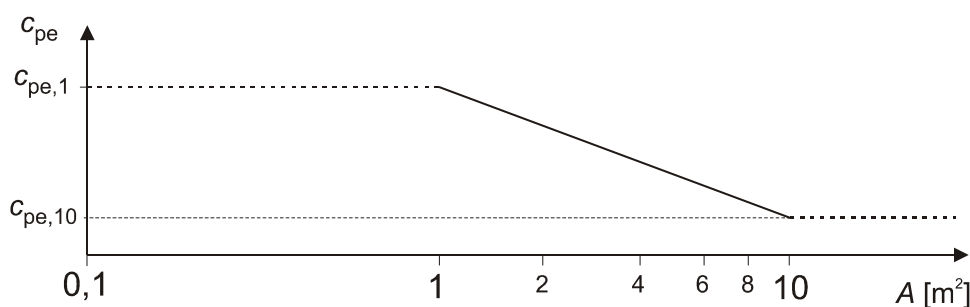
## 7.2 Coeficientes de pressão para edifícios

### 7.2.1 Generalidades

(1) Os coeficientes de pressão exterior  $c_{pe}$  aplicáveis a edifícios e a partes de edifícios dependem das dimensões da superfície carregada  $A$ , sendo esta a área da construção de que resulta a acção do vento na secção a ser calculada. Os coeficientes de pressão exterior são fornecidos para superfícies carregadas  $A$  de  $1 \text{ m}^2$  e de  $10 \text{ m}^2$  nos quadros relativos às configurações de edifícios adequadas, sendo representados, respectivamente, por  $c_{pe,1}$  (coeficientes locais) e por  $c_{pe,10}$  (coeficientes globais).

**NOTA 1:** Os valores de  $c_{pe,1}$  destinam-se ao cálculo de elementos de pequena dimensão e de ligações com uma área igual ou inferior a  $1 \text{ m}^2$ , tais como elementos de revestimento e elementos de cobertura. Os valores de  $c_{pe,10}$  poderão ser utilizados para o cálculo da estrutura resistente global de edifícios.

**NOTA 2:** O Anexo Nacional poderá fornecer um procedimento para o cálculo dos coeficientes de pressão exterior de superfícies carregadas com mais de  $1 \text{ m}^2$  com base nos coeficientes de pressão exterior  $c_{pe,1}$  e  $c_{pe,10}$ . O procedimento recomendado para superfícies carregadas até  $10 \text{ m}^2$  é indicado na Figura 7.2.



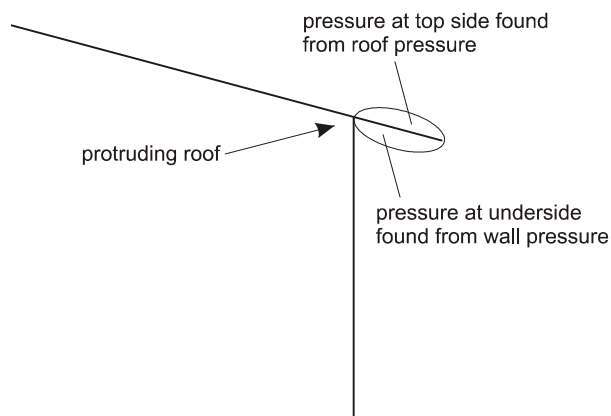
A figura é baseada no seguinte:

$$\text{para } 1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$$

Figura 7.2 – Procedimento recomendado para a determinação do coeficiente de pressão exterior  $c_{pe}$  em edifícios, para uma superfície carregada  $A$  compreendida entre  $1 \text{ m}^2$  e  $10 \text{ m}^2$

(2) Os valores de  $c_{pe,10}$  e de  $c_{pe,1}$  fornecidos nos Quadros 7.1 a 7.5 deverão ser utilizados para as direcções ortogonais do vento  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ . Estes valores correspondem aos mais desfavoráveis de entre os obtidos numa gama de direcções do vento  $\theta = \pm 45^\circ$  para cada lado da direcção ortogonal considerada.

(3) Nos beirados das coberturas, a pressão na face inferior é igual à pressão aplicável à zona da parede vertical directamente ligada ao beirado; a pressão na face superior é igual à pressão definida para a cobertura na zona em causa.



**Legenda:**

protruding roof	beirado
pressure at top side found from roof pressure	pressão na face superior igual à pressão na cobertura
pressure at underside found from wall pressure	pressão na face inferior igual à pressão na parede

Figura 7.3 – Ilustração das pressões aplicáveis aos beirados das coberturas

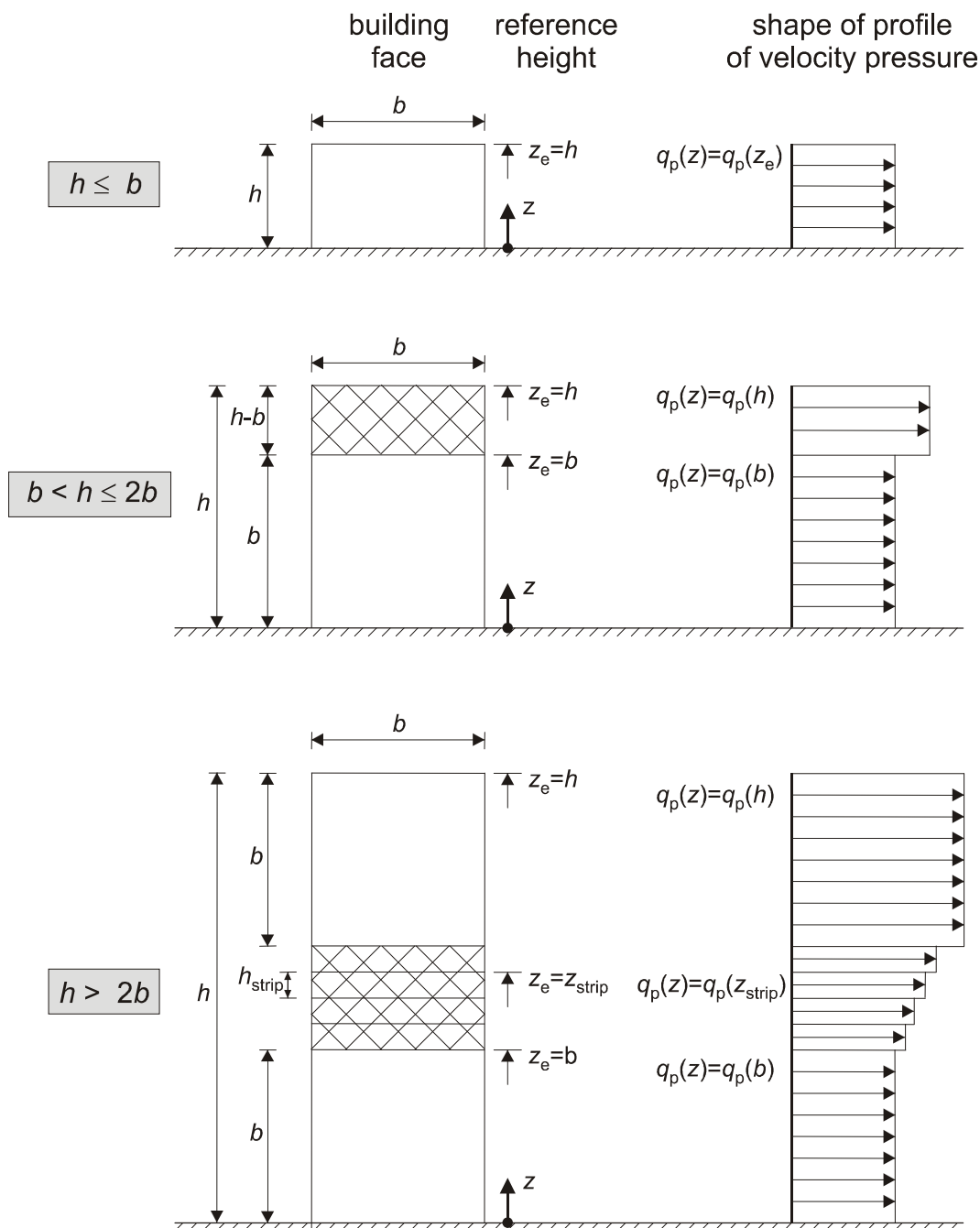
### 7.2.2 Paredes verticais de edifícios de planta rectangular

(1) As alturas de referência  $z_e$  para as paredes de barlavento em edifícios de planta rectangular (zona D, ver a Figura 7.5) dependem da relação  $h/b$  e correspondem sempre às alturas superiores das diferentes partes das paredes. Estas alturas de referência são indicadas na Figura 7.4 para os três casos seguintes:

- um edifício cuja altura  $h$  é inferior a  $b$  deverá ser considerado como tendo uma única parte;
- no caso de um edifício cuja altura  $h$  é superior a  $b$  mas inferior a  $2b$ , poderá considerar-se que o edifício é constituído por duas partes, compreendendo: uma parte inferior que se prolonga na vertical, a partir do solo, até uma altura igual a  $b$ , e uma parte superior constituída pelo restante;
- no caso de um edifício cuja altura  $h$  é superior a  $2b$ , poderá considerar-se que o edifício é constituído por diversas partes, compreendendo: uma parte inferior que se prolonga na vertical, a partir do solo, até uma altura igual a  $b$ ; uma parte superior que se estende, desde o topo, numa altura igual a  $b$ ; e uma zona intermédia, entre as partes superior e inferior, que poderá ser dividida em faixas horizontais com uma altura  $h_{\text{strip}}$ , conforme é representado na Figura 7.4.

**NOTA:** As regras relativas à distribuição da pressão dinâmica ao longo da parede de sotavento e das paredes laterais (zonas A, B, C e E, ver a Figura 7.5) poderão ser fornecidas no Anexo Nacional ou ser definidas para cada projecto em particular. O procedimento recomendado consiste em tomar como altura de referência a altura do edifício.

(2) Os coeficientes de pressão exterior  $c_{pe,10}$  e  $c_{pe,1}$  para as zonas A, B, C, D e E são definidos na Figura 7.5.



**Legenda:**

building face

fachada do edifício

reference height

altura de referência

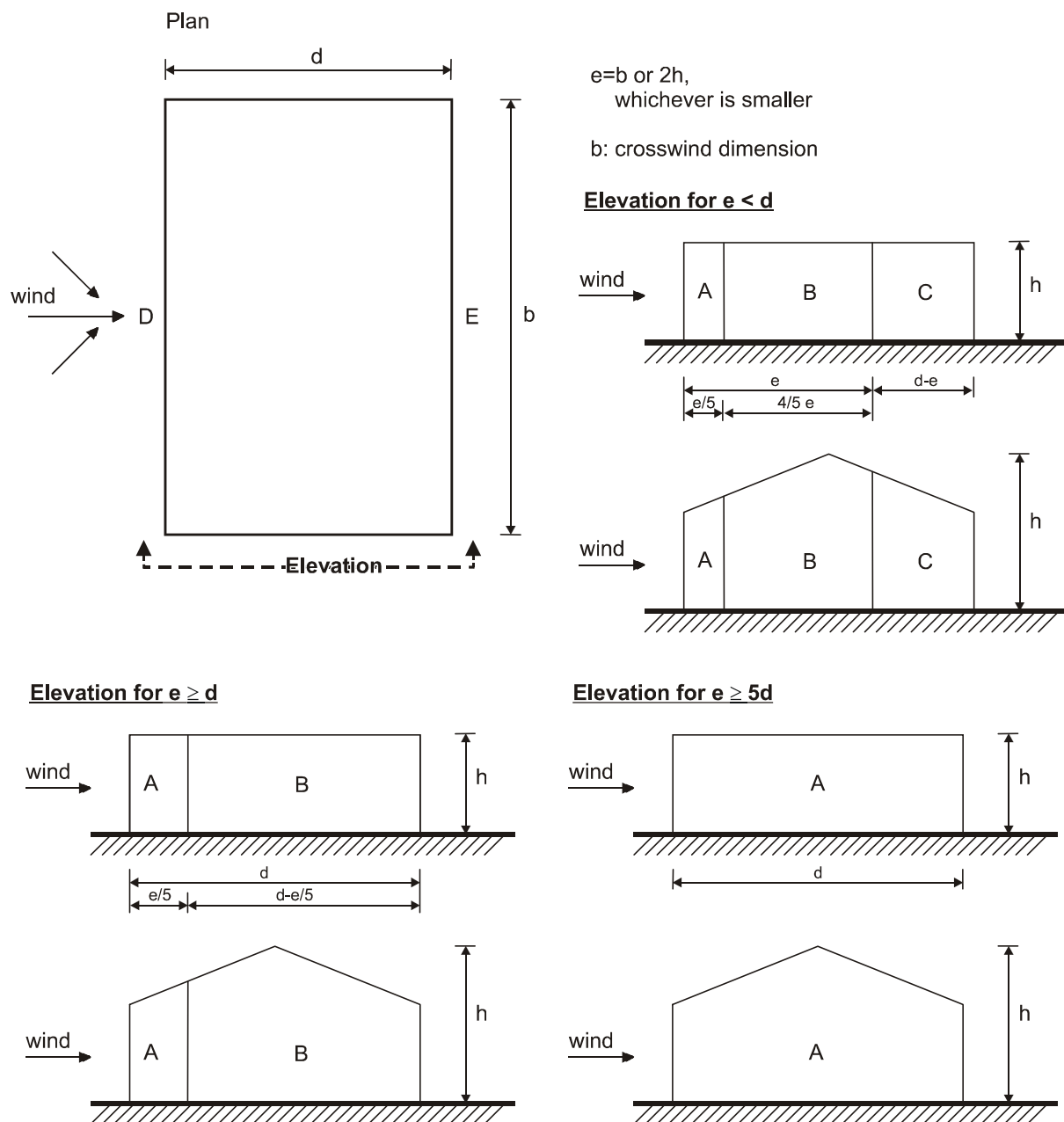
shape of profile of velocity pressure

forma do perfil de pressão dinâmica

**NOTA:** Deverá considerar-se que a pressão dinâmica é uniforme em cada faixa horizontal considerada.

Figura 7.4 – Altura de referência  $z_e$  em função de  $h$  e  $b$ , e correspondente perfil de pressão dinâmica





**Legenda:**

plan

elevation for ...

wind

$e = b$  or  $2h$ , whichever is smaller

crosswind dimension

planta

alçado para ...

vento

$e$  = menor valor de entre  $b$  e  $2h$

dimensão transversal à direcção do vento

Figura 7.5 – Zonas em paredes verticais

**NOTA 1:** Os valores de  $c_{pe,10}$  e de  $c_{pe,1}$  poderão ser fornecidos no Anexo Nacional. Os valores recomendados são indicados no Quadro 7.1, em função da relação  $h/d$ . Para valores intermédios de  $h/d$ , poderá ser efectuada uma interpolação linear. Os valores do Quadro 7.1 também são aplicáveis às paredes de edifícios com coberturas inclinadas, tais como coberturas de duas vertentes e de uma vertente.

Quadro 7.1 – Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para paredes verticais de edifícios de planta rectangular

Zona	A		B		C		D		E	
$h/d$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

**NOTA 2:** Para edifícios com  $h/d > 5$ , o carregamento total devido ao vento poderá basear-se no disposto em 7.6 a 7.8 e em 7.9.2.

(3) Nos casos em que a força exercida pelo vento num edifício é calculada através da aplicação, em simultâneo, dos coeficientes de pressão  $c_{pe}$  nas faces de barlavento e de sotavento do edifício (zonas D e E), poderá ser necessário ter em conta a falta de total correlação, entre os lados de barlavento e de sotavento, das pressões exercidas pelo vento.

**NOTA:** A falta de correlação das pressões exercidas pelo vento, entre os lados de barlavento e de sotavento, poderá ser considerada da seguinte forma: para edifícios com  $h/d \geq 5$ , a força resultante é multiplicada por 1; para edifícios com  $h/d \leq 1$ , a força resultante é multiplicada por 0,85; para valores intermédios de  $h/d$ , poderá ser efectuada uma interpolação linear.

### 7.2.3 Coberturas em terraço

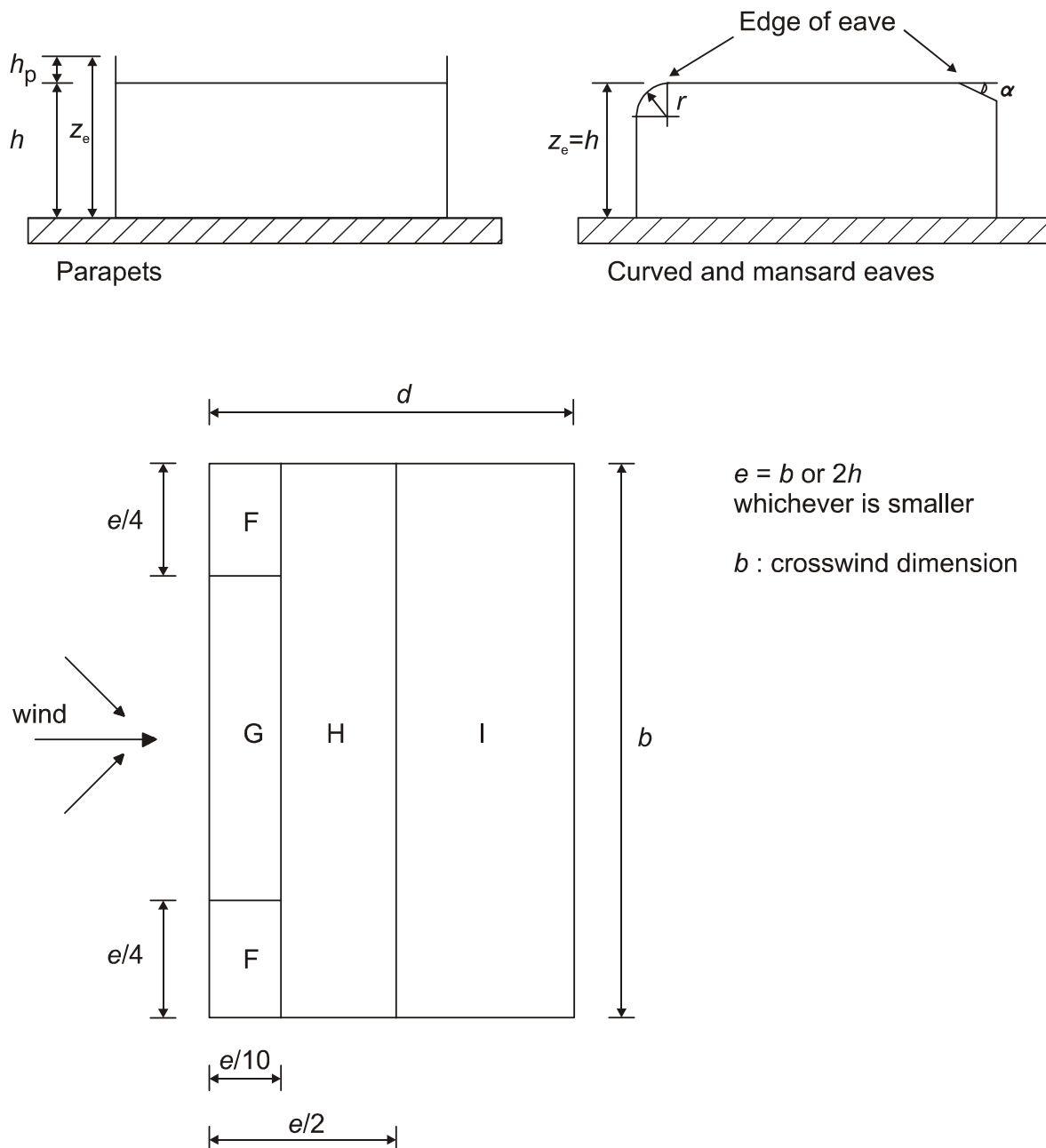
(1) As coberturas em terraço são definidas como tendo uma inclinação ( $\alpha$ ) tal que  $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$ .

(2) A cobertura deverá ser dividida em zonas conforme é representado na Figura 7.6.

(3) A altura de referência para coberturas em terraço e para coberturas com bordos arredondados ou amansardados deverá ser considerada igual a  $h$ . A altura de referência para coberturas em terraço com platibandas deverá ser considerada igual a  $h + h_p$ ; ver a Figura 7.6.

(4) Os coeficientes de pressão para cada zona são indicados no Quadro 7.2.

(5) O coeficiente de pressão resultante para a platibanda deverá ser determinado utilizando 7.4.



**Legenda:**

parapets

edge of eave

curved and mansard eaves

$e=b$  or  $2h$ , whichever is smaller

crosswind dimension

platibandas

topo do bordo

bordos arredondados ou amansardados

$e$  = menor valor de entre  $b$  e  $2h$

dimensão transversal à direcção do vento

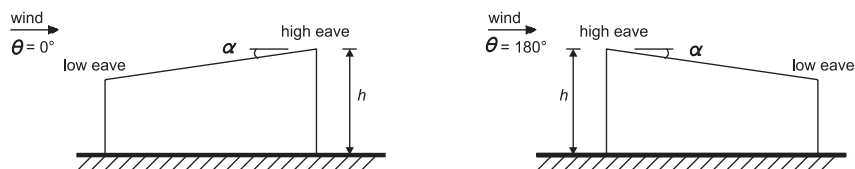
Figura 7.6 – Zonas em coberturas em terraço

Quadro 7.2 – Coeficientes de pressão exterior para coberturas em terraço

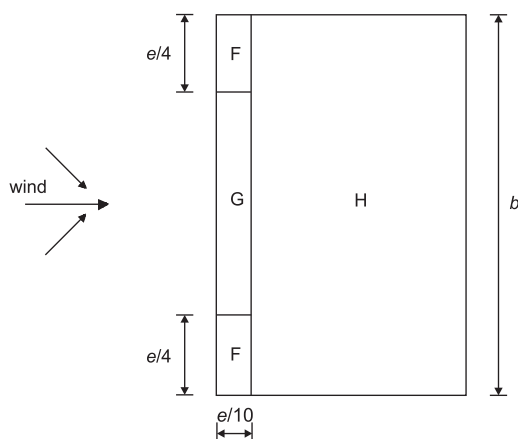
Tipo de cobertura		Zona							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Bordos em aresta viva		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Com platibanda	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Bordos arredondados	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	
								-0,2	
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	
								-0,2	
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	
								-0,2	
Bordos amansardados	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	
								-0,2	
<b>NOTA 1:</b> Para coberturas com platibandas ou com bordos arredondados, poderá ser efectuada uma interpolação linear para valores intermédios de $h_p/h$ e de $r/h$ .									
<b>NOTA 2:</b> Para coberturas com bordos amansardados, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre $\alpha = 30^\circ$ , $\alpha = 45^\circ$ e $\alpha = 60^\circ$ . Para $\alpha > 60^\circ$ , poderá ser efectuada uma interpolação linear entre os valores para $\alpha = 60^\circ$ e os valores para coberturas em terraço com bordos em aresta viva.									
<b>NOTA 3:</b> Na Zona I, para a qual são fornecidos valores positivos e negativos, devem ser considerados ambos os valores.									
<b>NOTA 4:</b> Para o bordo amansardado propriamente dito, os coeficientes de pressão exterior são fornecidos no Quadro 7.4a "Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes: direcção do vento 0", Zonas F e G, em função da inclinação do bordo.									
<b>NOTA 5:</b> Para o bordo arredondado propriamente dito, os coeficientes de pressão exterior são calculados, ao longo do bordo, por interpolação linear entre os valores relativos à parede e à cobertura.									

#### 7.2.4 Coberturas de uma vertente

- (1) A cobertura, incluindo os beirados, deverá ser dividida em zonas conforme é representado na Figura 7.7.
- (2) A altura de referência  $z_e$  deverá ser considerada igual a  $h$ .
- (3) Os coeficientes de pressão a utilizar para cada zona são fornecidos no Quadro 7.3.



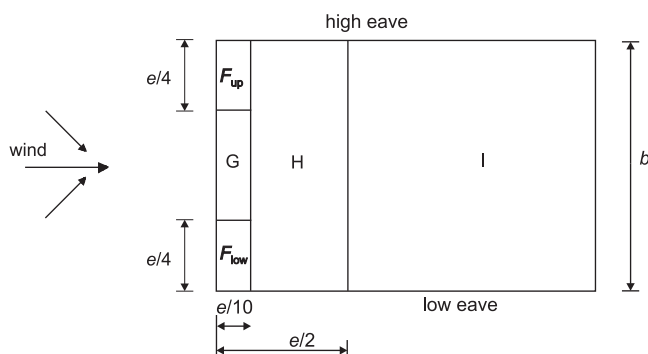
(a) general



(b) wind directions  $\theta = 0^\circ$  and  $\theta = 180^\circ$

$e = b$  or  $2h$   
whichever is smaller

$b$  : crosswind dimension



(c) wind direction  $\theta = 90^\circ$

### Legenda:

wind

high eave

low eave

general

wind directions  $\theta = 0^\circ$  e  $\theta = 180^\circ$

wind direction  $\theta = 90^\circ$

$e = b$  or  $2h$ , whichever is smaller

crosswind dimension

vento

bordo superior

bordo inferior

geral

direcções do vento  $\theta = 0^\circ$  e  $\theta = 180^\circ$

direcção do vento  $\theta = 90^\circ$

$e =$  menor valor de entre  $b$  e  $2h$

dimensão transversal à direcção do vento

Figura 7.7 – Zonas em coberturas de uma vertente

Quadro 7.3a – Coeficientes de pressão exterior para coberturas de uma vertente

Ângulo de inclinação $\alpha$	Zona; Direcção do vento $\theta=0^\circ$						Zona; Direcção do vento $\theta=180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+ 0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Quadro 7.3b – Coeficientes de pressão exterior para coberturas de uma vertente

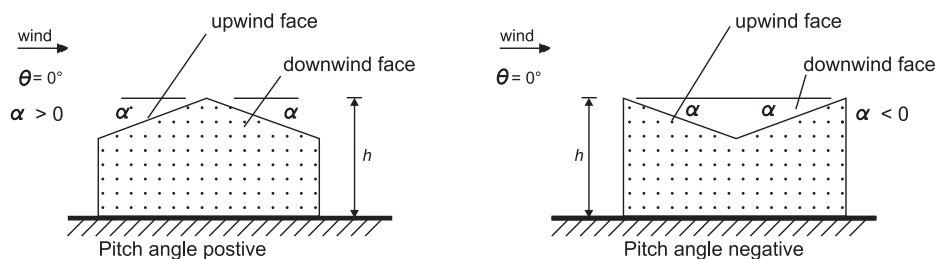
Ângulo de inclinação $\alpha$	Zona; Direcção do vento $\theta=90^\circ$									
	$F_{up}$		$F_{low}$		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

**NOTA 1:** Com  $\theta = 0^\circ$  (ver o Quadro a)), a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos para inclinações entre  $\alpha = +5^\circ$  e  $\alpha = +45^\circ$ , razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados dois casos: um com todos os valores positivos e um outro com todos os valores negativos. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

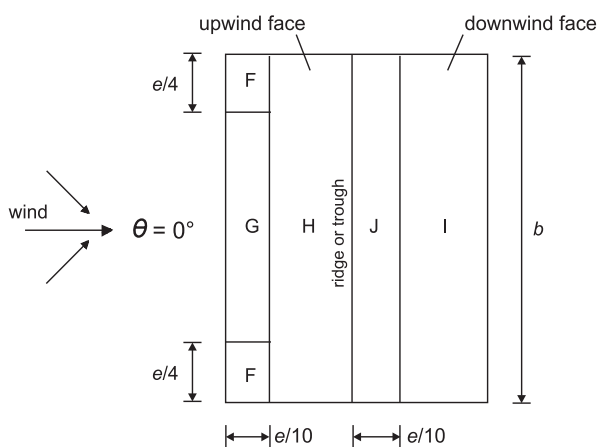
**NOTA 2:** Para ângulos intermédios de inclinação da vertente, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

#### **7.2.5 Coberturas de duas vertentes**

- (1) A cobertura, incluindo os beirados, deverá ser dividida em zonas conforme é representado na Figura 7.8.
- (2) A altura de referência  $z_e$  deverá ser considerada igual a  $h$ .
- (3) Os coeficientes de pressão a utilizar para cada zona são fornecidos no Quadro 7.4.

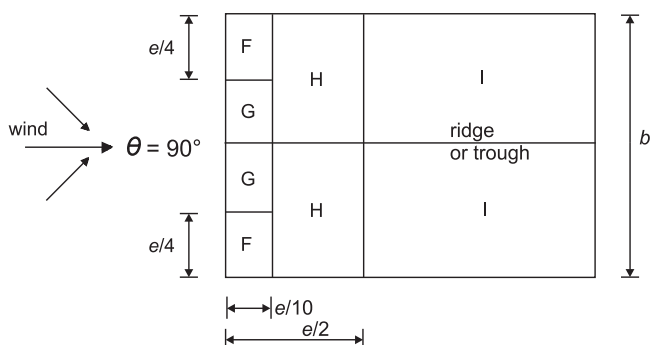


(a) general



(b) wind direction  $\theta = 0^\circ$

$e = b$  or  $2h$   
whichever is smaller  
 $b$  : crosswind dimension



(c) wind direction  $\theta = 90^\circ$

### Legenda:

wind	vento	general	geral
upwind face	vertente de barlavento	wind direction $\theta = 0^\circ$	direcção do vento $\theta = 0^\circ$
downwind face	vertente de sotavento	wind direction $\theta = 90^\circ$	direcção do vento $\theta = 90^\circ$
pitch angle positive	ângulo de inclinação positivo	$e = b$ or $2h$ , whichever is smaller	$e =$ menor valor de entre $b$ e $2h$
pitch angle negative	ângulo de inclinação negativo	crosswind dimension	dimensão transversal à direcção do vento
ridge or trough	cumeeira ou revesa		

Figura 7.8 – Zonas em coberturas de duas vertentes



Ângulo de inclinação $\alpha$	Zona; Direcção do vento $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

**NOTA 1 :** Com  $\theta = 0^\circ$  e para inclinações entre  $\alpha = -5^\circ$  e  $\alpha = +45^\circ$ , a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados quatro casos, em que os valores maiores ou menores em todas as áreas F, G e H são combinados com os valores maiores ou menores nas áreas I e J. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

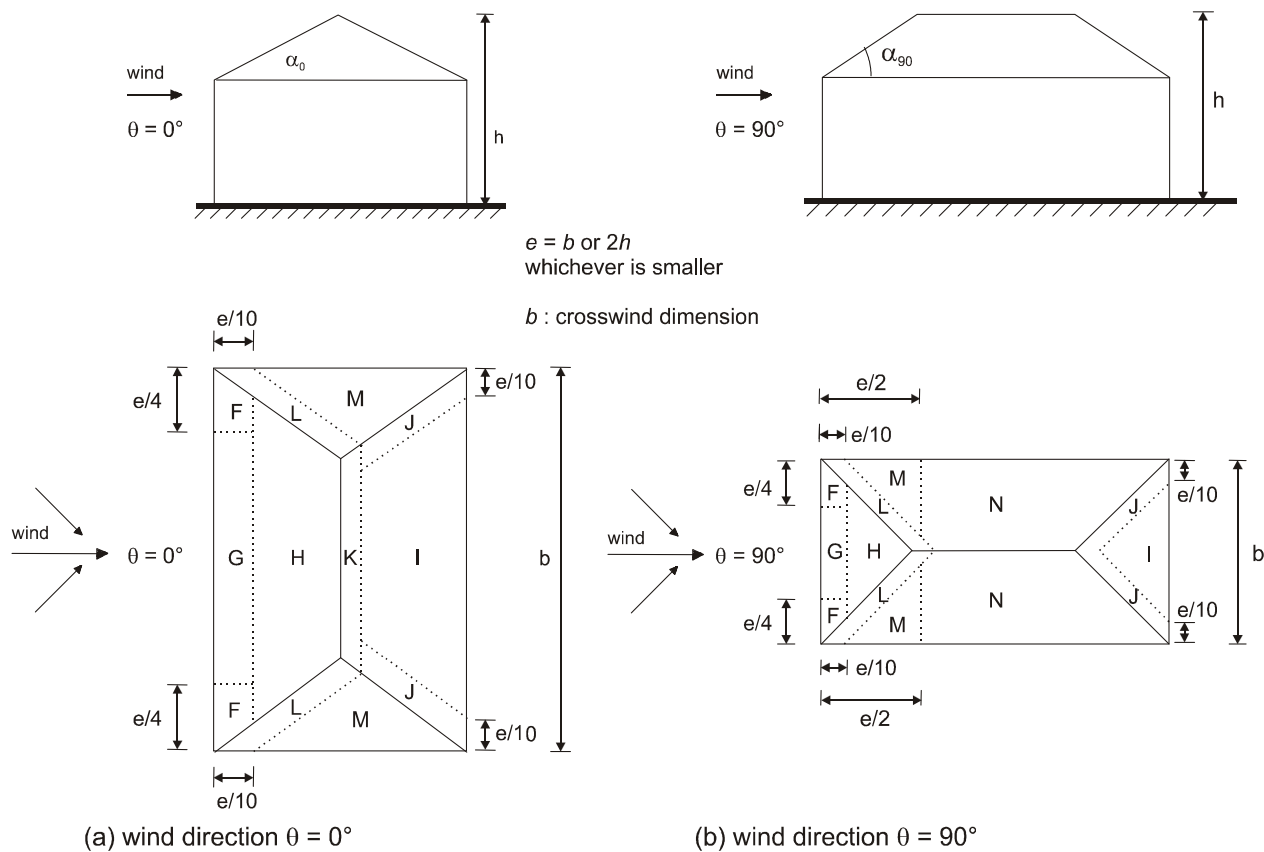
**NOTA 2:** Para ângulos de inclinação intermédios entre ângulos com o mesmo sinal, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. (Não efectuar interpolação entre  $\alpha = +5^\circ$  e  $\alpha = -5^\circ$ , mas antes utilizar os valores relativos às coberturas em terraço indicados em 7.2.3). Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

Quadro 7.4b – Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes

Ângulo de inclinação $\alpha$	Zona; Direcção do vento $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

### 7.2.6 Coberturas de quatro vertentes

- (1) A cobertura, incluindo os beirados, deverá ser dividida em zonas conforme é representado na Figura 7.9.
- (2) A altura de referência  $z_e$  deverá ser considerada igual a  $h$ .
- (3) Os coeficientes de pressão a utilizar são fornecidos no Quadro 7.5.



### Legenda:

wind

wind direction  $\theta = 0^\circ$

wind direction  $\theta = 90^\circ$

$e = b$  or  $2h$ , whichever is smaller

crosswind dimension

vento

direcção do vento  $\theta = 0^\circ$

direcção do vento  $\theta = 90^\circ$

$e =$  menor valor de entre  $b$  e  $2h$

dimensão transversal à direcção do vento

Figura 7.9 – Zonas em coberturas de quatro vertentes

Quadro 7.5 – Coeficientes de pressão exterior para coberturas de quatro vertentes de edifícios

Ângulo de inclinação	Zona; Direcção do vento $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
$\alpha_0$ para $\theta = 0^\circ$																		
$\alpha_{90}$ para $\theta = 90^\circ$																		
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
	+0,2		+0,2															
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,5		+0,7															
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,3		-0,6		-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,7		+0,7															
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
<p><b>NOTA 1:</b> Com <math>\theta = 0^\circ</math> e para inclinações entre <math>\alpha = +5^\circ</math> e <math>\alpha = +45^\circ</math>, a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados dois casos: um com todos os valores positivos e um outro com todos os valores negativos. Não é permitida a mistura de valores positivos com valores negativos.</p> <p><b>NOTA 2:</b> Para ângulos intermédios de inclinação da vertente, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.</p> <p><b>NOTA 3:</b> Os valores dos coeficientes de pressão são sempre regidos pela inclinação da vertente virada a barlavento.</p>																		

### 7.2.7 Coberturas múltiplas

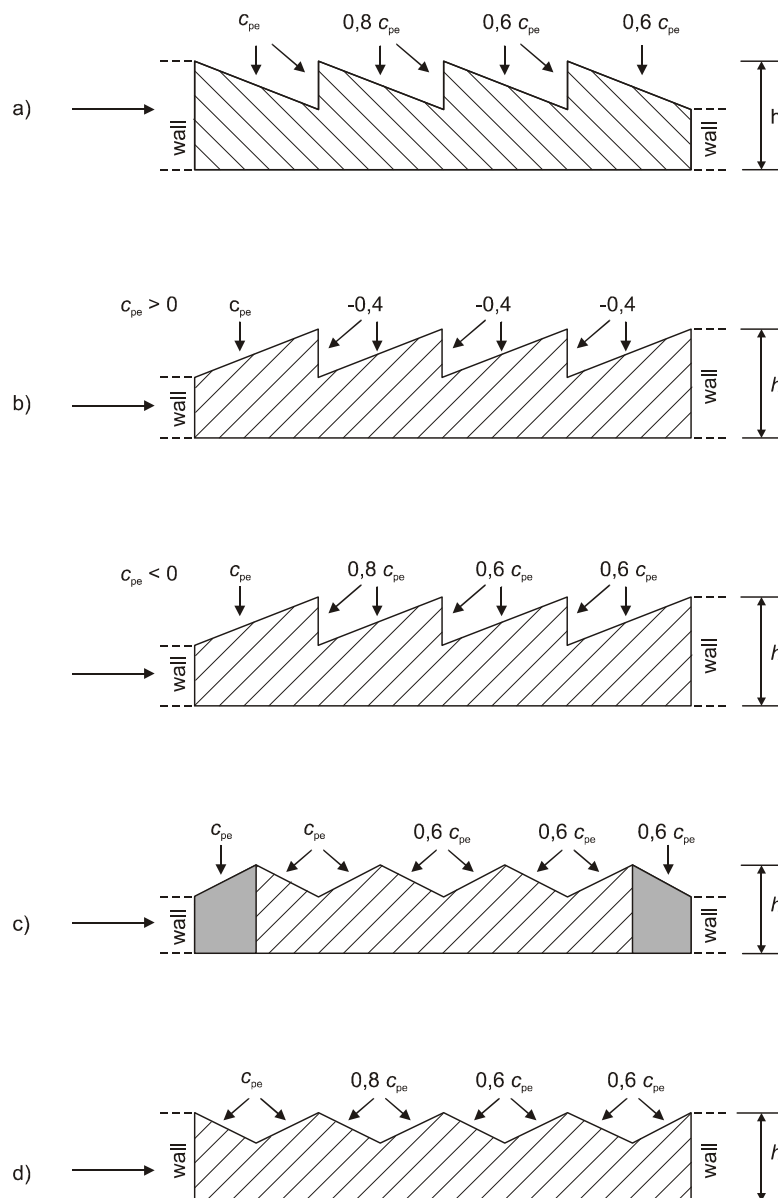
(1) Os coeficientes de pressão relativos às direcções do vento  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $180^\circ$  para cada nave de uma cobertura múltipla poderão ser determinados a partir dos coeficientes de pressão para cada nave individualmente.

Deverão ser determinados os coeficientes de modificação aplicáveis, em cada nave, às pressões (locais e globais) relativas às direcções do vento  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , considerando:

- os dados definidos em 7.2.4 para coberturas de uma vertente, modificados em função da posição da nave de acordo com a Figura 7.10 a) e b);
- os dados definidos em 7.2.5 para coberturas de duas vertentes com  $\alpha < 0^\circ$ , modificados em função da posição da nave de acordo com a Figura 7.10 c) e d).

(2) As zonas F/G/J deverão ser consideradas unicamente na vertente de barlavento. As zonas H e I deverão ser consideradas para cada nave da cobertura múltipla.

(3) A altura de referência  $z_e$  deverá ser considerada igual à altura da estrutura,  $h$ ; ver a Figura 7.10.



### Legenda:

wall parede

**NOTA 1:** Na configuração b) deverão ser considerados dois casos, conforme o sinal do coeficiente de pressão  $c_{pe}$  na primeira nave.

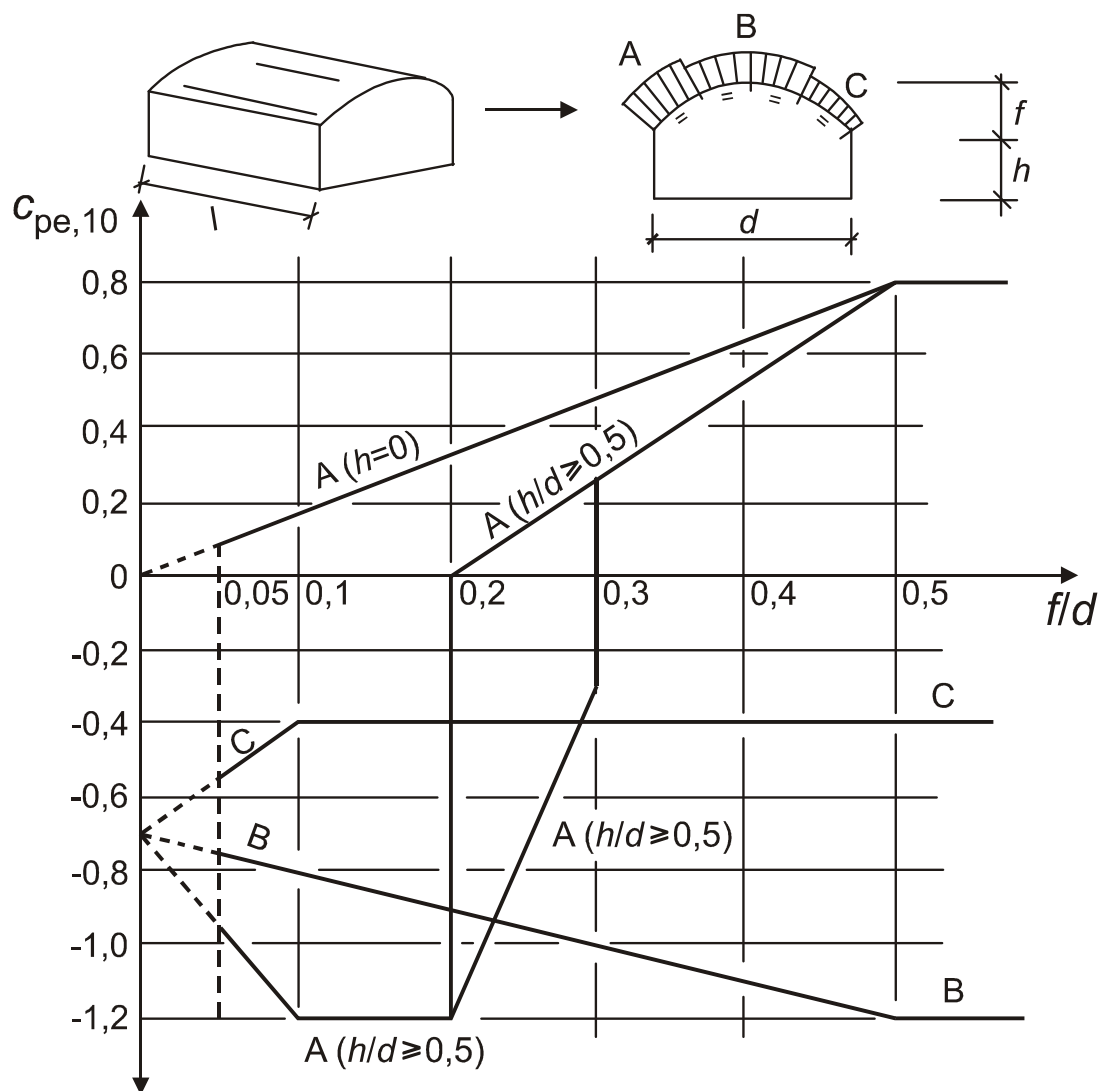
**NOTA 2:** Na configuração c), o primeiro valor de  $c_{pe}$  corresponde ao da cobertura de uma vertente; o segundo e todos os valores seguintes de  $c_{pe}$  correspondem aos da cobertura de duas vertentes com revesa.

Figura 7.10 – Coberturas múltiplas

## 7.2.8 Coberturas em abóbada e cúpulas

(1) Esta secção aplica-se às coberturas cilíndricas com directriz circular e às cúpulas.

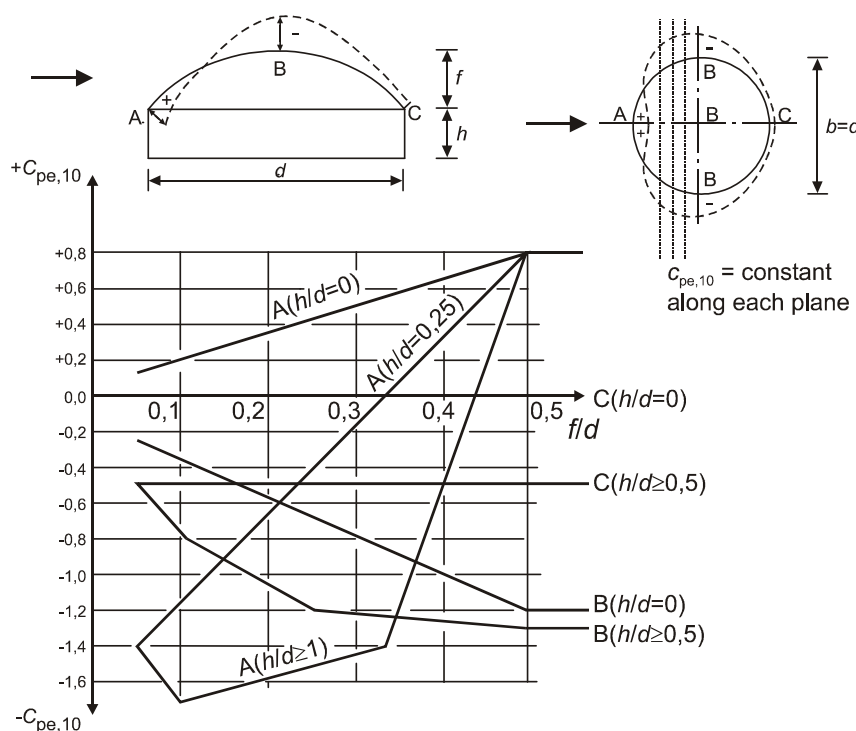
**NOTA:** Os valores de  $c_{pe,10}$  e de  $c_{pe,1}$  a utilizar para coberturas cilíndricas com directriz circular e para cúpulas poderão ser fornecidos no Anexo Nacional. Os valores recomendados de  $c_{pe,10}$  são fornecidos nas Figuras 7.11 e 7.12 para diferentes zonas. A altura de referência deverá ser considerada como  $z_e = h + f$ .



Na zona A, para  $0 < h/d < 0,5$ , o valor de  $c_{pe,10}$  obtém-se por interpolação linear, e, para  $0,2 \leq f/d \leq 0,3$  e  $h/d \geq 0,5$ , têm de ser considerados dois valores de  $c_{pe,10}$ .

O diagrama não é aplicável a coberturas em terraço.

Figura 7.11 – Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior  $c_{pe,10}$  para coberturas em abóbada de base rectangular



Legenda:

constant along each plane      constante ao longo de cada plano

$c_{pe,10}$  é constante ao longo dos arcos circulares formados pelas intersecções da cúpula com planos perpendiculares ao vento. Em primeira aproximação,  $c_{pe,10}$  pode ser determinado, ao longo dos arcos circulares paralelos ao vento, por interpolação linear entre os valores em A, B e C. De forma idêntica, os valores de  $c_{pe,10}$  em A se  $0 < h/d < 1$  e em B ou C se  $0 < h/d < 0,5$  podem ser obtidos por interpolação linear entre os valores lidos na figura acima.

Figura 7.12 – Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior  $c_{pe,10}$  para cúpulas de base circular

(2) Os coeficientes de pressão para as paredes de edifícios rectangulares com cobertura em abóbada deverão ser obtidos através de 7.2.2.

### 7.2.9 Pressão interior

(1)P As pressões interiores e exteriores devem ser consideradas como actuando simultaneamente. Deve ser considerada a combinação mais desfavorável das pressões exteriores e interiores para cada combinação de possíveis aberturas e outras vias de passagem de ar.

(2) O coeficiente de pressão interior,  $c_{pi}$ , depende da dimensão e da distribuição das aberturas na envolvente do edifício. Nos casos em que, em pelo menos duas faces do edifício (fachadas ou cobertura), a área total das aberturas existentes em cada face é superior a 30 % da área dessa face, as acções na estrutura não deverão ser calculadas com base nas regras indicadas nesta secção; deverão antes ser utilizadas as regras fornecidas em 7.3 e 7.4.

**NOTA:** As aberturas de um edifício incluem aberturas de pequena dimensão, tais como janelas abertas, ventiladores, chaminés, etc., e também uma permeabilidade secundária devida, por exemplo, a passagens de ar no contorno de portas, janelas e equipamentos e através da envolvente do edifício. A permeabilidade secundária situa-se, geralmente, entre 0,01 % e 0,1 % da área da face. No Anexo Nacional poderão ser fornecidas informações adicionais.

(3) Nos casos em que uma abertura exterior, como uma porta ou uma janela, se revela predominante se estiver aberta mas é considerada como estando fechada no estado limite último (ou seja, durante situações de vento muito intenso), a situação de porta ou de janela aberta deverá ser considerada como uma situação de projecto accidental, de acordo com a EN 1990.

*NOTA:* A verificação da situação de projecto accidental revela-se importante no caso de paredes interiores de grande altura (susceptíveis de danos elevados) quando a parede tem que suportar a totalidade da acção exterior do vento devido à existência de aberturas na envolvente do edifício.

(4) Uma face de um edifício deverá ser considerada como predominante quando a área das aberturas nessa face é pelo menos o dobro da área das aberturas e de outras vias de passagem de ar nas faces restantes do edifício considerado.

*NOTA:* Esta definição também pode ser aplicada a volumes interiores, individuais, no edifício.

(5) No caso de um edifício com uma face predominante, a pressão interior deverá ser considerada igual a uma fracção da pressão exterior ao nível das aberturas na face predominante. Para o efeito, deverão utilizar-se os valores fornecidos pelas expressões (7.1) e (7.2).

Quando a área das aberturas na face predominante é igual ao dobro da área das aberturas nas faces restantes,

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} \quad (7.1)$$

Quando a área das aberturas na face predominante é igual a, pelo menos, três vezes a área das aberturas nas faces restantes,

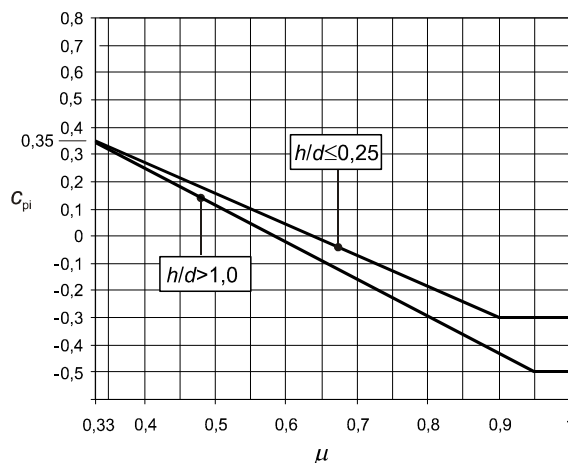
$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe} \quad (7.2)$$

em que  $c_{pe}$  é o valor do coeficiente de pressão exterior ao nível das aberturas na face predominante. Quando estas aberturas se localizam em zonas com valores diferentes das pressões exteriores, deverá utilizar-se um valor médio, ponderado em área, para  $c_{pe}$ .

Quando a área das aberturas na face predominante está compreendida entre 2 e 3 vezes a área das aberturas nas faces restantes, poderá ser efectuada uma interpolação linear para o cálculo de  $c_{pi}$ .

(6) No caso de edifícios sem uma face predominante, o coeficiente de pressão interior  $c_{pi}$  deverá ser determinado através da Figura 7.13, sendo função do quociente entre a altura e a profundidade do edifício,  $h/d$ , e do índice de aberturas  $\mu$  para cada direcção do vento  $\theta$ , que deverá ser determinado através da expressão (7.3).





**NOTA:** Para valores de  $h/d$  entre 0,25 e 1,0 poderá efectuar-se uma interpolação linear.

Figura 7.13 – Coeficientes de pressão interior no caso de aberturas uniformemente distribuídas

$$\mu = \frac{\sum \text{área das aberturas em que } c_{pe} \text{ é negativo ou } -0,0}{\sum \text{área de todas as aberturas}} \quad (7.3)$$

**NOTA 1:** Esta regra aplica-se a fachadas e a coberturas de edifícios com ou sem divisórias interiores.

**NOTA 2:** Quando não seja possível calcular o valor de  $\mu$  para um determinado caso, ou tal cálculo não se considere justificado, o coeficiente  $c_{pi}$  deverá ser considerado com o valor mais gravoso de entre +0,2 e -0,3.

(7) A altura de referência  $z_i$  para as pressões interiores deverá ser igual à altura de referência  $z_e$  para as pressões exteriores (ver 5.1(1)P) nas faces que, pelas suas aberturas, contribuem para a criação da pressão interior. No caso de existirem várias aberturas, deverá ser considerado o maior valor de  $z_e$  para determinar  $z_i$ .

(8) O coeficiente de pressão interior para chaminés e para silos abertos deverá basear-se na expressão (7.4):

$$c_{pi} = -0,60 \quad (7.4)$$

O coeficiente de pressão interior para reservatórios ventilados por aberturas de pequena dimensão deverá basear-se na expressão (7.5):

$$c_{pi} = -0,40 \quad (7.5)$$

A altura de referência  $z_i$  é igual à altura da construção.

### 7.2.10 Pressão sobre paredes ou coberturas com mais de um pano (ou superfície envolvente)

(1) A força exercida pelo vento deve ser calculada separadamente para cada pano (ou superfície envolvente).

(2) A permeabilidade  $\mu$  de um pano é definida como o quociente entre a área total das aberturas e a área total do pano. Um pano é definido como impermeável se o valor de  $\mu$  for inferior a 0,1 %.

(3) No caso de apenas um pano ser permeável, a força exercida pelo vento sobre o pano impermeável deverá ser determinada a partir da diferença entre as pressões interiores e exteriores, como descrito em 5.2(3). Se mais do que um pano for permeável, a força exercida pelo vento sobre cada pano depende então:

– da rigidez relativa dos panos;

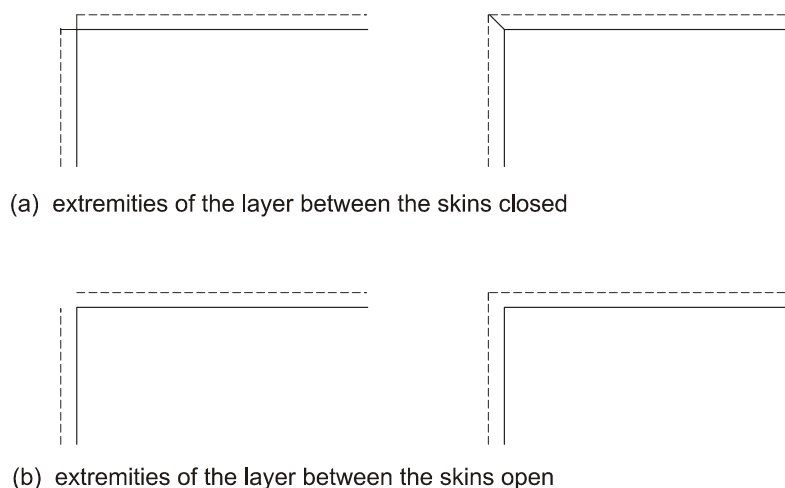
- das pressões exteriores e interiores;
- da distância entre os panos;
- da permeabilidade dos panos;
- das aberturas na periferia da camada entre os panos.

**NOTA 1:** O Anexo Nacional poderá fornecer valores relativos aos efeitos do vento nas paredes exteriores e nas coberturas com mais de um pano (ou superfície envolvente). Recomenda-se, como primeira aproximação, que a pressão exercida pelo vento sobre o pano mais rígido seja considerada como a diferença entre as pressões interior e exterior.

**NOTA 2:** O Anexo Nacional poderá indicar regras para os casos em que a periferia da camada entre os panos seja estanque em relação ao ar (ver a Figura 7.14(a)) e em que a distância livre entre os panos seja inferior a 100 mm (quando não existe circulação de ar no material de isolamento térmico, considera-se este material como fazendo parte de um dos panos). Como primeira aproximação, poderão aplicar-se as seguintes regras recomendadas:

- para paredes e coberturas com um pano interior impermeável e um pano exterior permeável com uma distribuição de aberturas aproximadamente uniforme, a força exercida pelo vento sobre o pano exterior poderá ser calculada a partir de  $c_{p,net} = 2/3 \cdot c_{pe}$  para as sobrepressões e  $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pe}$  para as sucções; a força exercida pelo vento sobre o pano interior poderá ser calculada a partir de  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$ ;
- para paredes e coberturas com um pano interior impermeável e um pano exterior mais rígido, também impermeável, a força exercida pelo vento sobre o pano exterior poderá ser calculada a partir de  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$ ;
- para paredes e coberturas com um pano interior permeável com uma distribuição de aberturas aproximadamente uniforme e um pano exterior impermeável, a força exercida pelo vento sobre o pano exterior poderá ser calculada a partir de  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$  e a força exercida pelo vento sobre o pano interior a partir de  $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pi}$ ;
- para paredes e coberturas com um pano exterior impermeável e um pano interior mais rígido, também impermeável, a força exercida pelo vento sobre o pano exterior poderá ser calculada a partir de  $c_{p,net} = c_{pe}$  e a força exercida pelo vento sobre o pano interior a partir de  $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$ .

Estas regras não são aplicáveis se existirem entradas de ar que coloquem a camada de ar entre panos em comunicação com faces do edifício distintas da face na qual se localiza a parede (ver a Figura 7.14(b)).



*Legenda:*

(a) extremities of the layer between the skins closed      (a) periferia da camada entre os panos fechada  
(b) extremities of the layer between the skins open      (b) periferia da camada entre os panos aberta

Figura 7.14 – Pormenores dos cantos de paredes exteriores com mais de um pano

### 7.3 Coberturas isoladas

(1) Uma cobertura isolada é definida como sendo a cobertura de uma construção que não tem paredes permanentes, como é o caso, por exemplo, em estações de serviço, armazéns agrícolas abertos, etc.

(2) O grau de obstrução sob uma cobertura isolada, ilustrado na Figura 7.15, depende da obstrução  $\varphi$ , que é o quociente entre a área dos eventuais obstáculos sob a cobertura (em configuração exequível) e a área da secção transversal sob a cobertura, sendo ambas as áreas medidas perpendicularmente à direcção do vento.

**NOTA:**  $\varphi = 0$  representa uma cobertura isolada vazia, sem obstáculos, e  $\varphi = 1$  representa uma cobertura isolada totalmente obstruída por objectos dispostos apenas no lado de sotavento (não se trata de um edifício fechado).

(3) Os coeficientes de força global  $c_f$  e os coeficientes de pressão resultante  $c_{p,net}$  fornecidos nos Quadros 7.6 a 7.8 para  $\varphi = 0$  e para  $\varphi = 1$  têm em conta o efeito conjunto do vento actuando sobre as superfícies superior e inferior das coberturas isoladas, para qualquer direcção do vento. Valores intermédios poderão ser obtidos por interpolação linear.

(4) A sotavento da posição de obstrução máxima, deverão utilizar-se os valores de  $c_{p,net}$  correspondentes a  $\varphi = 0$ .

(5) O coeficiente de força global traduz a força resultante. O coeficiente de pressão resultante representa a pressão local máxima para todas as direcções do vento; este coeficiente deverá ser utilizado para o cálculo dos elementos de cobertura e ligações.

(6) As coberturas isoladas devem resistir aos casos de carga a seguir definidos:

- para uma cobertura isolada de uma vertente (ver o Quadro 7.6), o centro de pressão deverá ser posicionado a uma distância  $d/4$  do bordo de barlavento ( $d$  = dimensão na direcção do vento, ver a Figura 7.16);
- para uma cobertura isolada de duas vertentes (ver o Quadro 7.7), o centro de pressão deverá ser posicionado no centro de cada vertente (ver a Figura 7.17); além disso, deverão ser consideradas as

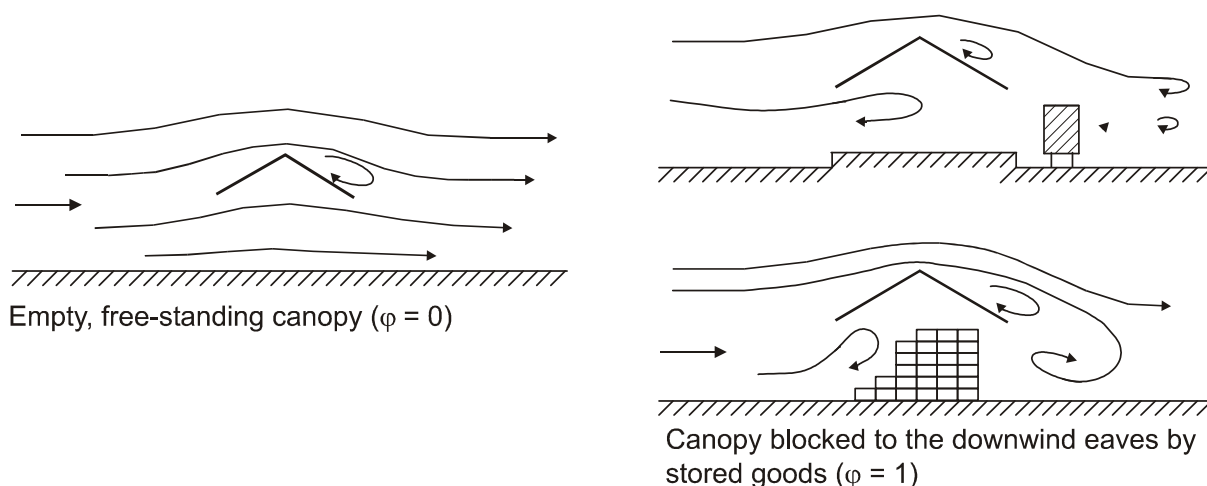
situações de carregamento máximo ou mínimo em qualquer uma das vertentes, estando a outra vertente sem carga;

- para uma cobertura isolada múltipla de naves com duas vertentes, o carregamento em cada nave poderá ser calculado por aplicação dos coeficientes de redução  $\psi_{mc}$  fornecidos no Quadro 7.8 aos valores de  $c_{p,net}$  fornecidos no Quadro 7.7.

Para coberturas isoladas com dupla superfície envolvente, a superfície impermeável e as suas ligações deverão ser calculadas considerando  $c_{p,net}$  e, em relação à superfície permeável e suas ligações, dever-se-à considerar  $1/3 c_{p,net}$ .

(7) Deverão ser consideradas as forças de atrito (ver 7.5).

(8) A altura de referência  $z_e$  deverá ser considerada igual a  $h$ , como é representado nas Figuras 7.16 e 7.17.



#### Legenda:

Empty, free-standing canopy ( $\varphi = 0$ )

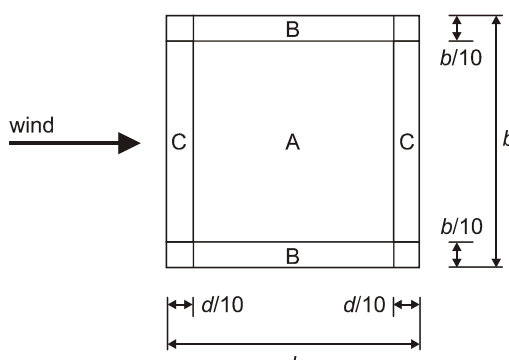
Cobertura isolada vazia ( $\varphi = 0$ )

Canopy blocked to the downwind eaves by stored goods ( $\varphi = 1$ )

Cobertura isolada obstruída, no lado de sotavento, por mercadorias armazenadas ( $\varphi = 1$ )

Figura 7.15 – Escoamento do ar em torno de coberturas isoladas

Quadro 7.6 – Valores de  $c_{p,net}$  e de  $c_f$  para coberturas isoladas de uma vertente

			Coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ Key plan 		
Inclinação da cobertura $\alpha$	Obstrução $\varphi$	Coeficientes de força global $c_f$	Zona A	Zona B	Zona C
0°	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,2 - 0,5 - 1,3	+ 0,5 - 0,6 - 1,5	+ 1,8 - 1,3 - 1,8	+ 1,1 - 1,4 - 2,2
5°	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,4 - 0,7 - 1,4	+ 0,8 - 1,1 - 1,6	+ 2,1 - 1,7 - 2,2	+ 1,3 - 1,8 - 2,5
10°	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,5 - 0,9 - 1,4	+ 1,2 - 1,5 - 1,6	+ 2,4 - 2,0 - 2,6	+ 1,6 - 2,1 - 2,7
15°	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,7 - 1,1 - 1,4	+ 1,4 - 1,8 - 1,6	+ 2,7 - 2,4 - 2,9	+ 1,8 - 2,5 - 3,0
20°	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,8 - 1,3 - 1,4	+ 1,7 - 2,2 - 1,6	+ 2,9 - 2,8 - 2,9	+ 2,1 - 2,9 - 3,0
25°	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 1,0 - 1,6 - 1,4	+ 2,0 - 2,6 - 1,5	+ 3,1 - 3,2 - 2,5	+ 2,3 - 3,2 - 2,8
30°	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 1,2 - 1,8 - 1,4	+ 2,2 - 3,0 - 1,5	+ 3,2 - 3,8 - 2,2	+ 2,4 - 3,6 - 2,7
<b>NOTA:</b> O sinal + indica uma acção resultante do vento com sentido descendente. O sinal - indica uma acção resultante do vento com sentido ascendente.					

**Legenda:**

wind                      vento  
Key plan                  Planta de referência

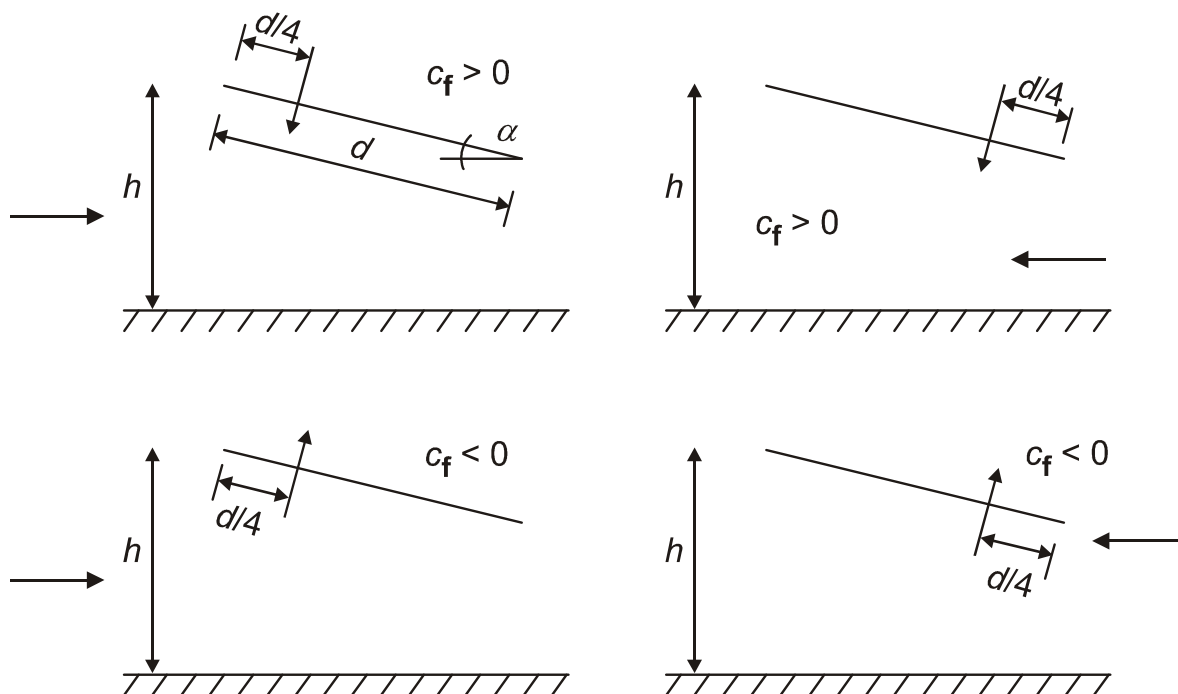
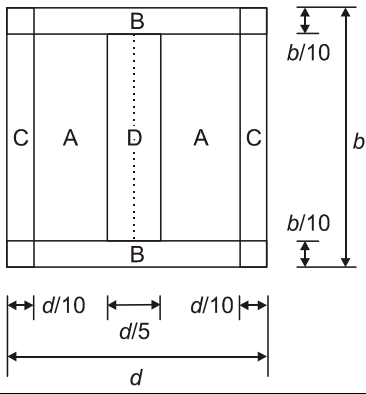


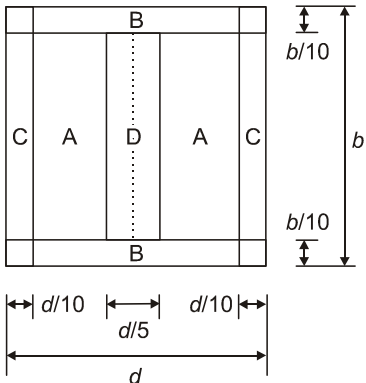
Figura 7.16 – Localização do centro de força para coberturas isoladas de uma vertente

Quadro 7.7 – Valores de  $c_{p,net}$  e de  $c_f$  para coberturas isoladas de duas vertentes

			Coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ <b>Key plan</b> 			
Inclinação da cobertura $\alpha [^\circ]$	Obstrução $\varphi$	Coeficiente de força global $c_f$	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
- 20	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,7 - 0,7 - 1,3	+ 0,8 - 0,9 - 1,5	+ 1,6 - 1,3 - 2,4	+ 0,6 - 1,6 - 2,4	+ 1,7 - 0,6 - 0,6
- 15	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,5 - 0,6 - 1,4	+ 0,6 - 0,8 - 1,6	+ 1,5 - 1,3 - 2,7	+ 0,7 - 1,6 - 2,6	+ 1,4 - 0,6 - 0,6
- 10	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,4 - 0,6 - 1,4	+ 0,6 - 0,8 - 1,6	+ 1,4 - 1,3 - 2,7	+ 0,8 - 1,5 - 2,6	+ 1,1 - 0,6 - 0,6
- 5	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,3 - 0,5 - 1,3	+ 0,5 - 0,7 - 1,5	+ 1,5 - 1,3 - 2,4	+ 0,8 - 1,6 - 2,4	+ 0,8 - 0,6 - 0,6
+ 5	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,3 - 0,6 - 1,3	+ 0,6 - 0,6 - 1,3	+ 1,8 - 1,4 - 2,0	+ 1,3 - 1,4 - 1,8	+ 0,4 - 1,1 - 1,5
+ 10	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,4 - 0,7 - 1,3	+ 0,7 - 0,7 - 1,3	+ 1,8 - 1,5 - 2,0	+ 1,4 - 1,4 - 1,8	+ 0,4 - 1,4 - 1,8
+ 15	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,4 - 0,8 - 1,3	+ 0,9 - 0,9 - 1,3	+ 1,9 - 1,7 - 2,2	+ 1,4 - 1,4 - 1,6	+ 0,4 - 1,8 - 2,1
+ 20	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,6 - 0,9 - 1,3	+ 1,1 - 1,2 - 1,4	+ 1,9 - 1,8 - 2,2	+ 1,5 - 1,4 - 1,6	+ 0,4 - 2,0 - 2,1

(continua)

Quadro 7.7 – Valores de  $c_{p,net}$  e de  $c_f$  para coberturas isoladas de duas vertentes (conclusão)

			Coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ <b>Key plan</b> 			
Inclinação da cobertura $\alpha [^\circ]$	Obstrução $\varphi$	Coeficiente de força global $c_f$	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
+ 25	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,7 - 1,0 - 1,3	+ 1,2 - 1,4 - 1,4	+ 1,9 - 1,9 - 2,0	+ 1,6 - 1,4 - 1,5	+ 0,5 - 2,0 - 2,0
+ 30	Máximo, qualquer $\varphi$ Mínimo, $\varphi = 0$ Mínimo, $\varphi = 1$	+ 0,9 - 1,0 - 1,3	+ 1,3 - 1,4 - 1,4	+ 1,9 - 1,9 - 1,8	+ 1,6 - 1,4 - 1,4	+ 0,7 - 2,0 - 2,0
<b>NOTA:</b> O sinal + indica uma acção resultante do vento com sentido descendente. O sinal - indica uma acção resultante do vento com sentido ascendente.						

**Legenda:**

Key plan      Planta de referência



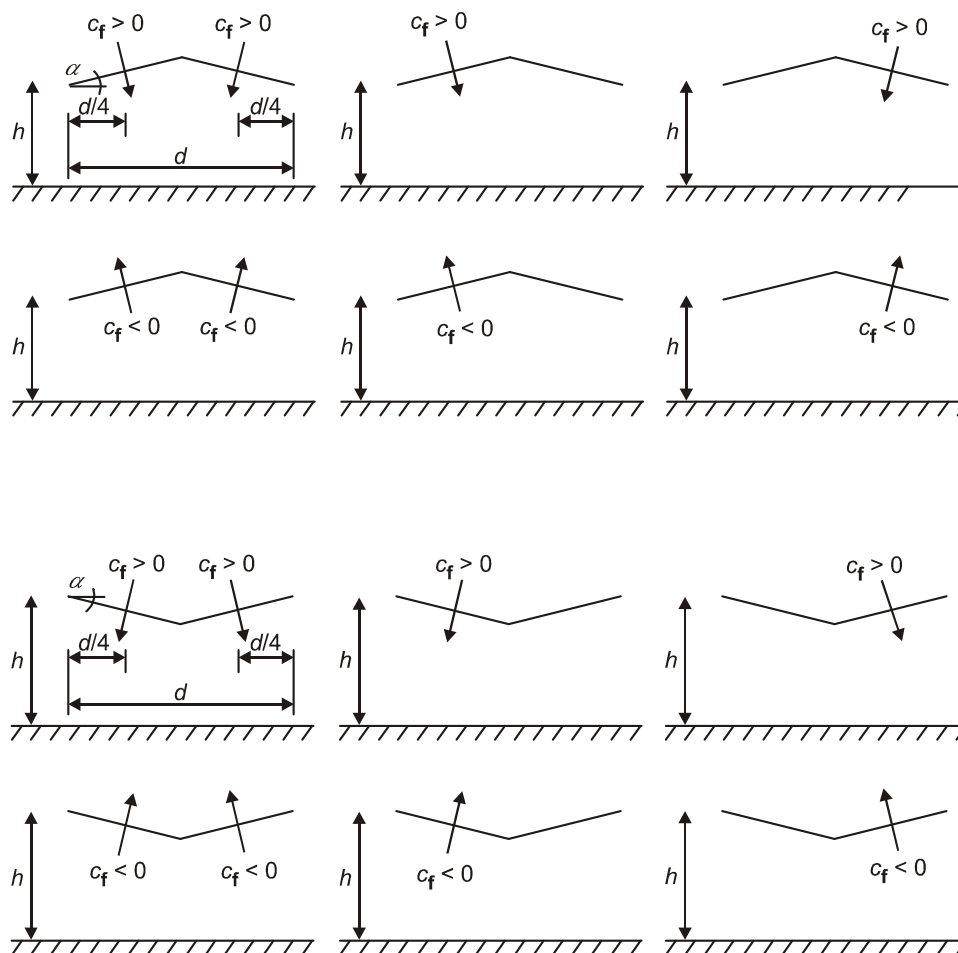


Figura 7.17 – Disposição das cargas obtidas a partir dos coeficientes de força para coberturas isoladas de duas vertentes

(9) As cargas exercidas sobre cada vertente de coberturas isoladas múltiplas, como as representadas na Figura 7.18, são determinadas aplicando os coeficientes de redução  $\psi_{mc}$  fornecidos no Quadro 7.8 aos coeficientes de força global e aos coeficientes de pressão resultante correspondentes a coberturas isoladas de duas vertentes.

Quadro 7.8 – Coeficientes de redução  $\psi_{mc}$  para coberturas isoladas múltiplas

Nave	Localização	Coeficientes $\psi_{mc}$ , para qualquer valor de $\phi$	
		sobre valores máximos (sentido descendente) dos coeficientes de força e de pressão	sobre valores mínimos (sentido ascendente) dos coeficientes de força e de pressão
1	Nave de extremidade	1,0	0,8
2	Segunda nave	0,9	0,7
3	Terceira nave e naves seguintes	0,7	0,7

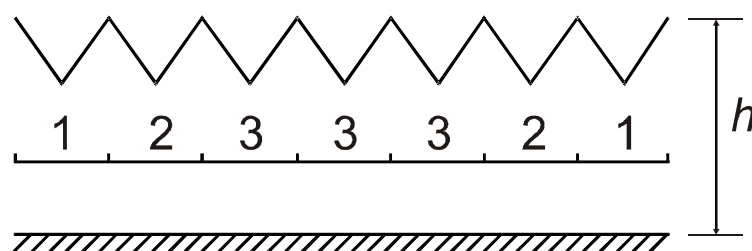


Figura 7.18 – Coberturas isoladas múltiplas

#### 7.4 Paredes isoladas, platibandas, vedações e painéis de sinalização

(1) Os valores dos coeficientes de pressão resultante  $c_{p,net}$  para paredes isoladas e platibandas dependem do índice de cheios  $\phi$ . No caso de paredes sem aberturas, o índice de cheios  $\phi$  é igual a 1; no caso de paredes com 20 % de aberturas,  $\phi = 0,8$ . As paredes e as vedações com um índice de cheios  $\phi \leq 0,8$  deverão ser consideradas de acordo com 7.11, como treliças planas.

**NOTA:** Para guarda-corpos e barreiras anti-ruído de pontes, ver a secção 8.

##### 7.4.1 Paredes isoladas e platibandas

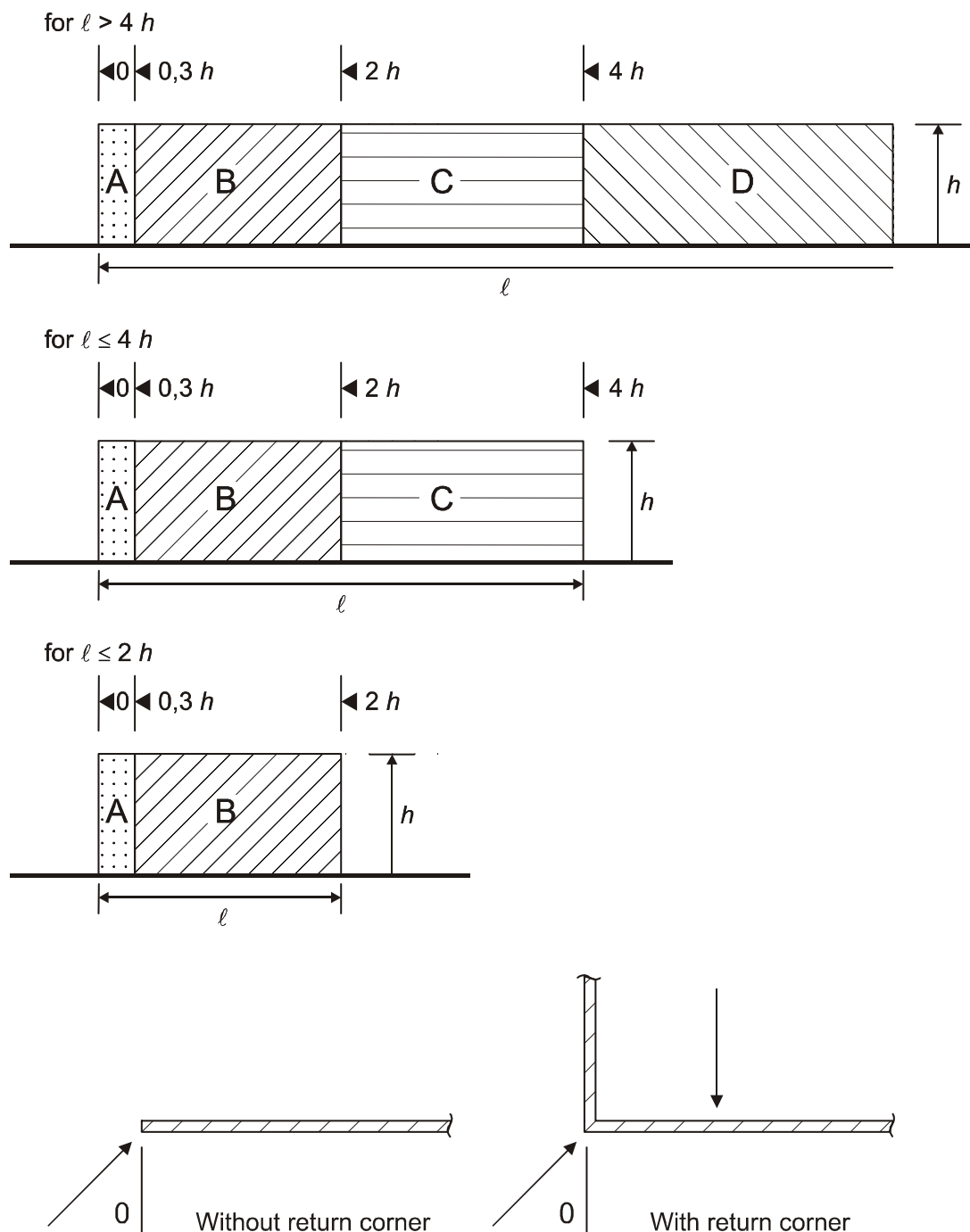
(1) No caso de paredes isoladas e de platibandas, deverão ser especificados os coeficientes de pressão resultante,  $c_{p,net}$ , para as zonas A, B, C e D definidas na Figura 7.19.

**NOTA:** Os valores dos coeficientes de pressão resultante  $c_{p,net}$  para paredes isoladas e platibandas poderão ser fornecidos no Anexo Nacional. No Quadro 7.9 são indicados valores recomendados para dois valores do índice de cheios; ver 7.4(1). Estes valores correspondem a uma direcção de vento oblíquo em relação à parede, no caso de esta não ter pano de esquina (ver a Figura 7.19); no caso de paredes com pano de esquina, os valores correspondem às duas direcções opostas que são indicadas na Figura 7.19. Em ambos os casos, a área de referência é a área bruta. Poderá ser efectuada uma interpolação linear para valores do índice de cheios entre 0,8 e 1.

*Quadro 7.9 – Coeficientes de pressão  $c_{p,net}$  recomendados para paredes isoladas e platibandas*

Índice de cheios	Zona		A	B	C	D
$\varphi = 1$	Sem panos de esquina	$\ell/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$\ell/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$\ell/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	Com panos de esquina de comprimento $\geq h$ <sup>a)</sup>		2,1	1,8	1,4	1,2
$\varphi = 0,8$			1,2	1,2	1,2	1,2
<sup>a)</sup> Poderá ser efectuada uma interpolação linear no caso de panos de esquina com comprimento entre 0,0 e h.						

(2) A altura de referência para paredes isoladas deverá ser considerada como  $z_e = h$ ; ver a Figura 7.19. A altura de referência para platibandas de edifícios deverá ser considerada como  $z_e = (h + h_p)$ ; ver a Figura 7.6.



**Legenda:**

for  $\ell > 4h$  ; for  $\ell \leq 4h$  ; for  $\ell \leq 2h$       para  $\ell > 4h$  ; para  $\ell \leq 4h$  ; para  $\ell \leq 2h$

without return corner

sem pano de esquina

with return corner

com pano de esquina

Figura 7.19 – Zonas em paredes isoladas e platibandas

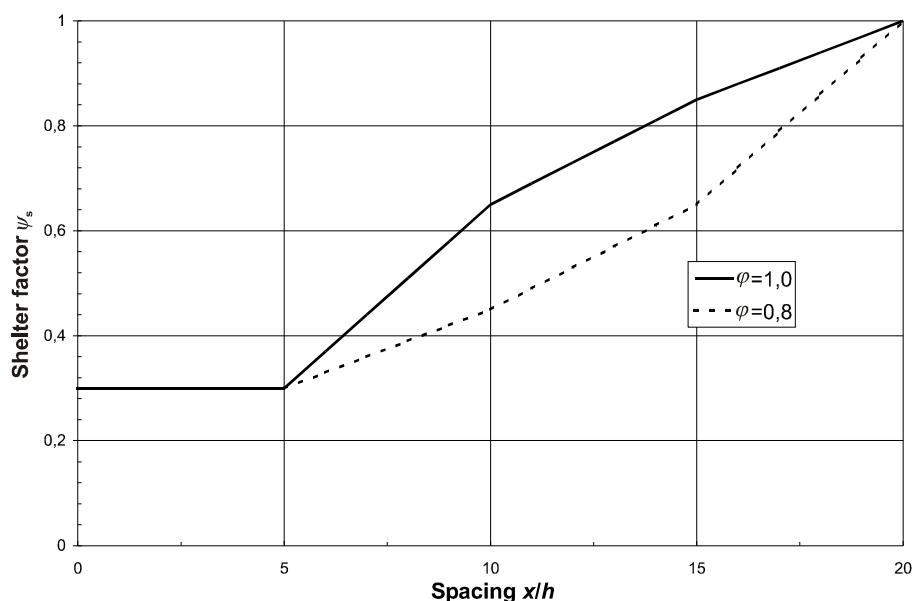
#### 7.4.2 Coeficientes de protecção para paredes e vedações

(1) Se a barlavento da parede ou da vedação considerada existirem outras paredes ou vedações de altura igual ou superior à altura  $h$  da parede ou da vedação em causa, pode ser utilizado um coeficiente de protecção em complemento aos coeficientes de pressão resultante relativos a paredes e a vedações. O valor do coeficiente de protecção,  $\psi_s$ , depende do afastamento  $x$  entre as paredes ou vedações, assim como do índice de cheios  $\varphi$  da parede ou vedação situada a barlavento (a que confere efeito de protecção). Na Figura 7.20 são fornecidos valores de  $\psi_s$ .

O valor efectivo do coeficiente de pressão resultante na parede protegida,  $c_{p,net,s}$ , é determinado pela expressão (7.6):

$$c_{p,net,s} = \psi_s \cdot c_{p,net} \quad (7.6)$$

(2) O coeficiente de protecção não deverá ser aplicado nas zonas de extremidade, numa extensão igual a  $h$  medida a partir da extremidade livre da parede.



#### Legenda:

shelter factor      coeficiente de protecção

spacing              afastamento

Figura 7.20 – Coeficiente de protecção  $\psi_s$  aplicável a paredes e vedações, para valores de  $\varphi$  entre 0,8 e 1,0

#### 7.4.3 Painéis de sinalização

(1) Para painéis de sinalização afastados do solo de uma altura  $z_g$  superior a  $h/4$  (ver a Figura 7.21), o coeficiente de força é determinado pela expressão (7.7):

$$c_f = 1,80 \quad (7.7)$$

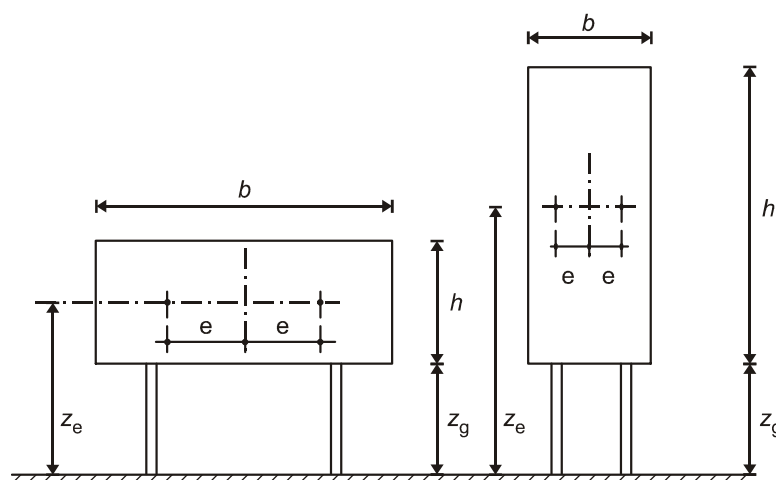
A expressão (7.7) também é aplicável quando  $z_g$  é inferior a  $h/4$  e  $b/h \leq 1$ .

(2) Deverá considerar-se que a força resultante perpendicular ao painel de sinalização actua à altura do centro do painel e com uma excentricidade horizontal  $e$ .

**NOTA:** O valor da excentricidade horizontal,  $e$ , poderá ser fornecido no Anexo Nacional; o valor recomendado é:

$$e = \pm 0,25b \quad (7.8)$$

(3) Os painéis de sinalização afastados do solo de uma altura  $z_g$  inferior a  $h/4$  e com  $b/h > 1$  deverão ser considerados como paredes isoladas; ver 7.4.1.



**NOTA 1:** Altura de referência:  $z_e = z_g + h/2$ .

**NOTA 2:** Área de referência:  $A_{ref} = b \cdot h$ .

Figura 7.21 – Painéis de sinalização

Deverá ser verificada a segurança em relação à divergência ou a instabilidades aerodinâmicas.

## 7.5 Coeficientes de atrito

(1) O atrito deverá ser considerado para os casos definidos em 5.3(3).

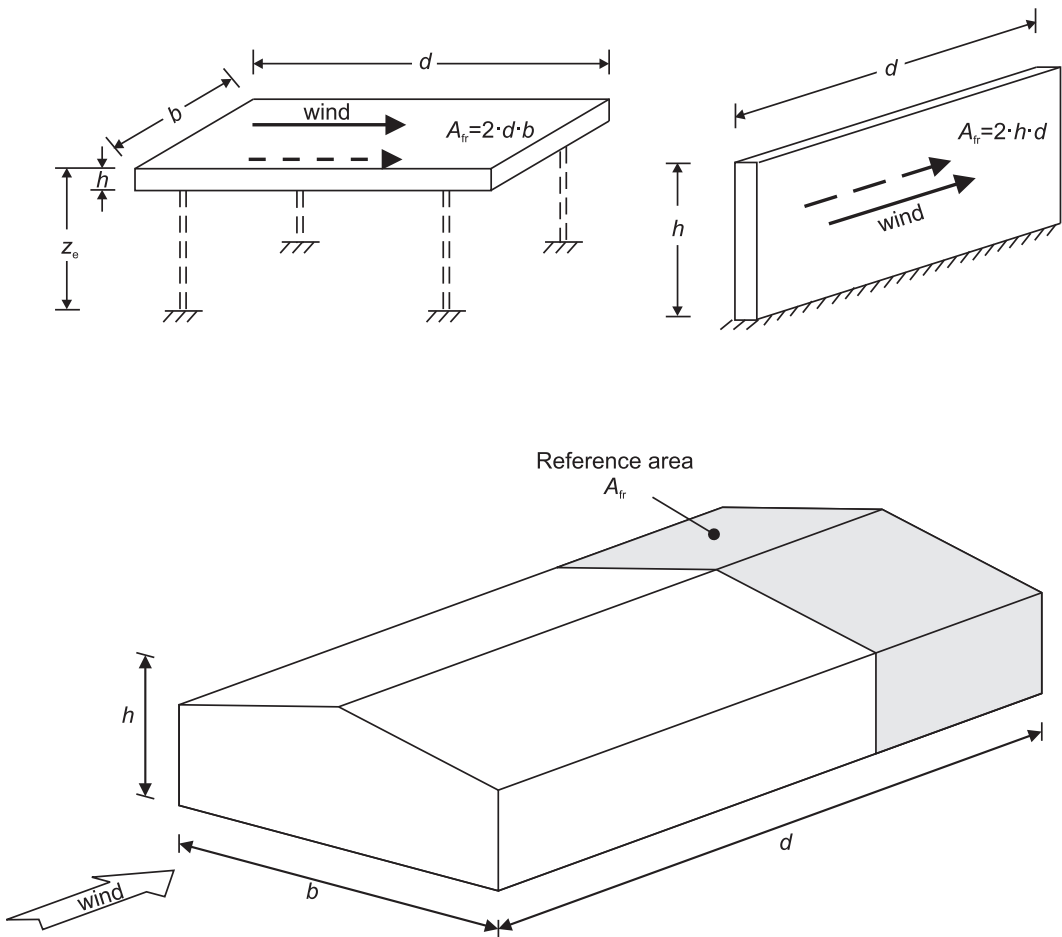
(2) Para paredes e coberturas, deverão ser utilizados os coeficientes de atrito  $c_{fr}$  fornecidos no Quadro 7.10.

(3) A área de referência  $A_{fr}$  é indicada na Figura 7.22. Deverão ser aplicadas forças de atrito na parte das superfícies exteriores paralelas ao vento localizada para além duma certa distância dos bordos ou cantos de barlavento; esta distância é igual ao menor valor de entre  $2 \cdot b$  e  $4 \cdot h$ .

(4) A altura de referência  $z_e$  deverá ser considerada igual à altura da construção acima do solo ou igual à altura do edifício,  $h$ ; ver a Figura 7.22.

Quadro 7.10 – Coeficientes de atrito  $c_{fr}$  para paredes, platibandas e coberturas

Superfície	Coeficiente de atrito $c_{fr}$
Lisa (ex.: aço, betão liso)	0,01
Rugosa (ex.: betão rugoso, placas betumadas)	0,02
Muito rugosa (ex.: superfícies com ondulações, nervuras, dobras)	0,04



**Legenda:**

- wind                      vento
- reference area            área de referência

Figura 7.22 – Área de referência para as forças de atrito

## 7.6 Elementos estruturais de secção rectangular

(1) O coeficiente de força  $c_f$  para elementos estruturais de secção rectangular, com o vento incidindo perpendicularmente a uma face, deverá ser determinado através da expressão (7.9):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (7.9)$$

em que:

$c_{f,0}$  coeficiente de força para elementos de secção rectangular com arestas vivas e sem livre escoamento em torno das extremidades, fornecido na Figura 7.23;

$\psi_r$  coeficiente de redução para secções quadradas com cantos arredondados; o valor de  $\psi_r$  depende do número de Reynolds (ver a Nota 1);

$\psi_\lambda$  coeficiente de efeitos de extremidade para elementos cujas extremidades sejam livremente contornadas pelo vento, conforme é definido em 7.13.

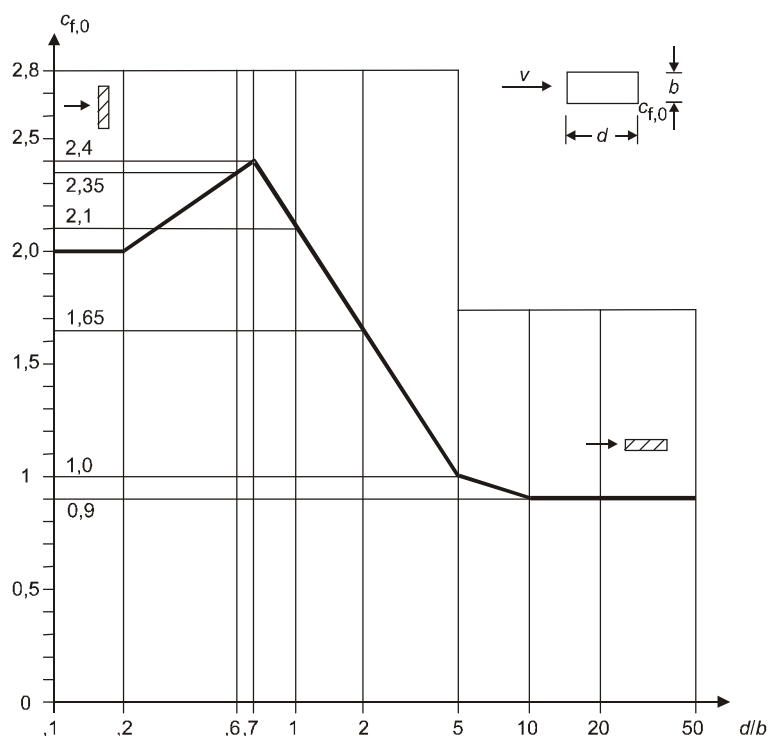


Figura 7.23 – Coeficiente de força  $c_{f,0}$  para secções rectangulares com arestas vivas e sem livre escoamento em torno das extremidades do elemento

**NOTA 1:** Os valores de  $\psi_r$  poderão ser fornecidos no Anexo Nacional. Na Figura 7.24 são fornecidos valores aproximados, recomendados, para os limites superiores de  $\psi_r$ . Estes valores são obtidos em condições de baixa turbulência. Em termos de segurança, admite-se que são valores conservativos.

**NOTA 2:** A Figura 7.24 também poderá ser utilizada para edifícios com  $h/d > 5,0$ .



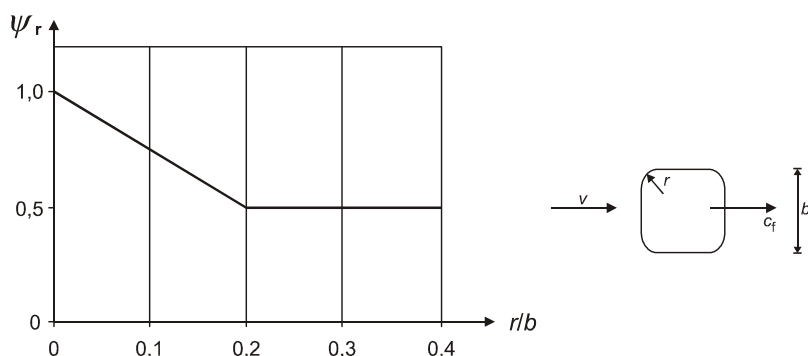


Figura 7.24 – Coeficiente de redução  $\psi_r$  para uma secção transversal quadrada com cantos arredondados

(2) A área de referência  $A_{ref}$  deverá ser determinada através da expressão (7.10):

$$A_{ref} = \ell \cdot b \quad (7.10)$$

em que:

$\ell$  comprimento do elemento estrutural considerado.

A altura de referência  $z_e$  é igual à altura máxima, acima do solo, da secção considerada.

(3) No caso de secções em forma de placa ( $d/b < 0,2$ ), as forças de sustentação, para certos ângulos de ataque do vento, poderão originar valores superiores de  $c_f$ , podendo este aumento atingir 25 %.

### 7.7 Elementos estruturais de secção com arestas vivas

(1) O coeficiente de força  $c_f$  para elementos estruturais de secção com arestas vivas (na Figura 7.25 apresentam-se exemplos de secções deste tipo) deverá ser determinado através da expressão (7.11):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.11)$$

em que:

$\psi_\lambda$  coeficiente de efeitos de extremidade (ver 7.13).

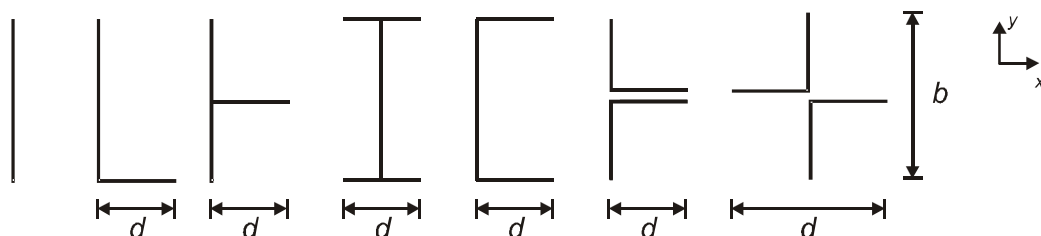


Figura 7.25 – Secções estruturais com arestas vivas

**NOTA 1:** O Anexo Nacional poderá especificar  $c_{f,0}$ . Para todos os elementos sem livre escoamento em torno das extremidades, o valor recomendado é 2,0. Este valor baseia-se em medições efectuadas em condições de baixa turbulência. Em termos de segurança, admite-se que é um valor conservativo.

**NOTA 2:** A expressão (7.11) e a Figura 7.25 também poderão ser utilizadas para edifícios com  $h/d > 5,0$ .

(2) As áreas de referência (ver a Figura 7.25) deverão ser consideradas da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{na direcção x: } A_{\text{ref,x}} &= \ell \cdot b \\ \text{na direcção y: } A_{\text{ref,y}} &= \ell \cdot d \end{aligned} \quad (7.12)$$

em que:

$\ell$  comprimento do elemento estrutural considerado.

(3) Em todos os casos, a altura de referência  $z_e$  deverá ser considerada igual à altura máxima, acima do solo, da secção considerada.

### 7.8 Elementos estruturais de secção poligonal regular

(1) O coeficiente de força  $c_f$  para elementos estruturais de secção poligonal regular com cinco ou mais lados deverá ser determinado através da expressão (7.13):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.13)$$

em que:

$\psi_\lambda$  coeficiente de efeitos de extremidade, definido em 7.13;

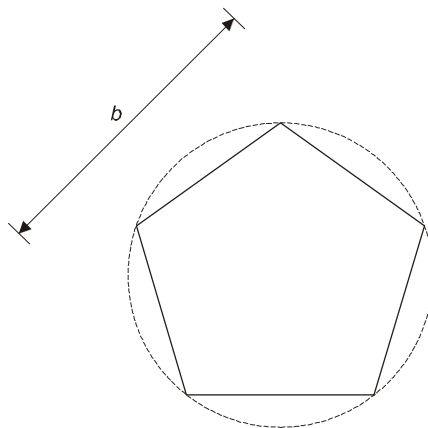
$c_{f,0}$  coeficiente de força para elementos estruturais sem livre escoamento em torno das extremidades.

**NOTA:** Os valores de  $c_{f,0}$  poderão ser fornecidos no Anexo Nacional. No Quadro 7.11 são fornecidos valores recomendados, conservativos, os quais são baseados em medições efectuadas em condições de baixa turbulência.

Quadro 7.11 – Coeficiente de força  $c_{f,0}$  para secções poligonais regulares

Número de lados	Secções	Condições da superfície e dos cantos	Número de Reynolds $Re^a$	$c_{f,0}$
5	Pentágono	Todas	Todos	1,80
6	Hexágono	Todas	Todos	1,60
8	Octógono	Superfície lisa $r/b < 0,075^b$	$Re \leq 2,4 \cdot 10^5$	1,45
			$Re \geq 3 \cdot 10^5$	1,30
		Superfície lisa $r/b \geq 0,075^b$	$Re \leq 2 \cdot 10^5$	1,30
			$Re \geq 7 \cdot 10^5$	1,10
10	Decágono	Todas	Todos	1,30
12	Dodecágono	Superfície lisa <sup>c)</sup> cantos arredondados	$2 \cdot 10^5 < Re < 1,2 \cdot 10^6$	0,90
		Todas as outras condições	$Re < 4 \cdot 10^5$	1,30
			$Re > 4 \cdot 10^5$	1,10
16-18	Hexadecágono -Octodecágono	Superfície lisa <sup>c)</sup> cantos arredondados	$Re < 2 \cdot 10^5$	Considerar como um cilindro de base circular; ver (7.9)
			$2 \cdot 10^5 \leq Re < 1,2 \cdot 10^6$	0,70

<sup>a)</sup> Número de Reynolds  $Re$ , definido em 7.9, calculado com  $v = v_m$ , sendo  $v_m$  indicado em 4.3.  
<sup>b)</sup>  $r$  = raio de curvatura do canto;  $b$  = diâmetro da circunferência circunscrita (ver a Figura 7.26).  
<sup>c)</sup> Valores baseados em ensaios em túnel de vento de modelos seccionais com uma superfície de aço galvanizado e uma secção com  $b = 0,3$  m e um raio de curvatura dos cantos igual a  $0,06 \cdot b$ .



*Figura 7.26 – Secção poligonal regular*

(2) No caso de edifícios em que  $h/d > 5$ , o coeficiente  $c_f$  poderá ser determinado através da expressão (7.13).

**NOTA:** Ver também o Quadro 7.11 e a Figura 7.26.

(3) A área de referência  $A_{ref}$  deverá ser obtida através da expressão (7.14):

$$A_{ref} = \ell \cdot b \quad (7.14)$$

em que:

$\ell$  comprimento do elemento estrutural considerado;

$b$  diâmetro da circunferência circunscrita (ver a Figura 7.26).

(4) A altura de referência  $z_e$  é igual à altura máxima, acima do solo, da secção considerada.

## **7.9 Cilindros de base circular**

### **7.9.1 Coeficientes de pressão exterior**

(1) Os coeficientes de pressão das secções dependem do número de Reynolds,  $Re$ , definido pela expressão (7.15):

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} \quad (7.15)$$

em que:

$b$  diâmetro;

$\nu$  viscosidade cinemática do ar ( $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ );

$v(z_e)$  velocidade de pico do vento definida na Nota 2 da Figura 7.27, à altura  $z_e$ .

(2) Os coeficientes de pressão exterior  $c_{pe}$  para cilindros de base circular deverão ser obtidos através da expressão (7.16):

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} \quad (7.16)$$

em que:

$c_{p,0}$  coeficiente de pressão exterior sem livre escoamento em torno das extremidades (ver (3));

$\psi_{\lambda\alpha}$  coeficiente de efeitos de extremidade (ver (4)).

(3) O coeficiente de pressão exterior  $c_{p,0}$  é fornecido na Figura 7.27 para diferentes valores do número de Reynolds em função do ângulo  $\alpha$ .

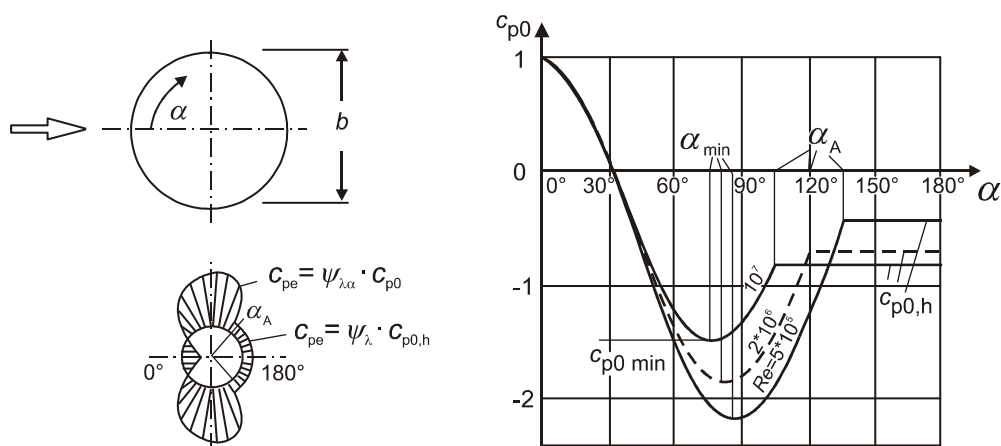
(4) O coeficiente de efeitos de extremidade  $\psi_{\lambda\alpha}$  é determinado pela expressão (7.17):

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda\alpha} &= 1 & \text{para } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min} \\ \psi_{\lambda\alpha} &= \psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) & \text{para } \alpha_{\min} < \alpha < \alpha_A \\ \psi_{\lambda\alpha} &= \psi_\lambda & \text{para } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ \end{aligned} \quad (7.17)$$

em que:

$\alpha_A$  posição do ponto de separação do escoamento (ver a Figura 7.27);

$\psi_\lambda$  coeficiente de efeitos de extremidade (ver 7.13).



**NOTA 1:** Valores intermédios poderão ser obtidos por interpolação linear.

**NOTA 2:** No Quadro 7.12 são fornecidos valores típicos das grandezas indicadas na Figura acima. Esta Figura e o referido Quadro baseiam-se no número de Reynolds calculado com  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ , sendo  $q_p$  indicado em 4.5.

**NOTA 3:** A Figura acima baseia-se numa rugosidade equivalente  $k/b$  inferior a  $5 \cdot 10^{-4}$ . No Quadro 7.13 são fornecidos valores típicos da dimensão de rugosidade  $k$ .

Figura 7.27 – Distribuição de pressões em cilindros de base circular, para diferentes valores do número de Reynolds e sem efeitos de extremidade

Quadro 7.12 – Valores típicos relativos à distribuição de pressões em cilindros de base circular, para diferentes valores do número de Reynolds e sem efeitos de extremidade

$Re$	$\alpha_{\min}$	$c_{p0,\min}$	$\alpha_A$	$c_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2,2	135	-0,4
$2 \cdot 10^6$	80	-1,9	120	-0,7
$10^7$	75	-1,5	105	-0,8
em que: $\alpha_{\min}$ posição do ponto de pressão mínima, em [°]; $c_{p0,\min}$ valor do coeficiente de pressão mínima; $\alpha_A$ posição do ponto de separação do escoamento, em [°]; $c_{p0,h}$ coeficiente de pressão de base.				

(5) A área de referência  $A_{\text{ref}}$  deverá ser determinada através da expressão (7.18):

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (7.18)$$

(6) A altura de referência  $z_e$  é igual à altura máxima, acima do solo, da secção considerada.

### 7.9.2 Coeficientes de força

(1) O coeficiente de força  $c_f$  para um cilindro de base circular de comprimento finito deverá ser obtido através da expressão (7.19):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.19)$$

em que:

$c_{f,0}$  coeficiente de força para cilindros sem livre escoamento em torno das extremidades (ver a Figura 7.28);

$\psi_\lambda$  coeficiente de efeitos de extremidade (ver 7.13).

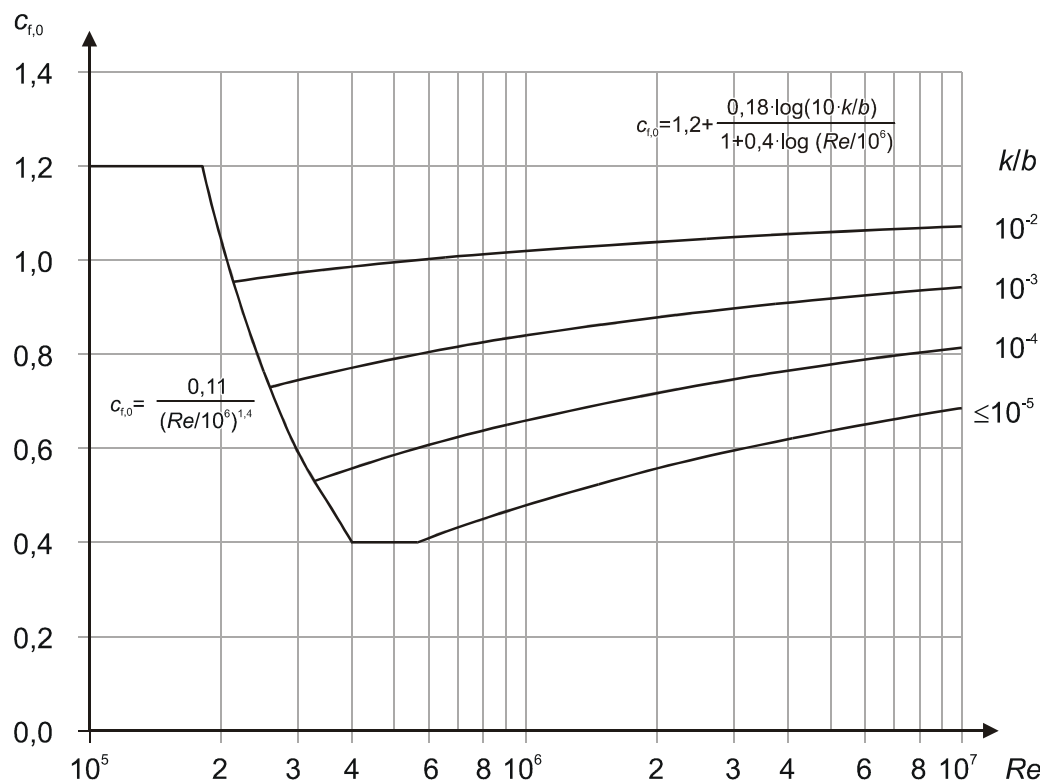


Figura 7.28 – Coeficiente de força  $c_{f,0}$  para cilindros de base circular sem livre escoamento em torno das extremidades e para diferentes valores da rugosidade equivalente  $k/b$

**NOTA 1:** A Figura 7.28 também poderá ser utilizada para edifícios com  $h/d > 5,0$ .

**NOTA 2:** A Figura 7.28 baseia-se no número de Reynolds calculado com  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ , sendo  $q_p$  indicado em 4.5.

(2) No Quadro 7.13 são fornecidos valores da rugosidade superficial equivalente  $k$ .

(3) Para cabos de cordões,  $c_{f,0}$  é igual a 1,2 para todos os valores do número de Reynolds  $Re$ .

Quadro 7.13 – Rugosidade superficial equivalente  $k$

Tipo de superfície	Rugosidade equivalente $k$ [mm]	Tipo de superfície	Rugosidade equivalente $k$ [mm]
Vidro	0,0015	Betão liso	0,2
Metal polido	0,002	Madeira aplainada	0,5
Revestimento por pintura liso	0,006	Betão rugoso	1,0
Pintura aplicada à pistola	0,02	Madeira serrada, rugosa	2,0
Aço - superfície lisa	0,05	Superfície com ferrugem	2,0
Ferro fundido	0,2	Alvenaria de tijolo	3,0
Aço galvanizado	0,2		

(4) A área de referência  $A_{\text{ref}}$  deverá ser obtida através da expressão (7.20):

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (7.20)$$

em que:

$\ell$  comprimento do elemento estrutural considerado.

(5) A altura de referência  $z_e$  é igual à altura máxima, acima do solo, da secção considerada.

(6) Para cilindros próximos de uma superfície plana, com um coeficiente de afastamento  $z_g/b < 1,5$  (ver a Figura 7.29), é necessário um parecer especializado.

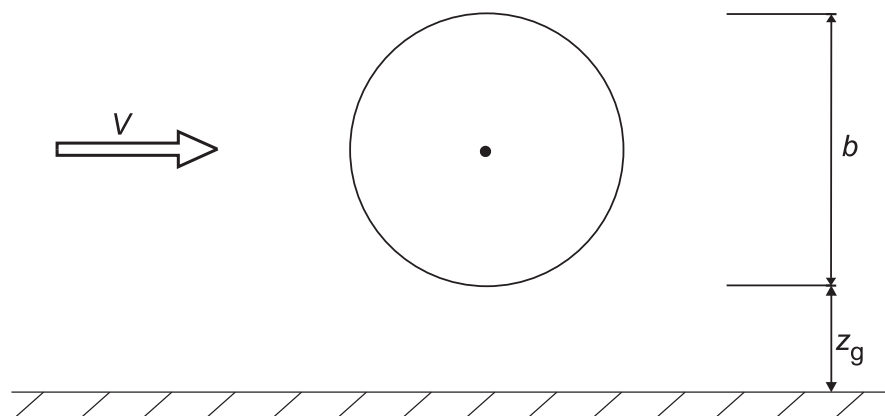


Figura 7.29 – Cilindro próximo de uma superfície plana

### 7.9.3 Coeficientes de força para cilindros verticais dispostos em linha

No caso de cilindros verticais de base circular dispostos em linha, o coeficiente de força  $c_{f,0}$  depende da relação entre a direcção do vento e o eixo do alinhamento assim como da relação entre o afastamento  $a$  e o diâmetro  $b$ , conforme é definido no Quadro 7.14. O coeficiente de força  $c_f$  para cada cilindro poderá ser obtido através da expressão (7.21):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \cdot \kappa \quad (7.21)$$

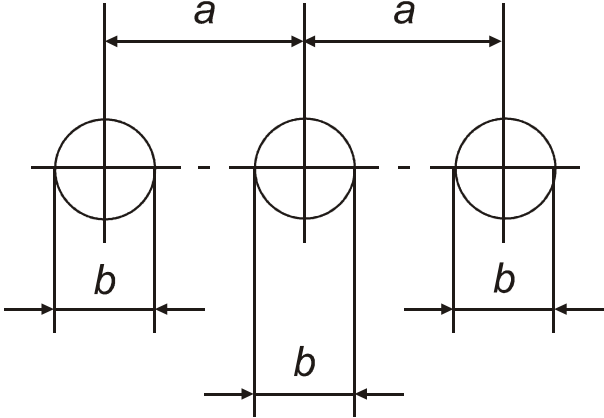
em que:

$c_{f,0}$  coeficiente de força para cilindros sem livre escoamento em torno das extremidades (ver 7.9.2);

$\psi_\lambda$  coeficiente de efeitos de extremidade (ver 7.13);

$\kappa$  coeficiente fornecido no Quadro 7.14 (para a direcção mais desfavorável do vento).

Quadro 7.14 – Coeficiente  $\kappa$  para cilindros verticais dispostos em linha

$a/b$	$\kappa$	
$a/b < 3,5$	1,15	
$3,5 < a/b < 30$	$\kappa = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$	
$a/b > 30$	1,00	
$a$ : distância $b$ : diâmetro		

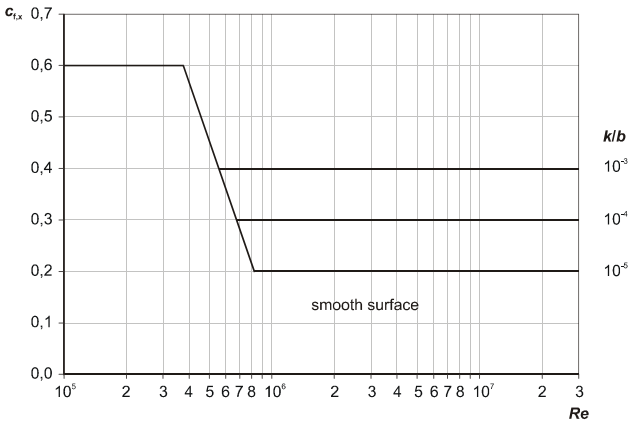
7.10 Esferas

(1) O coeficiente de força na direcção do vento,  $c_{f,x}$ , de esferas deverá ser determinado em função do número de Reynolds  $Re$  (ver 7.9.1) e da rugosidade equivalente  $k/b$  (ver o Quadro 7.13).

**NOTA 1:** Os valores de  $c_{f,x}$  poderão ser fornecidos no Anexo Nacional. Na Figura 7.30 são fornecidos valores recomendados, baseados em medições efectuadas em condições de baixa turbulência. A Figura 7.30 baseia-se no número de Reynolds calculado

com  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ , sendo  $q_p$  indicado em 4.5.

**NOTA 2:** Os valores fornecidos na Figura 7.30 são limitados a valores  $z_g > b/2$ , em que  $z_g$  é a distância entre a esfera e uma superfície plana e  $b$  é o diâmetro (ver a Figura 7.31). Para  $z_g < b/2$ , o coeficiente de força  $c_{f,x}$  deve ser multiplicado pelo factor 1,6.



**Legenda:**  
*smooth surface*      superfície lisa

Figura 7.30 – Coeficiente de força na direcção do vento para uma esfera



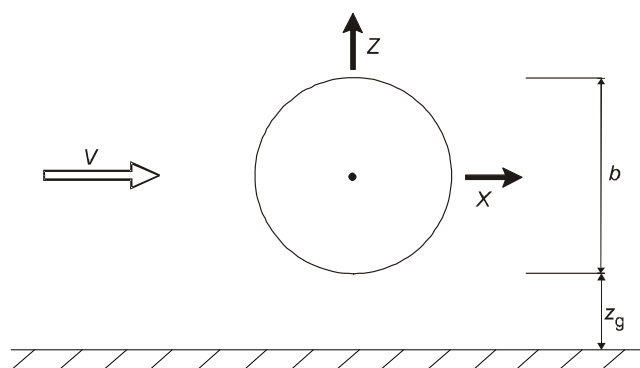


Figura 7.31 – Esfera na proximidade de uma superfície plana

(2) O coeficiente de força vertical  $c_{f,z}$  de esferas é determinado pela expressão (7.22):

$$\begin{aligned} c_{f,z} &= 0 & \text{para} & \quad z_g > \frac{b}{2} \\ c_{f,z} &= +0,60 & \text{para} & \quad z_g < \frac{b}{2} \end{aligned} \quad (7.22)$$

(3) Em ambos os casos, a área de referência  $A_{\text{ref}}$  deverá ser obtida através da expressão (7.23):

$$A_{\text{ref}} = \pi \cdot \frac{b^2}{4} \quad (7.23)$$

(4) A altura de referência deverá ser considerada como:

$$z_e = z_g + \frac{b}{2} \quad (7.24)$$

## 7.11 Estruturas treliçadas

(1) O coeficiente de força  $c_f$  para estruturas treliçadas de cordas paralelas deverá ser obtido através da expressão (7.25):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.25)$$

em que:

$c_{f,0}$  coeficiente de força para estruturas treliçadas sem efeitos de extremidade, fornecido pelas Figuras 7.33 a 7.35 em função do índice de cheios  $\phi$  (7.11(2)) e do número de Reynolds  $Re$ ;

$Re$  número de Reynolds calculado utilizando o diâmetro médio dos elementos,  $b_i$  (ver a Nota 1);

$\psi_\lambda$  coeficiente de efeitos de extremidade (ver 7.13), o qual é função da esbelteza da estrutura,  $\lambda$ , calculada com  $\ell$  e  $b = d$  (ver a Figura 7.32).

**NOTA 1:** A Figura 7.35 baseia-se no número de Reynolds calculado com  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ , sendo  $q_p$  indicado em 4.5.

**NOTA 2:** O Anexo Nacional poderá fornecer um coeficiente de redução para o caso de andaimes que não disponham de dispositivos de estanquidade à circulação do ar e que sejam afectados pela obstrução conferida por um edifício; um valor recomendado é fornecido na EN 12811.

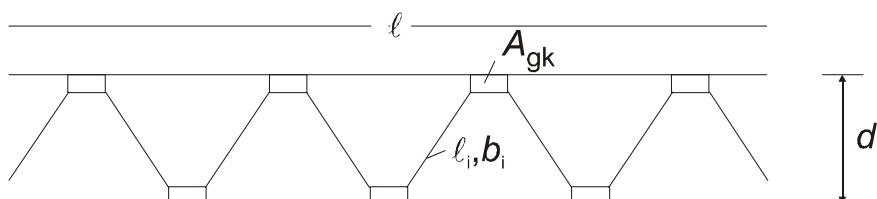


Figura 7.32 – Estrutura treliçada

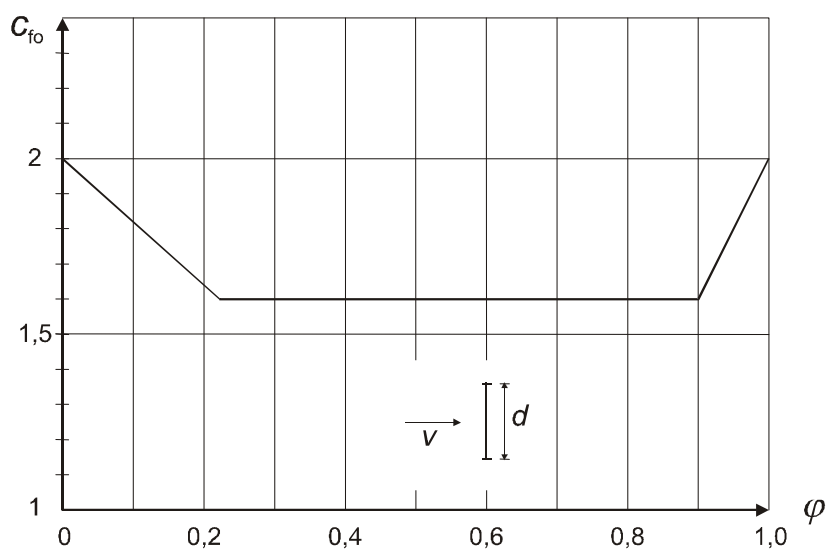


Figura 7.33 – Coeficiente de força  $c_{f,0}$  para uma estrutura treliçada plana constituída por perfis de secção angular, em função do índice de cheios  $\varphi$

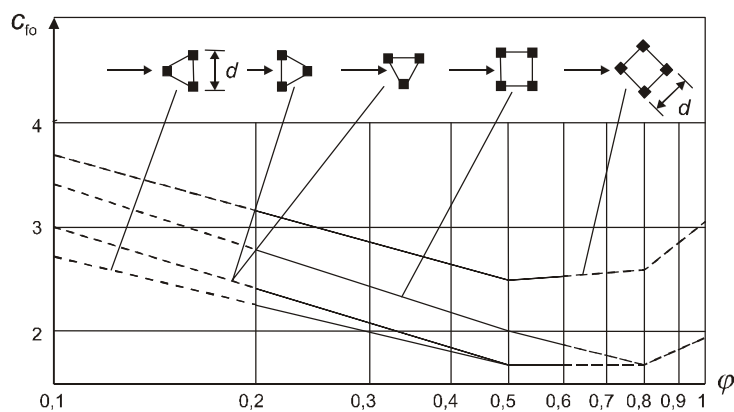


Figura 7.34 – Coeficiente de força  $c_{f,0}$  para uma estrutura treliçada espacial constituída por perfis de secção angular, em função do índice de cheios  $\varphi$

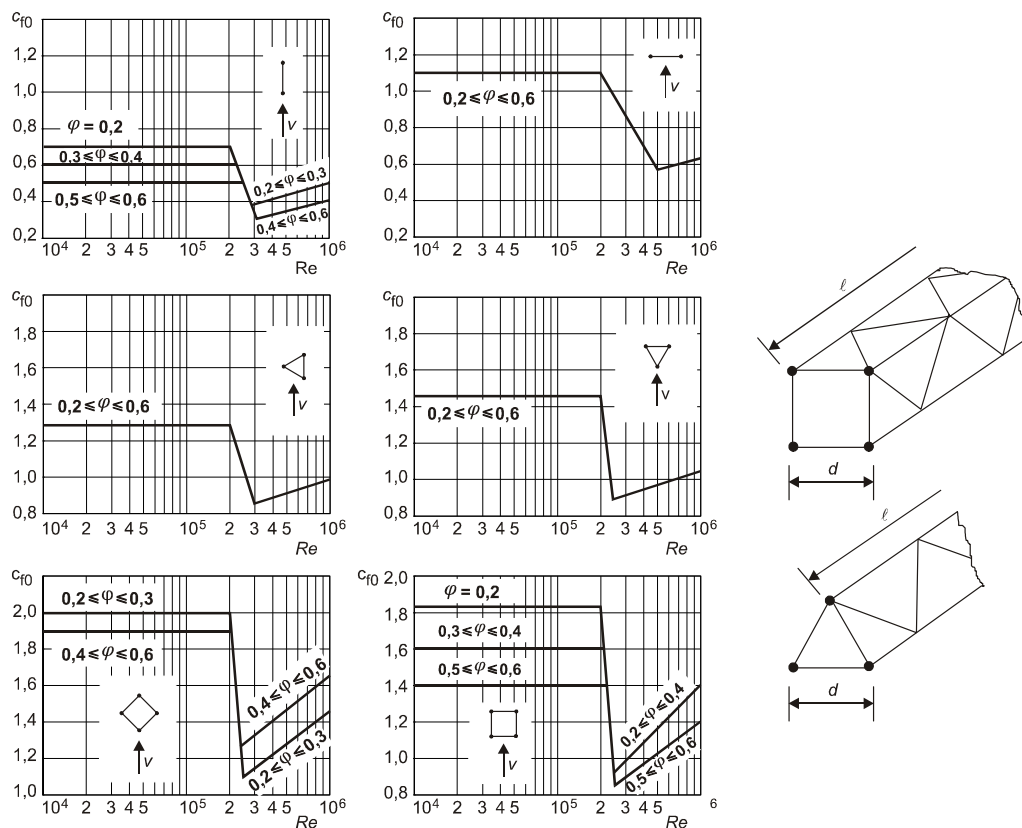


Figura 7.35 – Coeficiente de força  $c_{f,0}$  para estruturas treliçadas planas e espaciais constituídas por elementos de secção transversal circular

(2) O índice de cheios  $\varphi$  é definido pela expressão (7.26):

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (7.26)$$

em que:

- $A$  soma das áreas das projecções no plano da face, perpendicularmente a esse plano, de todos os elementos e chapas de *gousset* da face:  $A = \sum_i b_i \cdot \ell_i + \sum_k A_{gk}$
- $A_c$  área limitada pelo contorno da face em projecção normal à mesma  $= d \ell$ ;
- $\ell$  comprimento da treliça;
- $d$  largura da treliça;
- $b_i, \ell_i$  largura e comprimento do elemento  $i$  (ver a Figura 7.32), projectado perpendicularmente à face;
- $A_{gk}$  área da chapa de *gousset*  $k$ .

(3) A área de referência  $A_{ref}$  deverá ser determinada através da expressão (7.27):

$$A_{ref} = A \quad (7.27)$$

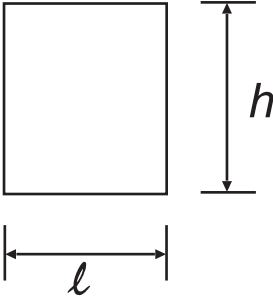
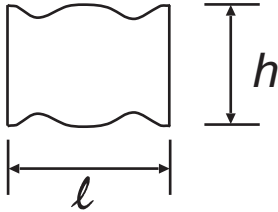
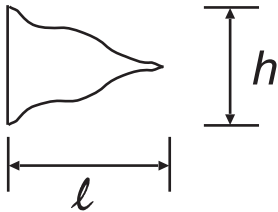
(4) A altura de referência  $z_e$  é igual à altura máxima do elemento acima do solo.

#### **7.12 Bandeiras**

(1) Os coeficientes de força  $c_f$  e as áreas de referência  $A_{ref}$  para bandeiras são fornecidos no Quadro 7.15.

(2) A altura de referência  $z_e$  é igual à altura da bandeira acima do solo.

Quadro 7.15 – Coeficientes de força  $c_f$  para bandeiras

Bandeiras	$A_{\text{ref}}$	$C_f$
<p>Bandeiras fixas</p>  <p>Força perpendicular ao plano</p>	$h \cdot \ell$	1,8
<p>Bandeiras livres</p> <p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>Força contida no plano</p>	<p><math>h \cdot \ell</math></p> <p><math>0,5 \cdot h \cdot \ell</math></p>	$0,02 + 0,7 \cdot \frac{m_f}{\rho \cdot h} \cdot \left( \frac{A_{\text{ref}}}{h^2} \right)^{-1,25}$

em que:

- $m_f$  massa por unidade de área da bandeira;
- $\rho$  massa volúmica do ar (ver 4.5(1), Nota 2);
- $z_e$  altura da bandeira acima do solo.

**NOTA:** A expressão para as bandeiras livres inclui as forças dinâmicas devidas ao drapejamento das bandeiras.

### 7.13 Esbelteza efectiva $\lambda$ e coeficiente de efeitos de extremidade $\psi_\lambda$

(1) Quando for aplicável, o coeficiente de efeitos de extremidade  $\psi_\lambda$  deverá ser determinado em função da esbelteza  $\lambda$ .

**NOTA:** Os coeficientes de força  $c_{f,0}$  fornecidos em 7.6 a 7.12 baseiam-se em medições efectuadas em construções afastadas do solo e sem livre escoamento em torno das extremidades. O coeficiente de efeitos de extremidade tem em conta a redução da força exercida pelo vento caso o escoamento possa contornar as extremidades da construção de uma forma menos restringida. A Figura 7.36 e o Quadro 7.16 baseiam-se em medições efectuadas em condições de baixa turbulência. No Anexo Nacional poderão ser fornecidos valores que tenham em conta o efeito da turbulência.

(2) A esbelteza efectiva  $\lambda$  deverá ser definida em função das dimensões da construção e da sua posição.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer valores para  $\lambda$  e para  $\psi_s$ . Os valores recomendados para  $\lambda$  são fornecidos no Quadro 7.16, e na Figura 7.36 são fornecidos valores indicativos para  $\psi_s$  em correspondência com diversos valores do índice de cheios  $\phi$ .

Quadro 7.16 – Valores de  $\lambda$  recomendados para cilindros, elementos com secção poligonal (incluindo a rectangular), perfis com arestas vivas e estruturas treliçadas

N.º	Posição da estrutura, vento perpendicular ao plano da figura	Esbelteza efectiva $\lambda$
1		<p>Para elementos com secção poligonal, perfis com arestas vivas e estruturas treliçadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- para <math>\ell \geq 50</math> m, o menor dos valores <math>\lambda = 1,4 \ell / b</math> ou <math>\lambda = 70</math>;</li> <li>- para <math>\ell &lt; 15</math> m, o menor dos valores <math>\lambda = 2 \ell / b</math> ou <math>\lambda = 70</math>.</li> </ul>
2		<p>Para cilindros de base circular:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- para <math>\ell \geq 50</math> m, o menor dos valores <math>\lambda = 0,7 \ell / b</math> ou <math>\lambda = 70</math>;</li> <li>- para <math>\ell &lt; 15</math> m, o menor dos valores <math>\lambda = \ell / b</math> ou <math>\lambda = 70</math>.</li> </ul>
3		<p>Para valores intermédios de <math>\ell</math>, deverá ser efectuada uma interpolação linear.</p>
4		<p>Para <math>\ell \geq 50</math> m, o maior dos valores <math>\lambda = 0,7 \ell / b</math> ou <math>\lambda = 70</math>;</p> <p>para <math>\ell &lt; 15</math> m, o maior dos valores <math>\lambda = \ell / b</math> ou <math>\lambda = 70</math>.</p> <p>Para valores intermédios de <math>\ell</math>, deverá ser efectuada uma interpolação linear.</p>

Legenda:

for  $b \leq \ell$       para  $b > \ell$

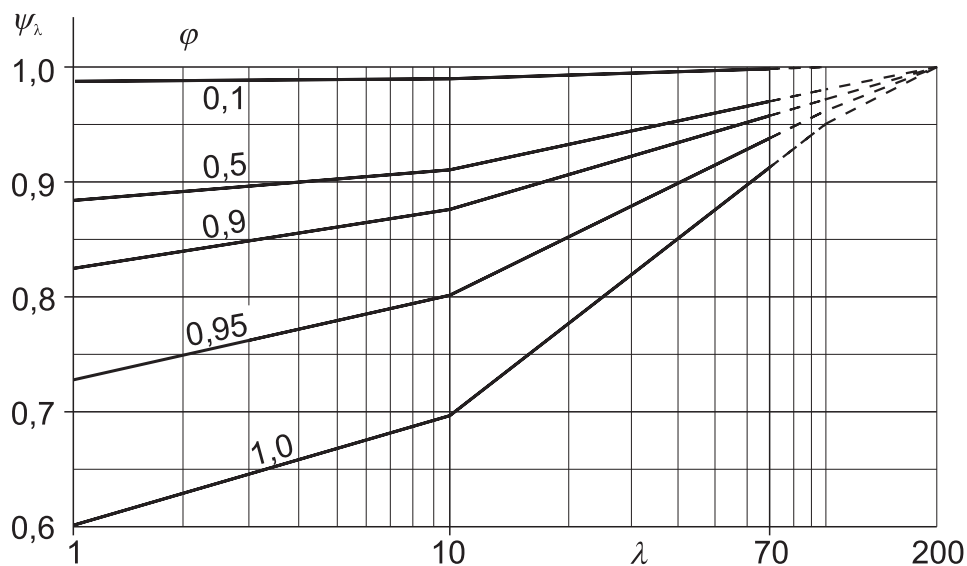


Figura 7.36 – Valores indicativos do coeficiente de efeitos de extremidade  $\psi_\lambda$  em função do índice de cheios  $\varphi$  e da esbelteza  $\lambda$

(3) O índice de cheios  $\varphi$  (ver a Figura 7.37) é fornecido pela expressão (7.28):

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (7.28)$$

em que:

$A$  soma das áreas projectadas dos elementos;

$A_c$  área limitada pelo contorno exterior,  $A_c = \ell \cdot b$ .

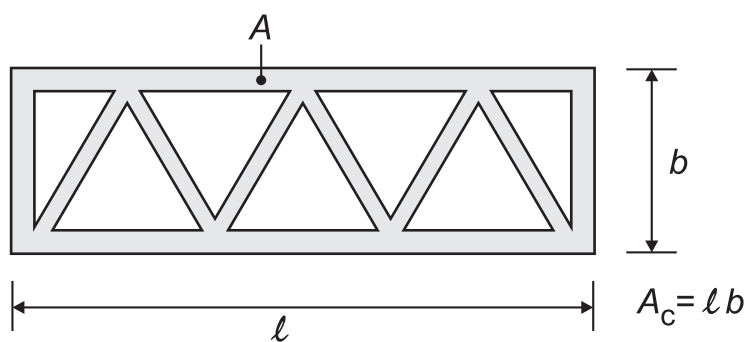


Figura 7.37 – Definição do índice de cheios  $\varphi$

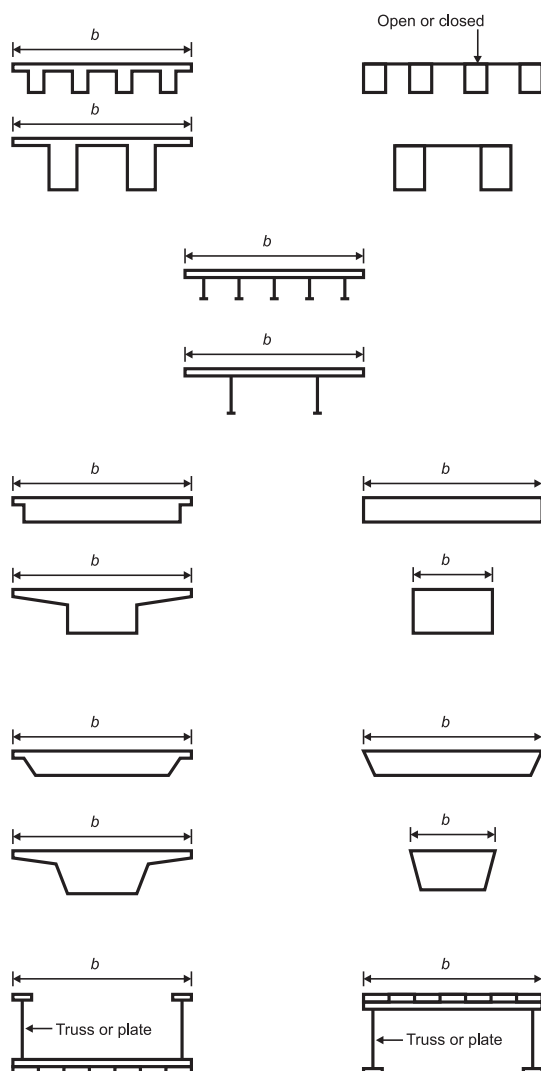
## 8 Acções do vento em pontes

### 8.1 Generalidades

(1) A presente secção aplica-se apenas a pontes de tabuleiro único, com um ou mais tramos, de altura constante e com secções transversais conforme as representadas na Figura 8.1.

**NOTA 1:** As acções do vento para outros tipos de pontes (por exemplo, pontes em arco, pontes suspensas ou de tirantes, pontes com tabuleiro coberto, pontes móveis e pontes de tabuleiros múltiplos ou com curvatura acentuada) poderão ser definidas no Anexo Nacional.

**NOTA 2:** O ângulo entre a direcção do vento e o eixo do tabuleiro, nos planos vertical e horizontal, poderá ser definido no Anexo Nacional.



#### Legenda:

Open or closed

Aberto ou fechado

Truss or plate

Treliça ou viga de alma cheia

Figura 8.1 – Secções transversais de tabuleiros de construção corrente



(2) As forças exercidas pelo vento sobre os tabuleiros são tratadas em 8.2 e 8.3; as exercidas sobre os pilares são tratadas em 8.4. As forças exercidas sobre as diversas partes de uma ponte, devidas a vento soprando numa mesma direcção, deverão ser consideradas como simultâneas se os seus efeitos forem desfavoráveis.

(3) As acções do vento em pontes produzem forças nas direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$  conforme é representado na Figura 8.2, em que:

direcção  $x$       direcção paralela à largura do tabuleiro, perpendicular ao tramo;

direcção  $y$       direcção ao longo do tramo;

direcção  $z$       direcção perpendicular ao tabuleiro.

As forças produzidas nas direcções  $x$  e  $y$  devem-se a vento soprando em direcções diferentes e, normalmente, não são consideradas em simultâneo. As forças produzidas na direcção  $z$  podem resultar de vento soprando numa larga gama de direcções; no caso de estas forças serem desfavoráveis e significativas, deverão ser consideradas simultaneamente com as forças produzidas em qualquer outra direcção.

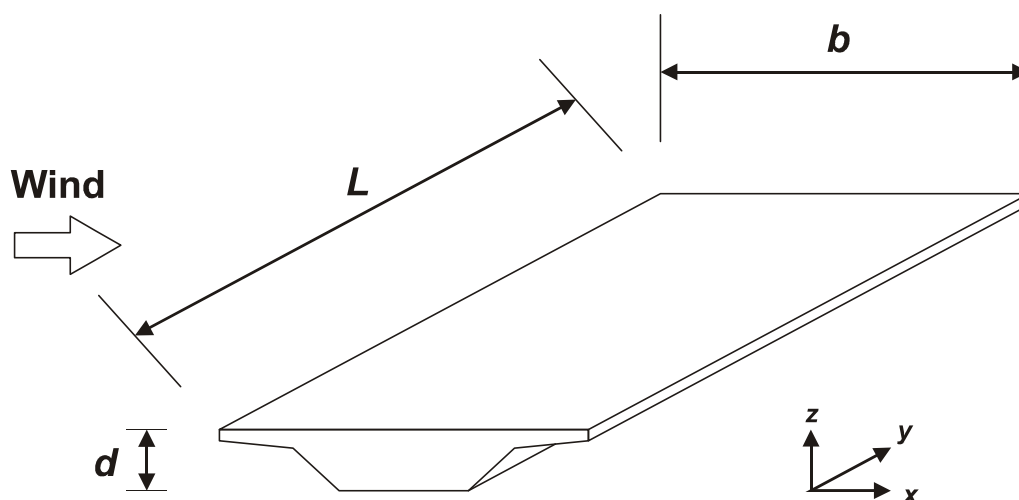
**NOTA:** As notações utilizadas para as pontes são diferentes das definidas em 1.7. Para as pontes utilizam-se as seguintes notações (ver a Figura 8.2):

$L$       comprimento, na direcção  $y$ ;

$b$       largura, na direcção  $x$ ;

$d$       altura, na direcção  $z$ .

Para alguns casos, em que tal se entende relevante, os valores a atribuir a  $L$ ,  $b$  e  $d$  são definidos com maior precisão em secções diversas. Nos casos em que é feita referência às secções 5 a 7, é necessário readaptar as notações para  $b$  e  $d$ .



**Legenda:**

wind      vento

Figura 8.2 – Direcções das acções do vento em pontes

(4) Nos casos em que o tráfego rodoviário é considerado em simultâneo com o vento (ver A2.2.1 e A2.2.2 no Anexo A2 da EN 1990), o valor de combinação  $\psi_0 F_{wk}$  da acção do vento na ponte e nos veículos deverá ser limitado a um valor  $F_w^*$ , o qual é determinado substituindo o valor básico da velocidade de referência do vento,  $v_{b,0}$ , por um valor  $v_{b,0}^*$ .

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer um valor para  $v_{b,0}^*$ ; o valor recomendado é 23 m/s.

(5) Nos casos em que o tráfego ferroviário é considerado em simultâneo com o vento (ver A2.2.1 e A2.2.4 no Anexo A2 da EN 1990), o valor de combinação  $\psi_0 F_{wk}$  da acção do vento na ponte e nos comboios deverá ser limitado a um valor  $F_{W}^{**}$ , o qual é determinado substituindo o valor básico da velocidade de referência do vento,  $v_{b,0}$ , por um valor  $v_{b,0}^{**}$ .

**NOTA:** O valor de  $v_{b,0}^{**}$  poderá ser definido no Anexo Nacional. O valor recomendado para  $v_{b,0}^{**}$  é 25 m/s.

## 8.2 Escolha do procedimento de cálculo da resposta (à acção do vento)

(1) No caso das pontes, deverá avaliar-se se é necessário um procedimento de cálculo de resposta dinâmica.

**NOTA 1:** O Anexo Nacional poderá indicar critérios e procedimentos.

**NOTA 2:** Se não for necessário utilizar um procedimento de cálculo de resposta dinâmica,  $c_s c_d$  poderá ser considerado igual a 1,0.

**NOTA 3:** No caso de tabuleiros de pontes rodoviárias e ferroviárias normais com vão inferior a 40 m, não é necessário, em geral, utilizar um procedimento de cálculo de resposta dinâmica. Para os fins desta categorização, poderá considerar-se que as pontes normais incluem as pontes de aço, de betão, de alumínio ou de madeira, assim como as construções mistas, cuja forma das secções transversais do tabuleiro seja abrangida, de um modo geral, pela Figura 8.1.

## 8.3 Coeficientes de força

(1) Deverão ser determinados os coeficientes de força aplicáveis aos guarda-corpos, aos pórticos de sinalização e às plataformas de inspecção das pontes, conforme a situação em causa.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer coeficientes de força aplicáveis aos guarda-corpos, aos pórticos de sinalização e às plataformas de inspecção das pontes. Para o efeito, recomenda-se a utilização de 7.4.

### 8.3.1 Coeficientes de força na direcção $x$ (método geral)

(1) Os coeficientes de força para as acções do vento, na direcção  $x$ , em tabuleiros de pontes são determinados por:

$$c_{f,x} = c_{fx,0} \quad (8.1)$$

em que:

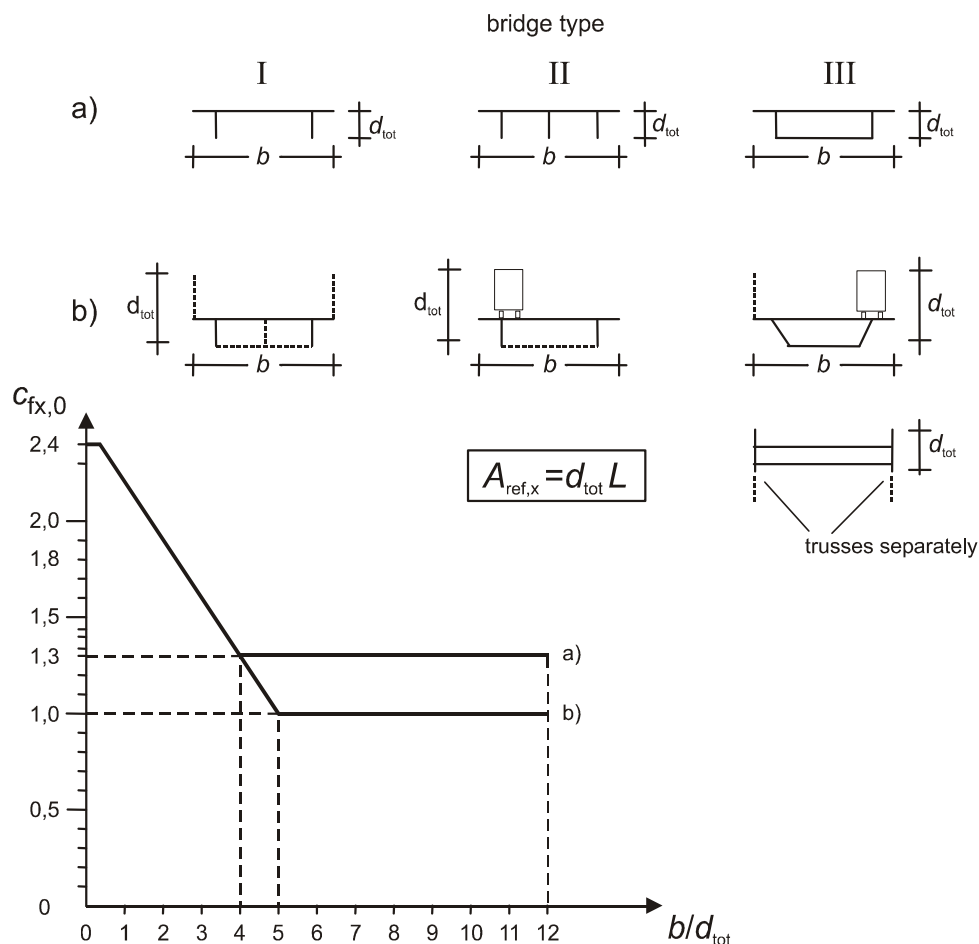
$c_{fx,0}$  coeficiente de força para a situação sem livre escoamento em torno das extremidades (ver 7.13).

**NOTA 1:** No tabuleiro duma ponte verifica-se, geralmente, que o escoamento de contorno nas extremidades não é livre, dado que o escoamento é desviado apenas ao longo de dois lados (sobre e sob o tabuleiro).

**NOTA 2:** Para pontes normais,  $c_{fx,0}$  poderá ser considerado igual a 1,3. Em alternativa,  $c_{fx,0}$  poderá ser obtido da Figura 8.3, na qual se apresentam alguns casos típicos para a determinação de  $A_{ref,x}$  e de  $d_{tot}$  (tal como definidos em 8.3.1(4)).

**NOTA 3:** Nos casos em que o ângulo de inclinação do vento excede  $10^\circ$ , o coeficiente de arrastamento poderá ser determinado por meio de estudos especiais. Tal ângulo de inclinação poderá ser devido à inclinação do terreno a barlavento.

**NOTA 4:** Nos casos em que dois tabuleiros, de forma em geral semelhante, se situam ao mesmo nível e se encontram separados, na direcção transversal, por uma distância que não é significativamente superior a 1 m, a força exercida pelo vento na estrutura de barlavento poderá ser calculada como se esta fosse uma estrutura única; nos outros casos, poderá ser necessário prestar uma atenção especial à interacção vento-estrutura.



Legenda:

bridge type

trusses separately

a) construction phase, open parapets (more than 50 % open) and open safety barriers

b) solid parapets, noise barrier, solid safety barriers or traffic

tipo de ponte

treliças a considerar separadamente

a) fase de construção, guarda-corpos vazados (com mais de 50 % de aberturas) e guardas de segurança vazadas

b) com guarda-corpos ou guardas de segurança não vazados e barreira anti-ruído ou tráfego

Figura 8.3 – Coeficiente de força  $c_{fx,0}$  para tabuleiros de pontes

(2) Nos casos em que a face exposta ao vento é inclinada em relação à vertical (ver a Figura 8.4), o coeficiente de arrastamento  $c_{fx,0}$  poderá ser reduzido de 0,5 % por grau de inclinação em relação à vertical,  $\alpha_1$ , com uma redução máxima de 30 %.

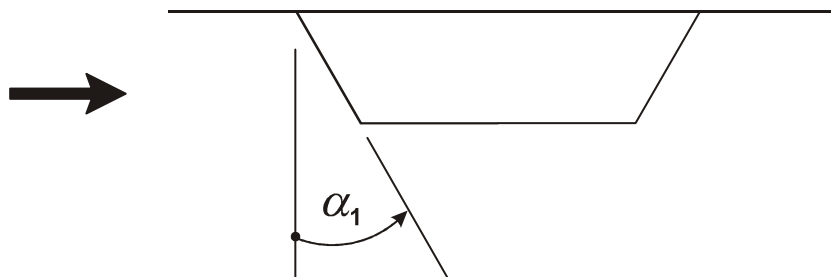


Figura 8.4 – Tabuleiro com a face exposta ao vento inclinada

**NOTA:** Esta redução não se aplica à força  $F_w$  definida em 8.3.2, salvo indicação em contrário no Anexo Nacional.

(3) Nos casos em que o tabuleiro tem uma inclinação transversal,  $c_{fx,0}$  deverá ser aumentado de 3 % por grau de inclinação, com um aumento máximo de 25 %.

(4) As áreas de referência  $A_{ref,x}$  para combinações de acções sem carga de tráfego deverão ser definidas com base no valor apropriado de  $d_{tot}$ , definido na Figura 8.5 e no Quadro 8.1:

a) para tabuleiros de vigas de alma cheia, a soma de:

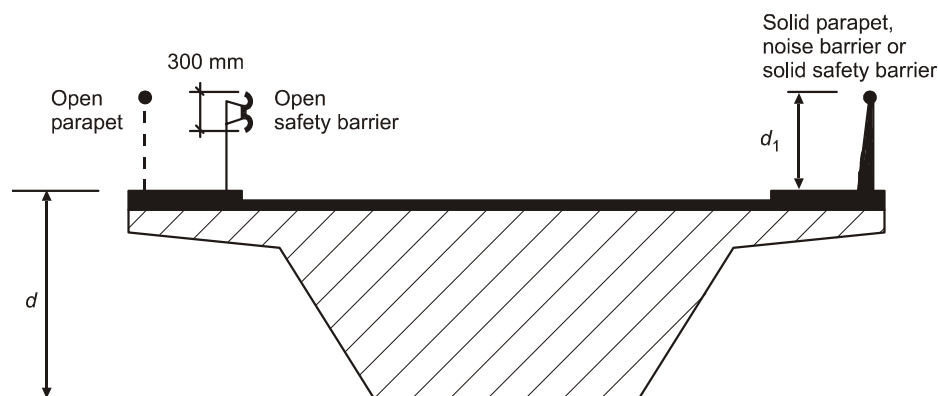
- 1) a área frontal da viga principal de barlavento,
- 2) a área frontal das partes das outras vigas principais que se projectem abaixo da viga principal de barlavento,
- 3) a área frontal da parte de uma cornija, passeio ou via balastrada que se projecte acima da viga principal de barlavento,
- 4) a área frontal de guarda-corpos ou guardas de segurança não vazados ou de barreiras anti-ruído, quando existam, situada acima da área descrita em 3) ou, na ausência de tais equipamentos, a área correspondente a uma altura de 0,3 m para cada guarda-corpo vazado ou guarda de segurança vazada;

b) para tabuleiros de vigas treliçadas, a soma de:

- 1) a área frontal de uma cornija, passeio ou via balastrada,
- 2) a área das projecções em alçado das partes cheias de todas as vigas treliçadas principais que estejam situadas acima ou abaixo da área descrita em 1),
- 3) a área frontal de guarda-corpos ou guardas de segurança não vazados ou de barreiras anti-ruído, quando existam, situada acima da área descrita em 1) ou, na ausência de tais equipamentos, a área correspondente a uma altura de 0,3 m para cada guarda-corpo vazado ou guarda de segurança vazada;

contudo, a área de referência total não deverá exceder a correspondente à de uma viga de alma cheia equivalente com a mesma altura total, incluindo todas as projecções;

c) durante a construção de tabuleiros com várias vigas principais, antes de a laje da plataforma de rodagem ser colocada: a área frontal de duas vigas principais.



**Legenda:**

Open parapet	Guarda-corpo vazado
Open safety barrier	Guarda de segurança vazada
Solid parapet, noise barrier or solid safety barrier	Guarda-corpo não vazado, barreira anti-ruído ou guarda de segurança não vazada

Figura 8.5 – Altura a considerar para  $A_{ref,x}$

Quadro 8.1 – Altura  $d_{tot}$  a considerar para  $A_{ref,x}$

Barreiras de segurança	num lado	nos dois lados
Guarda-corpo vazado ou guarda de segurança vazada	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Guarda-corpo não vazado ou guarda de segurança não vazada	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Guarda-corpo vazado e guarda de segurança vazada	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

(5) As áreas de referência  $A_{ref,x}$  para combinações de acções com carga de tráfego são conforme é especificado em (4) com a seguinte modificação: em vez das áreas acima descritas em a) 3) e 4) e em b) 3), deverá considerar-se o seguinte no caso de as áreas resultantes serem maiores:

- para pontes rodoviárias, uma altura de 2 m a partir do nível da plataforma de rodagem e ao longo do comprimento mais desfavorável, independentemente da posição das cargas verticais de tráfego;
- para pontes ferroviárias, uma altura de 4 m a partir do nível superior dos carris, ao longo do comprimento total da ponte.

(6) A altura de referência  $z_e$  poderá ser considerada como a distância entre o nível mais baixo do solo e o nível central da estrutura do tabuleiro da ponte, não considerando as outras partes das áreas de referência (por exemplo, os guarda-corpos).

(7) Os efeitos das pressões do vento resultantes da passagem de veículos estão fora do âmbito da presente Norma. Para os efeitos do vento provocados pela passagem de comboios, ver a EN 1991-2.

### 8.3.2 Força na direcção $x$ - Método simplificado

(1) Nos casos em que tenha sido estabelecido que um procedimento de cálculo de resposta dinâmica não é necessário, a força na direcção  $x$  produzida pelo vento poderá ser obtida através da expressão (8.2):

$$F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{\text{ref},x} \quad (8.2)$$

em que:

$v_b$  valor de referência da velocidade do vento (ver 4.2(2));

$C$  coeficiente de força do vento;  $C = c_e \cdot c_{f,x}$ , em que  $c_e$  é o coeficiente de exposição indicado em 4.5 e  $c_{f,x}$  é fornecido em 8.3.1(1);

$A_{\text{ref},x}$  área de referência, indicada em 8.3.1;

$\rho$  massa volúmica do ar (ver 4.5).

**NOTA:** Os valores de  $C$  poderão ser definidos no Anexo Nacional; no Quadro 8.2 são fornecidos valores recomendados.

Quadro 8.2 – Valores recomendados do coeficiente de força  $C$  para pontes

$b/d_{\text{tot}}$	$z_e \leq 20 \text{ m}$	$z_e = 50 \text{ m}$
$\leq 0,5$	6,7	8,3
$\geq 4,0$	3,6	4,5
<p>Este Quadro baseia-se nas seguintes hipóteses:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– terreno de categoria II de acordo com o Quadro 4.1;</li> <li>– coeficiente de força <math>c_{f,x}</math> de acordo com 8.3.1(1);</li> <li>– <math>c_o = 1,0</math>;</li> <li>– <math>k_1 = 1,0</math>.</li> </ul> <p>Para valores intermédios de <math>b/d_{\text{tot}}</math> e de <math>z_e</math>, poderá ser efectuada uma interpolação linear.</p>		

### 8.3.3 Forças na direcção $z$ produzidas pelo vento em tabuleiros de pontes

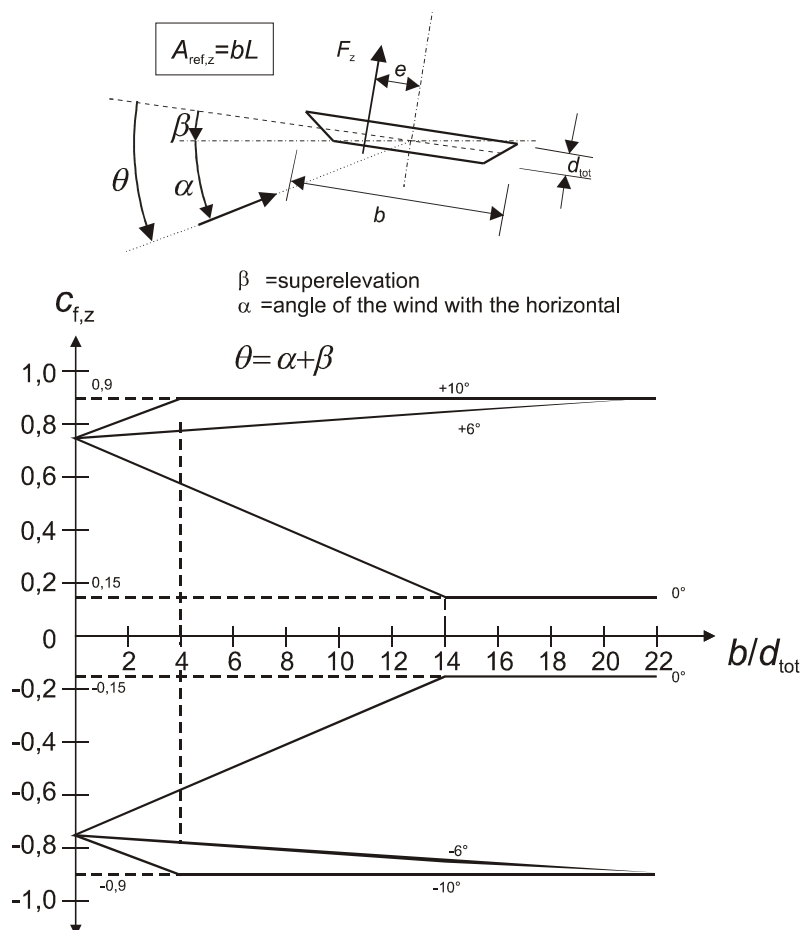
(1) Deverão ser definidos coeficientes de força  $c_{f,z}$  para a acção do vento, na direcção  $z$ , em tabuleiros de pontes, tanto no sentido ascendente como no sentido descendente (coeficientes de força de sustentação). Estes coeficientes  $c_{f,z}$  não deverão ser utilizados para calcular vibrações verticais dos tabuleiros.

**NOTA 1:** O Anexo Nacional poderá fornecer valores para  $c_{f,z}$ ; na ausência de ensaios em túnel de vento, o valor recomendado poderá ser considerado igual a  $\pm 0,9$ . Este valor tem globalmente em conta a influência de uma eventual inclinação transversal do tabuleiro, da inclinação do terreno e de flutuações do ângulo de incidência do vento em relação ao tabuleiro, devidas à turbulência.

Como alternativa,  $c_{f,z}$  poderá ser obtido da Figura 8.6. Neste caso:

- a altura  $d_{\text{tot}}$  poderá ser limitada à altura da estrutura do tabuleiro, ignorando o tráfego e qualquer equipamento da ponte;
- para um terreno plano e horizontal, o ângulo  $\alpha$  do vento com a horizontal poderá ser considerado igual a  $\pm 5^\circ$  devido à turbulência; o mesmo também é válido para um terreno acidentado caso o tabuleiro da ponte se encontre a pelo menos 30 m acima do solo.

**NOTA 2:** Esta força só poderá ter efeitos significativos se for da mesma ordem de grandeza que a carga permanente.



Legenda:

superelevation

inclinação transversal

angle of the wind with the horizontal

ângulo do vento em relação à horizontal

Figura 8.6 – Coeficiente de força  $c_{f,z}$  para tabuleiros com inclinação transversal e com um vento inclinado

(2) A área de referência  $A_{ref,z}$  é igual à área em planta (ver a Figura 8.2):

$$A_{ref,z} = b \cdot L \quad (8.3)$$

(3) Não deverá ser considerado qualquer coeficiente de efeitos de extremidade.

(4) A altura de referência é a mesma que para  $c_{f,x}$  (ver 8.3.1(6)).

(5) Salvo indicação em contrário, a excentricidade da força, na direcção  $x$ , poderá ser fixada em  $e = b/4$ .

### 8.3.4 Forças na direcção y produzidas pelo vento em tabuleiros de pontes

(1) As forças longitudinais produzidas pelo vento, na direcção  $y$ , deverão ser tidas em conta, se necessário.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer os valores respectivos; os valores recomendados são os seguintes:

- para pontes com tabuleiro de vigas de alma cheia, 25 % das forças produzidas pelo vento na direcção  $x$ ;
- para pontes com tabuleiro de vigas treliçadas, 50 % das forças produzidas pelo vento na direcção  $x$ .

## **8.4 Pilares de pontes**

### **8.4.1 Direcções do vento e situações de projecto**

(1) As acções do vento nos tabuleiros de pontes e nos seus pilares de apoio deverão ser calculadas identificando a direcção mais desfavorável do vento sobre o conjunto da estrutura, para o efeito considerado.

(2) Deverão efectuar-se cálculos em separado das acções do vento para as situações de projecto transitórias correspondentes às fases de construção em que não é possível qualquer transmissão ou redistribuição horizontal das acções do vento pelo tabuleiro. Se, durante essas fases, um pilar tiver que suportar segmentos do tabuleiro em consola ou cimbres, deverá considerar-se a possibilidade de assimetria das acções do vento sobre tais elementos.

*NOTA:* As situações transitórias de execução são geralmente mais críticas do que as situações persistentes para os pilares e para certos tipos de tabuleiros com métodos de execução particulares. Para os valores característicos relativos às situações de projecto transitórias, ver a EN 1991-1-6; para os cimbres, ver 7.11.

### **8.4.2 Efeitos do vento nos pilares**

(1) Os efeitos do vento nos pilares deverão ser calculados utilizando o formato geral que é definido na presente Norma. Em relação às acções globais, deverá considerar-se o disposto em 7.6, 7.8 ou 7.9.2.

*NOTA 1:* No Anexo Nacional poderão ser fornecidas regras simplificadas.

*NOTA 2:* O Anexo Nacional poderá fornecer procedimentos para a consideração de um carregamento assimétrico. O procedimento recomendado consiste em eliminar a carga de cálculo do vento nas partes da construção em que a sua acção produza um efeito benéfico (ver 7.1.2(1)).



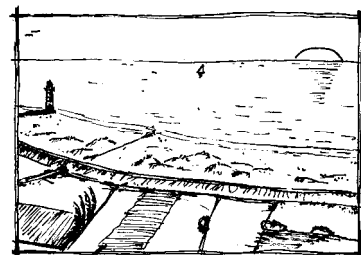
## Anexo A (informativo)

### Efeitos do terreno

#### A.1 Ilustrações da rugosidade máxima de cada categoria de terreno

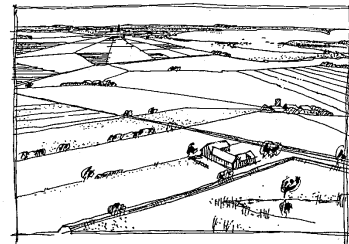
##### **Categoria de terreno 0**

Mar ou zona costeira exposta aos ventos de mar



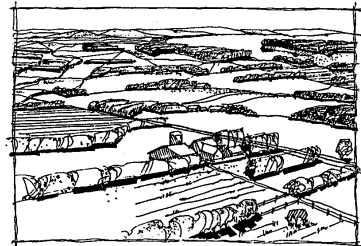
##### **Categoria de terreno I**

Lagos ou zona com vegetação negligenciável e livre de obstáculos



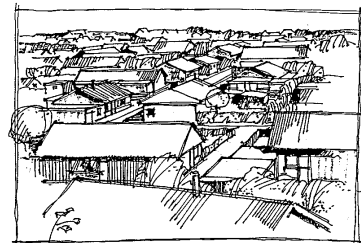
##### **Categoria de terreno II**

Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura



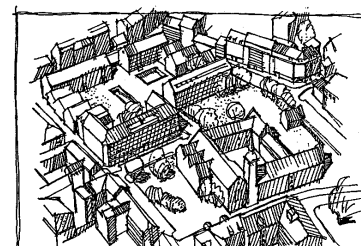
##### **Categoria de terreno III**

Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: aldeias, zonas suburbanas, florestas permanentes)



##### **Categoria de terreno IV**

Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m



## A.2 Transição entre as categorias de rugosidade 0, I, II, III e IV

(1) A transição entre diferentes categorias de rugosidade deve ser considerada no cálculo de  $q_p$  e de  $c_s c_d$ .

**NOTA:** O procedimento a utilizar poderá ser fornecido no Anexo Nacional. A seguir são indicados dois procedimentos recomendados, designadamente o Procedimento 1 e o Procedimento 2.

### Procedimento 1

Se a construção está situada na proximidade de uma alteração de rugosidade do terreno, a qual ocorre a uma distância:

- inferior a 2 km, da categoria de terreno 0,
  - inferior a 1 km, de um terreno menos rugoso de uma das categorias I a III,
- deverá utilizar-se a categoria de terreno menos rugosa na direcção de barlavento.

As zonas de pequena área (inferior a 10 % da área da zona considerada) que tenham uma rugosidade diferente poderão ser ignoradas.

### Procedimento 2

- a) determinar as categorias de rugosidade aplicáveis ao terreno a barlavento nos sectores angulares a considerar;
- b) para cada sector angular, determinar a distância  $x$  entre o edifício e a alteração de rugosidade a barlavento;
- c) se a distância  $x$  entre o edifício e um terreno com menor comprimento de rugosidade é inferior aos valores indicados no Quadro A.1, deverá utilizar-se o menor valor do comprimento de rugosidade para o sector angular considerado; se aquela distância  $x$  é superior ao valor indicado no Quadro A.1, deverá utilizar-se o valor mais elevado do comprimento de rugosidade.

As zonas de pequena área (inferior a 10 % da área da zona considerada) que tenham uma rugosidade diferente poderão ser ignoradas.

Nos casos em que nenhuma distância  $x$  é especificada no Quadro A.1 ou para alturas superiores a 50 m, deverá utilizar-se o menor comprimento de rugosidade.

Para valores intermédios da altura  $z$ , poderá ser efectuada uma interpolação linear.

Um edifício situado numa determinada categoria de terreno poderá ser calculado como se estivesse numa categoria de terreno inferior caso esteja situado dentro dos limites de distância definidos no Quadro A.1.

Quadro A.1 – Distância  $x$

Altura $z$	I a II	I a III
5 m	0,50 km	5,00 km
7 m	1,00 km	10,00 km
10 m	2,00 km	20,00 km
15 m	5,00 km	
20 m	12,00 km	
30 m	20,00 km	
50 m	50,00 km	

(continua)

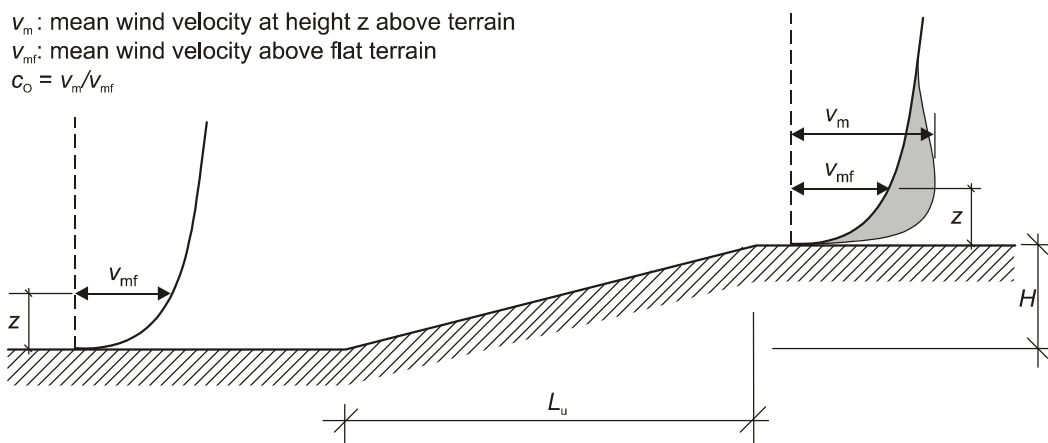
*Quadro A.1 – Distância  $x$  (conclusão)*

<i>Altura <math>z</math></i>	<i>II a III</i>	<i>II a IV</i>
<i>5 m</i>	<i>0,30 km</i>	<i>2,00 km</i>
<i>7 m</i>	<i>0,50 km</i>	<i>3,50 km</i>
<i>10 m</i>	<i>1,00 km</i>	<i>7,00 km</i>
<i>15 m</i>	<i>3,00 km</i>	<i>20,00 km</i>
<i>20 m</i>	<i>7,00 km</i>	
<i>30 m</i>	<i>10,00 km</i>	
<i>50 m</i>	<i>30,00 km</i>	

<i>Altura <math>z</math></i>	<i>III a IV</i>
<i>5 m</i>	<i>0,20 km</i>
<i>7 m</i>	<i>0,35 km</i>
<i>10 m</i>	<i>0,70 km</i>
<i>15 m</i>	<i>2,00 km</i>
<i>20 m</i>	<i>4,50 km</i>
<i>30 m</i>	<i>7,00 km</i>
<i>50 m</i>	<i>20,00 km</i>

### **A.3 Cálculo numérico dos coeficientes de orografia**

(1) Em colinas isoladas ou em cadeia, ou em falésias e escarpas, a velocidade do vento varia em função da inclinação, na direcção do vento, da vertente virada a barlavento,  $\Phi = H/L_u$ ; a altura  $H$  e o comprimento  $L_u$  são definidos na Figura A.1.



**Legenda:**

mean wind velocity at height  $z$  above terrain      velocidade média do vento à altura  $z$  acima do solo

mean wind velocity above flat terrain      velocidade média do vento sobre terreno plano

Figura A.1 – Ilustração do aumento da velocidade do vento devido à orografia

(2) O maior aumento das velocidades do vento ocorre próximo do topo da vertente e é determinado a partir do coeficiente de orografia  $c_o$  (ver a Figura A.1). O declive não tem efeito significativo no desvio padrão da turbulência, definido em 4.4(1).

**NOTA:** Para um valor constante do desvio padrão, a intensidade de turbulência diminui com o aumento da velocidade do vento.

(3) O coeficiente de orografia,  $c_o(z) = v_m / v_{mf}$ , tem em conta o aumento da velocidade média do vento sobre colinas isoladas e escarpas (mas não em regiões onduladas e montanhosas), estando relacionado com a velocidade do vento na base da colina ou da escarpa. Os efeitos da orografia deverão ser considerados nas seguintes situações:

a) para locais (de construção) situados em vertentes viradas a barlavento de colinas:

– quando  $0,05 < \Phi \leq 0,3$  e  $|x| \leq L_u / 2$ ;

b) para locais situados em vertentes viradas a sotavento de colinas:

– quando  $\Phi < 0,3$  e  $x < L_d / 2$ ;

– quando  $\Phi \geq 0,3$  e  $x < 1,6 H$ ;

c) para locais situados em vertentes viradas a barlavento de falésias e escarpas:

– quando  $0,05 < \Phi \leq 0,3$  e  $|x| \leq L_u / 2$ ;

d) para locais situados em vertentes viradas a sotavento de falésias e escarpas:

– quando  $\Phi < 0,3$  e  $x < 1,5 L_e$ ;

– quando  $\Phi \geq 0,3$  e  $x < 5 H$ .

O coeficiente de orografia é definido por:

$$c_o = 1 \quad \text{para} \quad \Phi < 0,05 \quad (A.1)$$

$$c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi \quad \text{para} \quad 0,05 < \Phi < 0,3 \quad (\text{A.2})$$

$$c_o = 1 + 0,6 \cdot s \quad \text{para} \quad \Phi > 0,3 \quad (\text{A.3})$$

em que:

$s$  coeficiente obtido através da Figura A.2 ou da Figura A.3, considerando a relação com o comprimento efectivo da vertente virada a barlavento,  $L_e$ ;

$\Phi$  inclinação, na direcção do vento, da vertente virada a barlavento,  $H/L_u$  (ver a Figura A.2 e a Figura A.3);

$L_e$  comprimento efectivo da vertente virada a barlavento, definido no Quadro A.2;

$L_u$  comprimento real, na direcção do vento, da vertente virada a barlavento;

$L_d$  comprimento real, na direcção do vento, da vertente virada a sotavento;

$H$  altura efectiva do acidente orográfico;

$x$  distância horizontal entre o local de construção e o topo da vertente;

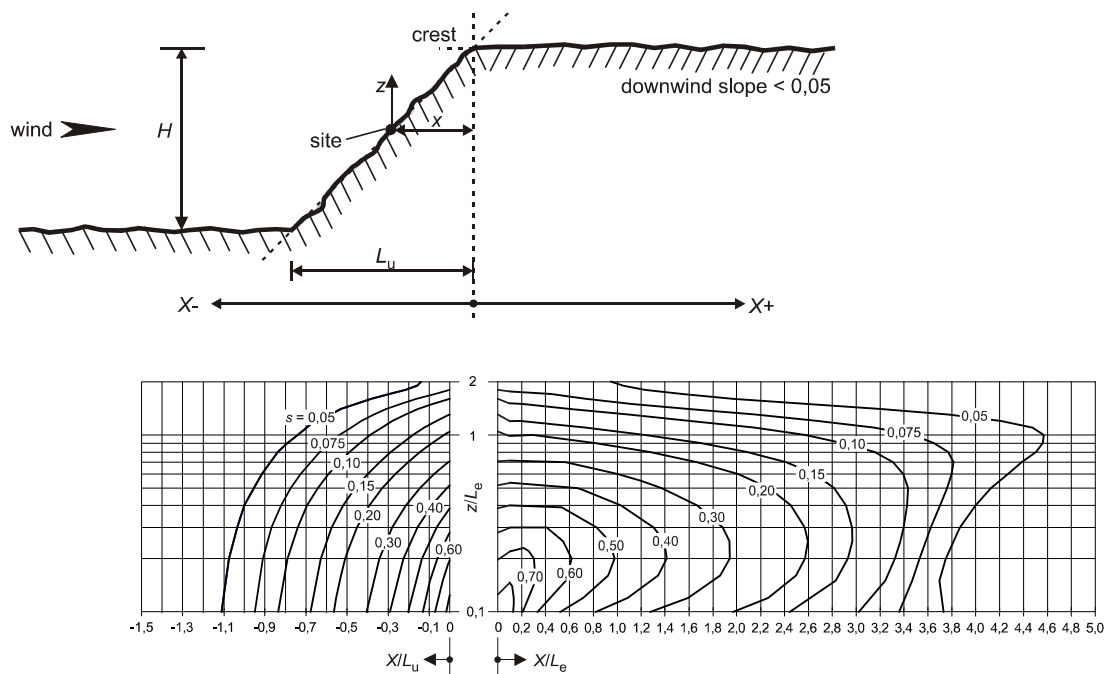
$z$  distância vertical medida a partir do nível do solo no local considerado.

Quadro A.2 – Valores do comprimento efectivo  $L_e$

Tipo de declive ( $\Phi = H/L_u$ )	
Declive moderado ( $0,05 < \Phi < 0,3$ )	Declive acentuado ( $\Phi > 0,3$ )
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

**NOTA:** Os gráficos de cálculo apresentados nas Figuras A.2 e A.3 ultrapassam o domínio de aplicação acima definido. A consideração dos efeitos orográficos para além desses limites é facultativa.

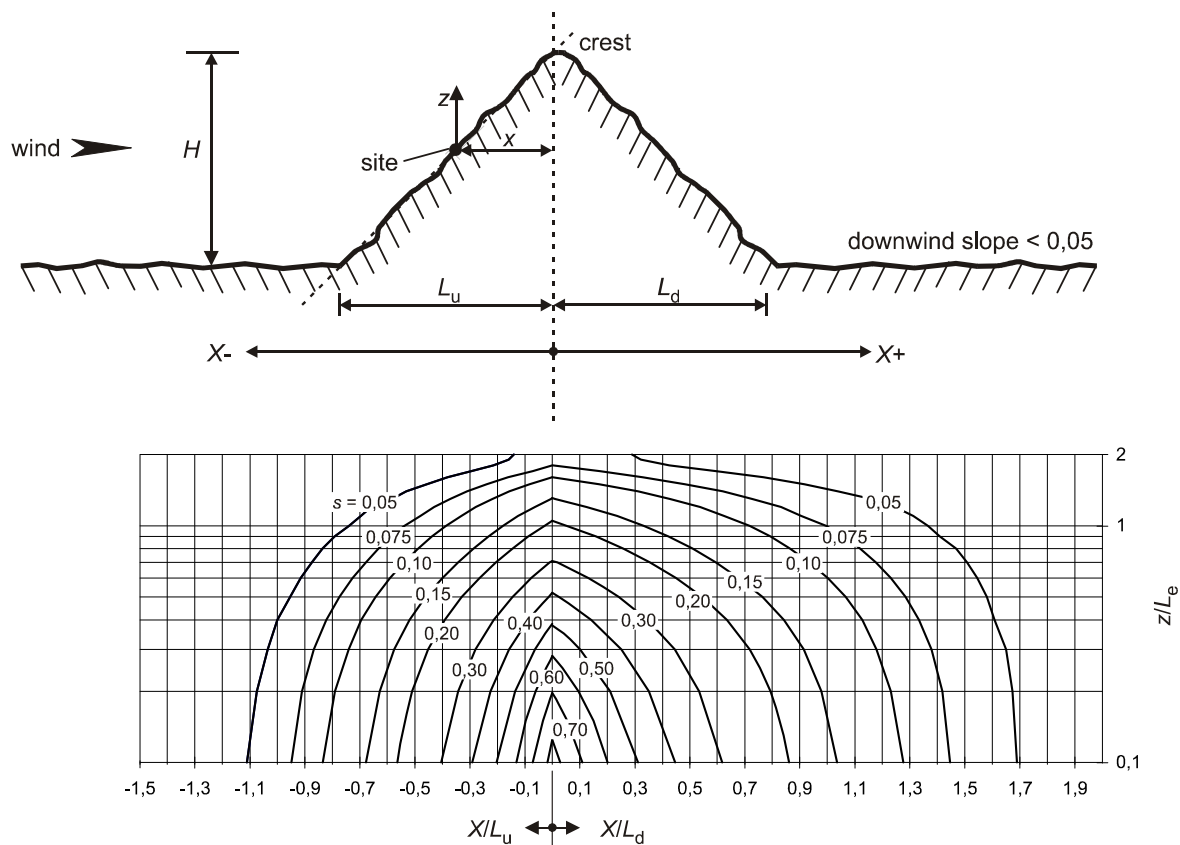
(4) Em vales,  $c_o(z)$  poderá ser considerado igual a 1,0 caso não se preveja qualquer aumento da velocidade devido a efeitos de afunilamento. No caso de construções situadas em vales ou de pontes que atravessem vales profundos, deverá ser tomado em conta qualquer aumento da velocidade do vento devido a efeitos de afunilamento.



**Legenda:**

wind	vento
site	local
crest	crista
downwind slope	declive a sotavento

Figura A.2 – Coeficiente  $s$  para falésias e escarpas



### Legenda:

wind	vento
site	local
crest	crista
downwind slope	declive a sotavento

Figura A.3 – Coeficiente  $s$  para colinas isoladas ou em cadeia

(5) As expressões A.4 a A.7 e A.11 poderão ser utilizadas para calcular o valor do coeficiente  $s$ . Dada a natureza empírica dessas expressões, é da maior importância que os valores dos parâmetros utilizados estejam contidos nos domínios enunciados; caso contrário, os valores obtidos não serão válidos.

### a) Secção de barlavento, para todos os tipos de orografia (Figuras A.2 e A.3)

Para o domínio  $-1,5 \leq \frac{X}{L_u} \leq 0$  e  $0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$ , adoptar:

$$s = A \cdot e^{\left( B \cdot \frac{X}{L_u} \right)} \quad (A.4)$$

em que:

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 1,0124 \quad (\text{A.5})$$

e

$$B = 0,3542 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,0577 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 2,6456 \quad (\text{A.6})$$

Quando  $\frac{X}{L_u} < -1,5$  ou  $\frac{z}{L_e} > 2$ , adoptar o valor  $s = 0$ .

**b) Secção de sotavento para falésias e escarpas (Figura A.2)**

Para o domínio  $0,1 \leq \frac{X}{L_e} \leq 3,5$  e  $0,1 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$ , adoptar:

$$s = A \cdot \left( \log \left[ \frac{X}{L_e} \right] \right)^2 + B \cdot \left( \log \left[ \frac{X}{L_e} \right] \right) + C \quad (\text{A.7})$$

em que:

$$A = -1,3420 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8222 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,4609 \cdot \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] - 0,0791 \quad (\text{A.8})$$

$$B = -1,0196 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8910 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,5343 \cdot \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] - 0,1156 \quad (\text{A.9})$$

e

$$C = 0,8030 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^3 + 0,4236 \cdot \left( \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] \right)^2 - 0,5738 \cdot \log \left[ \frac{z}{L_e} \right] + 0,1606 \quad (\text{A.10})$$

Para o domínio  $0 \leq \frac{X}{L_e} \leq 0,1$ , efectuar uma interpolação entre os valores para  $\frac{X}{L_e} = 0$  ( $s = A$  na expressão A.5)

e  $\frac{X}{L_e} = 0,1$ .

Quando  $\frac{z}{L_e} < 0,1$  utilizar os valores para  $\frac{z}{L_e} = 0,1$ .

Quando  $\frac{X}{L_e} > 3,5$  ou  $\frac{z}{L_e} > 2,0$ , adoptar o valor  $s = 0$ .

**c) Secção de sotavento para colinas isoladas ou em cadeia (Figura A.3)**

Para o domínio  $0 \leq \frac{X}{L_d} \leq 2,0$  e  $0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$ , adoptar:



$$s = A \cdot e^{\left(B \cdot \frac{X}{L_d}\right)} \quad (\text{A.11})$$

em que:

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 1,0124 \quad (\text{A.12})$$

e

$$B = -0,3056 \cdot \left(\frac{z}{L_d}\right)^2 + 1,0212 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) - 1,7637 \quad (\text{A.13})$$

Quando  $\frac{X}{L_d} > 2,0$  ou  $\frac{z}{L_e} > 2,0$ , adoptar o valor  $s = 0$ .

**NOTA:** As expressões A.5 e A.12 são idênticas.

## A.4 Construções vizinhas

(1) No caso de um edifício ter uma altura superior ao dobro da altura média  $h_{ave}$  das construções vizinhas, então, como primeira aproximação, o cálculo de qualquer uma dessas construções vizinhas poderá basear-se na pressão dinâmica de pico à altura  $z_n$  ( $z_e = z_n$ ) acima do solo (expressão A.14); ver a Figura A.4.

$$\begin{aligned} x \leq r : \quad z_n &= \frac{1}{2} \cdot r \\ r < x < 2 \cdot r : \quad z_n &= \frac{1}{2} \left( r - \left( 1 - \frac{2 \cdot h_{low}}{r} \right) \cdot (x - r) \right) \\ x \geq 2 \cdot r : \quad z_n &= h_{low} \end{aligned} \quad (\text{A.14})$$

em que o raio  $r$  é o seguinte:

$$\begin{aligned} r &= h_{high} & \text{se } h_{high} &\leq 2 \cdot d_{large} \\ r &= 2 \cdot d_{large} & \text{se } h_{high} &> 2 \cdot d_{large} \end{aligned}$$

A altura da construção  $h_{low}$ , o raio  $r$ , a distância  $x$  e as dimensões  $d_{small}$  e  $d_{large}$  são ilustradas na Figura A.4. O aumento das velocidades do vento pode ser ignorado quando  $h_{low}$  é superior a metade da altura  $h_{high}$  do edifício mais alto, isto é,  $z_n = h_{low}$ .

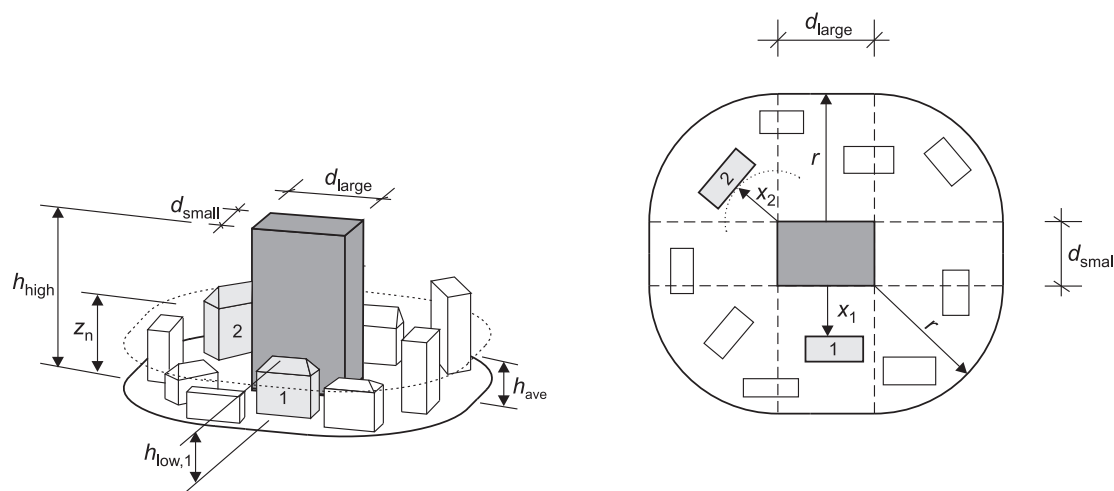


Figura A.4 – Influência de um edifício de grande altura sobre duas construções vizinhas diferentes (1 e 2)

## A.5 Elevação do nível de referência

(1) No caso de edifícios situados num terreno da categoria IV, edifícios pouco espaçados e outros obstáculos fazem com que o vento se comporte como se o nível do solo fosse elevado de uma altura designada por elevação do nível de referência,  $h_{dis}$ . Esta elevação  $h_{dis}$  poderá ser determinada através da expressão (A.15), ver a Figura A.5. O perfil da pressão dinâmica de pico em função da altura (ver a Figura 4.2) poderá ser sobrelevado de uma altura  $h_{dis}$ .

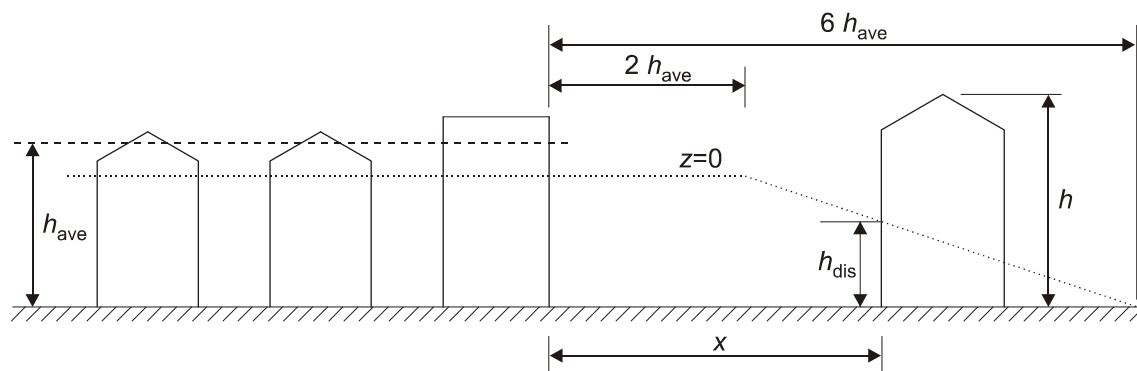


Figura A.5 – Altura de obstrução e espaçamento dos obstáculos a barlavento

$$\begin{array}{ll}
 x \leq 2 \cdot h_{ave} & h_{dis} \text{ é o menor dos valores } 0,8 \cdot h_{ave} \text{ ou } 0,6 \cdot h \\
 2 \cdot h_{ave} < x < 6 \cdot h_{ave} & h_{dis} \text{ é o menor dos valores } 1,2 \cdot h_{ave} - 0,2 \cdot x \text{ ou } 0,6 \cdot h \\
 x \geq 6 \cdot h_{ave} & h_{dis} = 0
 \end{array} \quad (A.15)$$

Na ausência de informações mais precisas, a altura de obstrução para terrenos da categoria IV poderá ser considerada como  $h_{ave} = 15$  m.

Estas regras dependem da direcção considerada, sendo que os valores de  $h_{ave}$  e de  $x$  deverão ser estabelecidos para cada sector de 30° conforme é descrito em 4.3.2.

## **Anexo B**

### **(informativo)**

#### **Procedimento 1 para a determinação do coeficiente estrutural $c_s c_d$**

##### **B.1 Turbulência do vento**

(1) A escala de turbulência  $L(z)$  representa a dimensão média dos turbilhões do vento natural. Para alturas  $z$  inferiores a 200 m, a escala de turbulência poderá ser calculada através da expressão (B.1):

$$\begin{aligned} L(z) &= L_t \cdot \left( \frac{z}{z_t} \right)^\alpha & \text{para } z \geq z_{\min} \\ L(z) &= L(z_{\min}) & \text{para } z < z_{\min} \end{aligned} \quad (\text{B.1})$$

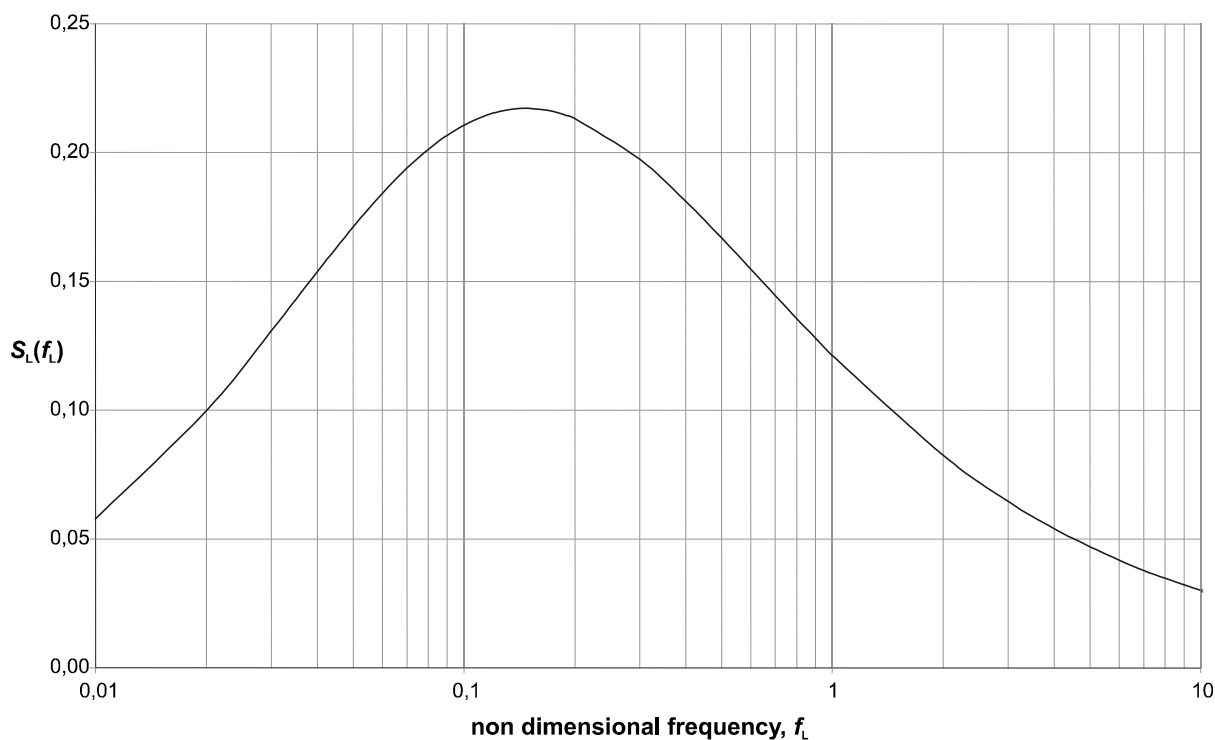
com uma altura de referência  $z_t = 200$  m, uma escala de referência  $L_t = 300$  m, e com  $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$ , em que o comprimento de rugosidade  $z_0$  é expresso em m. A altura mínima  $z_{\min}$  é fornecida no Quadro 4.1.

(2) A distribuição da energia do vento em frequência é expressa pela função de densidade espectral de potência adimensional  $S_L(z, n)$ , a qual deverá ser determinada através da expressão (B.2):

$$S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}} \quad (\text{B.2})$$

em que  $S_v(z, n)$  é a densidade espectral de um só ramo (isto é, definida apenas para frequências positivas) e

$f_L(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)}$  é uma frequência adimensional determinada pela frequência  $n = n_{1,x}$  (frequência própria da estrutura, expressa em Hz), pela velocidade média  $v_m(z)$  e pela escala de turbulência  $L(z)$  definida em (B.1). A função de densidade espectral de potência é ilustrada na Figura B.1.



**Legenda:**

non dimensional frequency      frequência adimensional

Figura B.1 – Função de densidade espectral de potência  $S_L(f_L)$

## B.2 Coeficiente estrutural

(1) O coeficiente estrutural  $c_{sd}$  é definido em 6.3.1.

(2) O coeficiente de resposta quase-estática  $B^2$ , que traduz a falta de total correlação das pressões na superfície da construção, poderá ser calculado através da expressão (B.3):

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (\text{B.3})$$

em que:

$b, h$       largura e altura da construção, ver a Figura 6.1;

$L(z_s)$       escala de turbulência, fornecida em B.1(1), à altura de referência  $z_s$ , definida na Figura 6.1.

Em termos de segurança, é conservativo utilizar  $B^2 = 1$ .

(3) O factor de pico  $k_p$ , definido como o quociente entre o valor máximo da parte flutuante da resposta e o desvio padrão desta, deverá ser obtido através da expressão (B.4), a qual é ilustrada na Figura B.2.

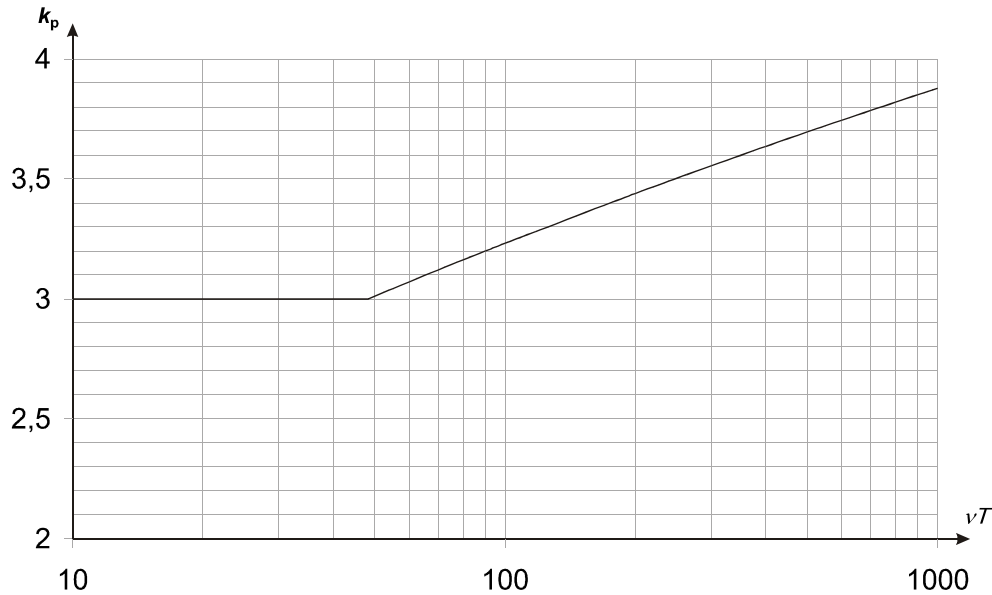


Figura B.2 – Factor de pico

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)}} \text{ ou } k_p = 3, \text{ considerando-se o maior dos valores} \quad (\text{B.4})$$

em que:

$\nu$  frequência de passagens ascendentes, fornecida em (4);

$T$  duração de integração da velocidade média do vento,  $T = 600$  s.

(4) A frequência de passagens ascendentes,  $\nu$ , deverá ser obtida através da expressão (B.5):

$$\nu = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad ; \quad \nu \geq 0,08 \text{ Hz} \quad (\text{B.5})$$

em que  $n_{1,x}$  é a frequência própria da estrutura, que poderá ser determinada utilizando o Anexo F. O limite definido por  $\nu \geq 0,08$  Hz corresponde a um factor de pico igual a 3,0.

(5) O coeficiente de resposta em ressonância  $R^2$ , que tem em conta o efeito da turbulência em ressonância com o modo de vibração considerado da estrutura, deverá ser calculado através da expressão (B.6):

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \quad (\text{B.6})$$

em que:

$\delta$  decremento logarítmico total de amortecimento, fornecido em F.5;

$S_L$  função de densidade espectral de potência adimensional, fornecida em B.1(2);

$R_h, R_b$  funções de admitância aerodinâmica, fornecidas em (6).

(6) As funções de admitância aerodinâmica  $R_h$  e  $R_b$  para uma configuração de modo fundamental poderão ser estimadas através das expressões (B.7) e (B.8):

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) ; \quad R_h = 1 \quad \text{para} \quad \eta_h = 0 \quad (\text{B.7})$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) ; \quad R_b = 1 \quad \text{para} \quad \eta_b = 0 \quad (\text{B.8})$$

com:  $\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$  e  $\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$

**NOTA:** Para configurações modais com pontos nodais intermédios deverão efectuar-se cálculos mais pormenorizados.

### B.3 Número de carregamentos para a resposta dinâmica

(1) A Figura B.3 apresenta o número de vezes  $N_g$  que o valor  $\Delta S$  de um efeito do vento é atingido ou excedido durante um período de 50 anos. O valor  $\Delta S$  é expresso em percentagem do valor  $S_k$ , sendo  $S_k$  o efeito em causa devido à acção do vento com um período de retorno igual a 50 anos.

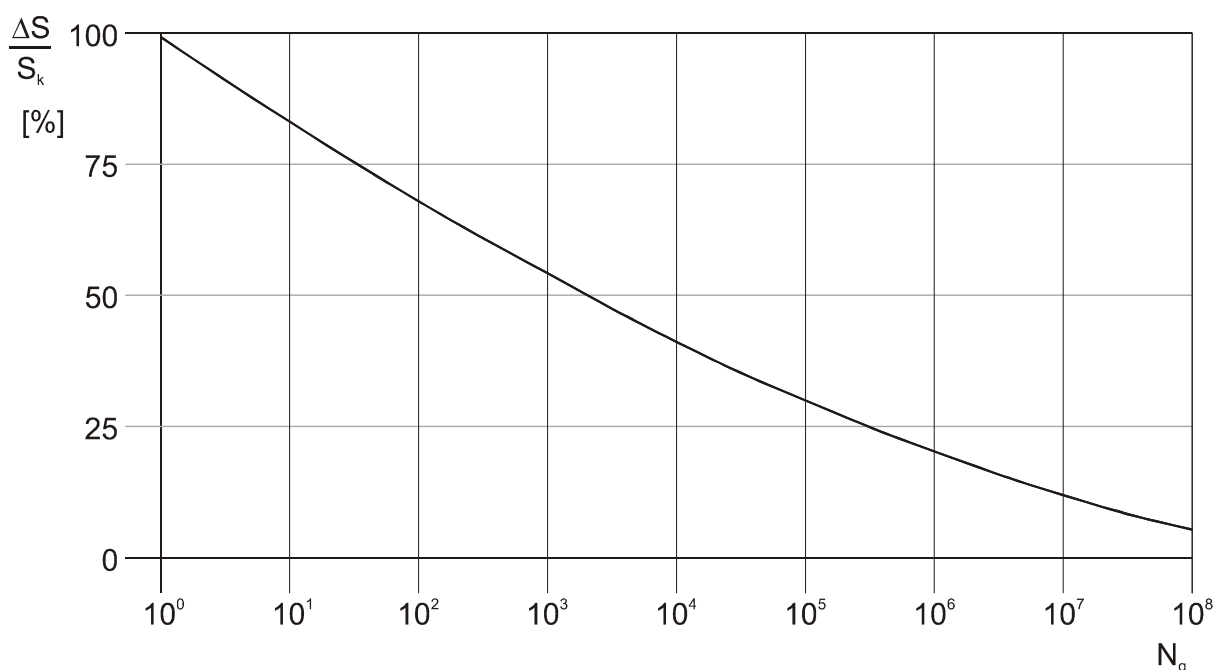


Figura B.3 – Número de carregamentos de rajada  $N_g$  para um efeito  $\Delta S/S_k$  durante um período de 50 anos

A relação entre  $\Delta S/S_k$  e  $N_g$  é fornecida pela expressão B.9:

$$\frac{\Delta S}{S_k} = 0,7 \cdot (\log(N_g))^2 - 17,4 \cdot \log(N_g) + 100 \quad (\text{B.9})$$

## B.4 Deslocamento e acelerações para a verificação de uma construção vertical em relação aos estados limites de utilização

(1) O deslocamento máximo na direcção do vento é determinado a partir da força estática equivalente do vento definida em 5.3.

(2) O desvio padrão  $\sigma_{a,x}$  da aceleração característica na direcção do vento do ponto da construção situado à altura  $z$ , deverá ser obtido através da expressão (B.10):

$$\sigma_{a,x}(z) = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} \cdot R \cdot K_x \cdot \Phi_{1,x}(z) \quad (\text{B.10})$$

em que:

$c_f$  coeficiente de força, ver a secção 7;

$\rho$  massa volúmica do ar, ver 4.5(1);

$b$  largura da construção, definida na Figura 6.1;

$I_v(z_s)$  intensidade de turbulência à altura  $z = z_s$  acima do solo, ver 4.4(1);

$v_m(z_s)$  velocidade média do vento para  $z = z_s$ , ver 4.3.1(1);

$z_s$  altura de referência, ver a Figura 6.1;

$R$  raiz quadrada do coeficiente de resposta em ressonância, ver B.2(5);

$K_x$  coeficiente adimensional, fornecido pela expressão (B.11);

$m_{1,x}$  massa equivalente para o modo fundamental de vibração na direcção do vento, ver F.4(1);

$n_{1,x}$  frequência fundamental de vibração da estrutura na direcção do vento; no Anexo F são fornecidos valores aproximados;

$\Phi_{1,x}(z)$  configuração do modo fundamental de vibração na direcção do vento; em primeira aproximação, poderão ser utilizadas as expressões fornecidas no Anexo F.

(3) O coeficiente adimensional  $K_x$  é definido por:

$$K_x = \frac{\int_0^h v_m^2(z) \cdot \Phi_{1,x}^2(z) dz}{v_m^2(z_s) \cdot \int_0^h \Phi_{1,x}^2(z) dz} \quad (\text{B.11})$$

em que:

$h$  altura da construção (ver a Figura 6.1).

**NOTA:** Admitindo que  $\Phi_{1,x}(z) = (z/h)^\zeta$  (ver o Anexo F) e que  $c_0(z) = 1$  (terreno plano, ver 4.3.3), a expressão (B.11) pode ser aproximada pela expressão (B.12). Esta aproximação está representada na Figura B.4.

$$K_x = \frac{(2 \cdot \zeta + 1) \cdot \left\{ (\zeta + 1) \cdot \left[ \ln \left( \frac{z_s}{z_0} \right) + 0,5 \right] - 1 \right\}}{(\zeta + 1)^2 \cdot \ln \left( \frac{z_s}{z_0} \right)} \quad (B.12)$$

em que:

$z_0$  comprimento de rugosidade (ver o Quadro 4.1);

$\zeta$  expoente da configuração modal (ver o Anexo F).

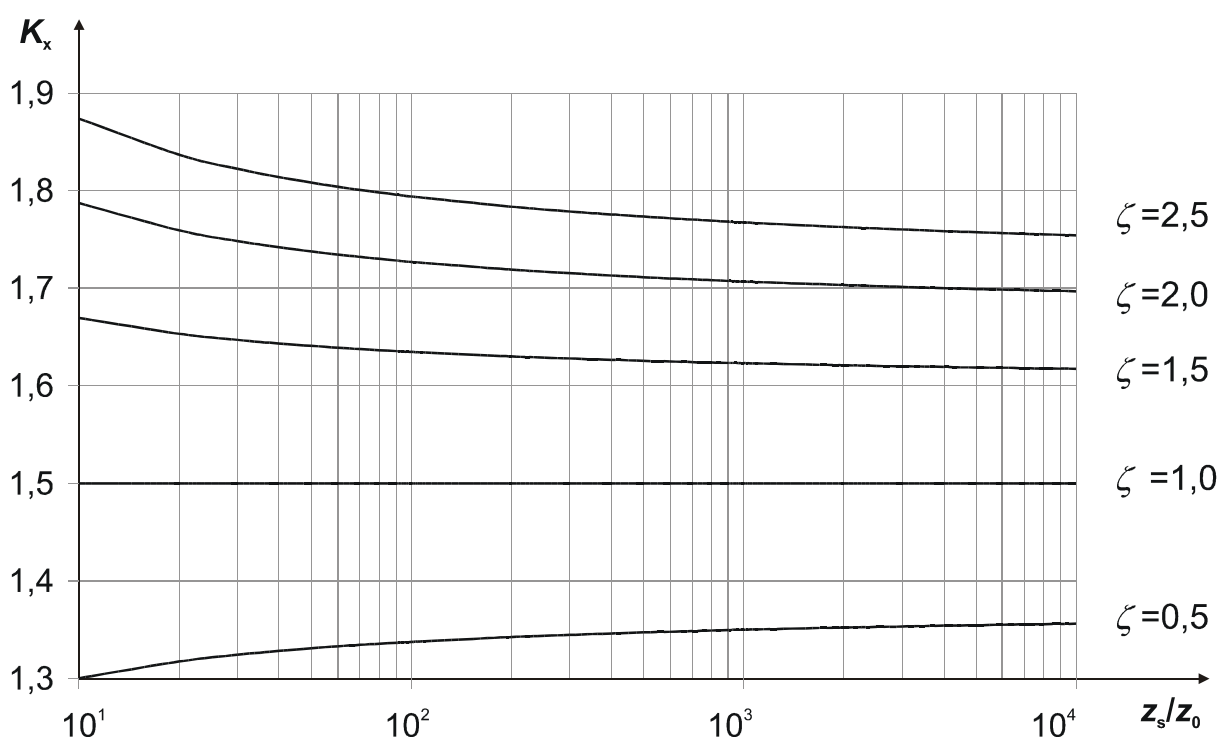


Figura B.4 – Aproximação do coeficiente adimensional  $K_x$  através da expressão (B.12)

(4) As acelerações de pico características são obtidas multiplicando o desvio padrão referido em (2) pelo factor de pico que é fornecido em B.2(3) utilizando a frequência própria como valor da frequência de passagens ascendentes, isto é,  $\nu = n_{1,x}$ .



## **Anexo C**

(informativo)

### **Procedimento 2 para a determinação do coeficiente estrutural $c_s c_d$**

#### **C.1 Turbulência do vento**

(1) A turbulência deverá ser considerada de acordo com B.1.

#### **C.2 Coeficiente estrutural**

(1) O coeficiente estrutural  $c_s c_d$  é definido em 6.3.1.

(2) O coeficiente de resposta quase-estática  $B^2$ , que traduz a falta de total correlação das pressões na superfície da construção, poderá ser calculado através da expressão (C.1):

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{h}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{b}{L(z_s)} \cdot \frac{h}{L(z_s)}\right)^2}} \quad (\text{C.1})$$

em que:

$b, h$  largura e altura da construção, ver a Figura 6.1;

$L(z_s)$  escala de turbulência, fornecida em B.1(1), à altura de referência  $z_s$ , definida na Figura 6.1.

Em termos de segurança, é conservativo utilizar  $B^2 = 1$ .

(3) O factor de pico  $k_p$  deverá ser obtido de B.2(3).

(4) O coeficiente de resposta em ressonância  $R^2$ , que tem em conta o efeito da turbulência em ressonância com o modo de vibração considerado da estrutura, deverá ser calculado através da expressão (C.2):

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot K_s(n_{1,x}) \quad (\text{C.2})$$

em que:

$\delta$  decremento logarítmico total de amortecimento, indicado no Anexo F;

$S_L$  função de densidade espectral de potência do vento, indicada em B.1(2);

$n_{1,x}$  frequência própria (fundamental) da estrutura, a qual poderá ser determinada utilizando o Anexo F;

$K_s$  função de efeito redutor de dimensão, definida em (5).

(5) A função de efeito redutor de dimensão,  $K_s$ , poderá ser estimada através da expressão (C.3):

$$K_s(n) = \frac{1}{1 + \sqrt{(G_y \cdot \phi_y)^2 + (G_z \cdot \phi_z)^2 + \left(\frac{2}{\pi} \cdot G_y \cdot \phi_y \cdot G_z \cdot \phi_z\right)^2}} \quad (C.3)$$

$$\phi_y = \frac{c_y \cdot b \cdot n}{v_m(z_s)} \quad \phi_z = \frac{c_z \cdot h \cdot n}{v_m(z_s)}$$

As constantes  $G_y$  e  $G_z$  dependem, respectivamente, da variação da configuração modal ao longo do eixo horizontal  $y$  e do eixo vertical  $z$ . As constantes de decaimento  $c_y$  e  $c_z$  são ambas iguais a 11,5.

(6) A constante  $G$  referida em (5) e a constante  $K$  utilizada para o cálculo das acelerações são fornecidas no Quadro C.1.

Quadro C.1 – Constantes  $G$  e  $K$  em função da configuração modal

Configuração modal	Uniforme	Linear	Parabólica	Sinusoidal
$G$	1/2	3/8	5/18	$4/\pi^2$
$K$	1	3/2	5/3	$4/\pi$

**NOTA 1:** Para edifícios cuja configuração modal é uniforme na direcção horizontal e tem uma variação linear na direcção vertical,  $\Phi(y,z) = z/h$ , tem-se que  $G_y = 1/2$ ,  $G_z = 3/8$ ,  $K_y = 1$  e  $K_z = 3/2$ .

**NOTA 2:** Para chaminés cuja configuração modal é uniforme na direcção horizontal e tem uma variação parabólica na direcção vertical,  $\Phi(y,z) = z^2/h^2$ , tem-se que  $G_y = 1/2$ ,  $G_z = 5/18$ ,  $K_y = 1$  e  $K_z = 5/3$ .

**NOTA 3:** Para pontes em que, na direcção horizontal, a configuração modal é sinusoidal,  $\Phi(y,z) = \sin(\pi y/b)$ , tem-se que  $G_y = 4/\pi^2$ ,  $G_z = 1/2$ ,  $K_y = 4/\pi$  e  $K_z = 1$ .

### C.3 Número de carregamentos para a resposta dinâmica

(1) O número de carregamentos deverá ser obtido de B.3.

### C.4 Deslocamento e acelerações para a verificação dos estados limites de utilização

(1) O deslocamento máximo na direcção do vento é o deslocamento estático determinado a partir da força estática equivalente do vento definida em 5.3.

(2) O desvio padrão  $\sigma_{a,x}$  da aceleração característica na direcção do vento do ponto da construção com as coordenadas  $(y,z)$  é estimado através da expressão (C.4):

$$\sigma_{a,x}(y,z) = c_f \cdot \rho \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s) \cdot R \cdot \frac{K_y \cdot K_z \cdot \Phi(y,z)}{\mu_{ref} \cdot \Phi_{max}} \quad (C.4)$$

em que:

$c_f$  coeficiente de força, ver a secção 7;

$\rho$  massa volúmica do ar, ver 4.5;

$I_v(z_s)$  intensidade de turbulência à altura  $z_s$  acima do solo, ver 4.4(1);

- $v_m(z_s)$  valor característico da velocidade média do vento à altura  $z_s$ , ver 4.3.1(1);
- $z_s$  altura de referência, ver a Figura 6.1;
- $R$  raiz quadrada do coeficiente de resposta em ressonância, ver C.2(4);
- $K_y, K_z$  constantes fornecidas em C.2(6);
- $\mu_{ref}$  valor de referência da massa por unidade de área, ver F.5(3);
- $\Phi(y,z)$  configuração modal;
- $\Phi_{max}$  valor da configuração modal no ponto de amplitude máxima.

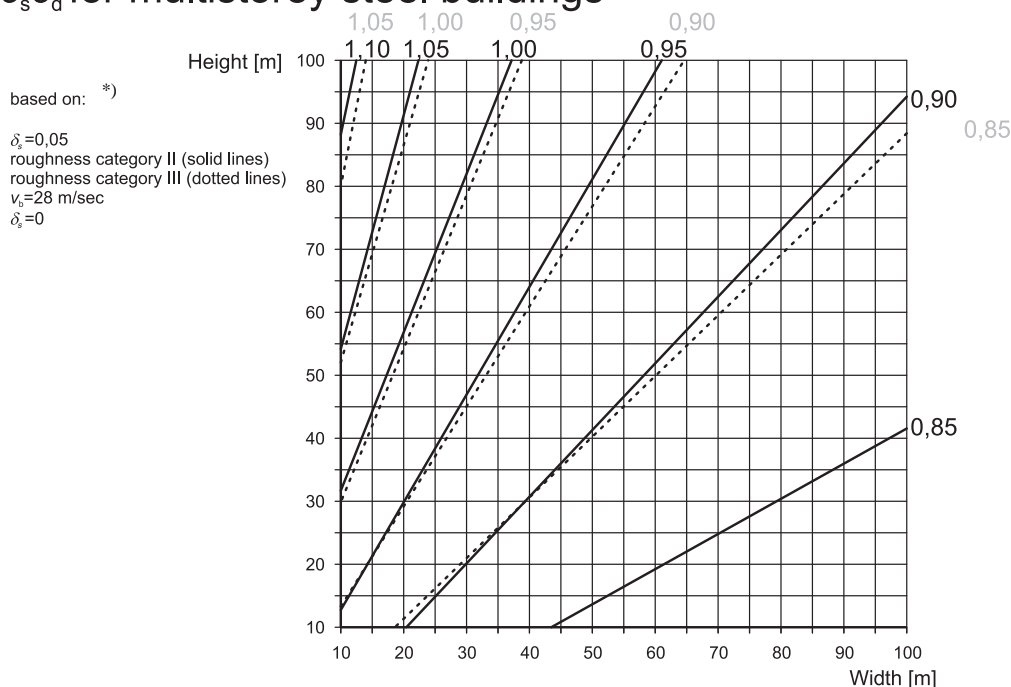
(3) As acelerações de pico características são obtidas multiplicando o desvio padrão referido em (2) pelo factor de pico que é obtido de B.2(3) utilizando a frequência própria como valor da frequência de passagens ascendentes, isto é,  $v = n_{1,x}$ .

## Anexo D (informativo)

### Valores de $c_s c_d$ para diferentes tipos de construções

(1) As frequências próprias e as configurações modais das construções apresentadas neste Anexo são determinadas a partir de análise linear ou estimadas através das expressões fornecidas no Anexo F.

#### $c_s c_d$ for multistorey steel buildings



#### Legenda:

$c_s c_d$  for multistorey steel buildings

Height ; Width

based on:

roughness category II (solid lines)

roughness category III (dotted lines)

$c_s c_d$  para edifícios de estrutura de aço com vários pisos

Altura ; Largura

com base em:

categoria de rugosidade II (traço cheio)

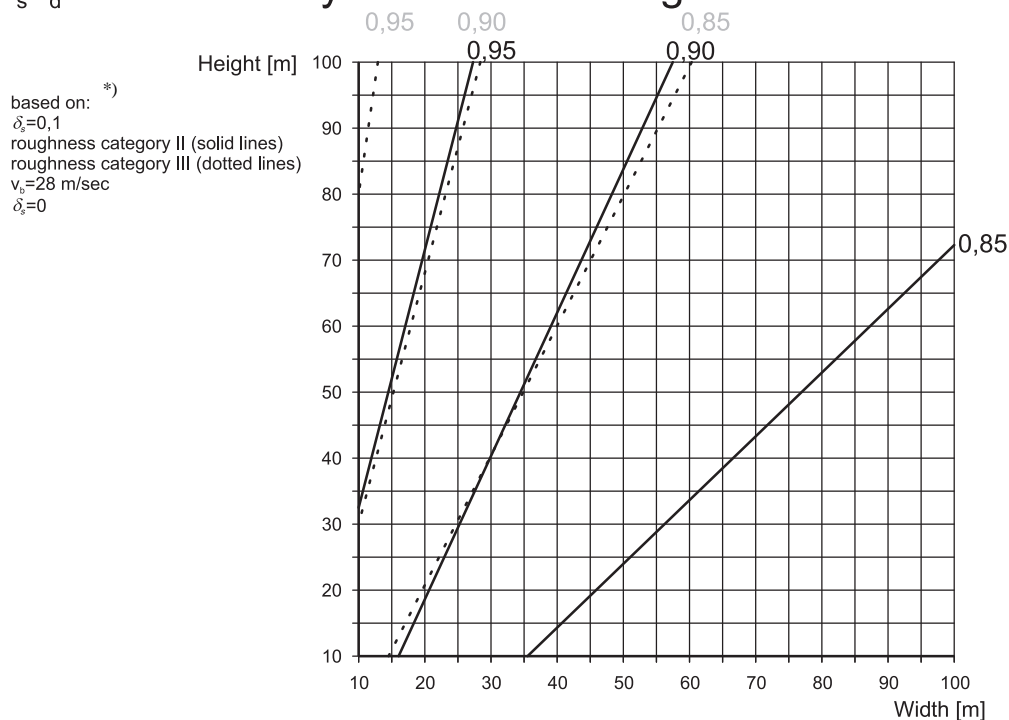
categoria de rugosidade III (traço pontead)

**NOTA:** Para valores superiores a 1,1, poderá aplicar-se o procedimento pormenorizado indicado em 6.3 (valor mínimo aprovado de  $c_s c_d = 0,85$ ).

Figura D.1 –  $c_s c_d$  para edifícios de estrutura de aço com vários pisos, de planta rectangular e com paredes exteriores verticais, com uma distribuição regular de rigidez e de massa (frequência de acordo com a expressão (F.2))

\*) Onde está  $\delta_s = 0$  deve ler-se  $\delta_a = 0$  (nota nacional).

## $c_s c_d$ for multistorey concrete buildings



### Legenda:

$c_s c_d$  for multistorey concrete buildings

Height ; Width

based on:

roughness category II (solid lines)

roughness category III (dotted lines)

$c_s c_d$  para edifícios de estrutura de betão com vários pisos

Altura ; Largura

com base em:

categoria de rugosidade II (traço cheio)

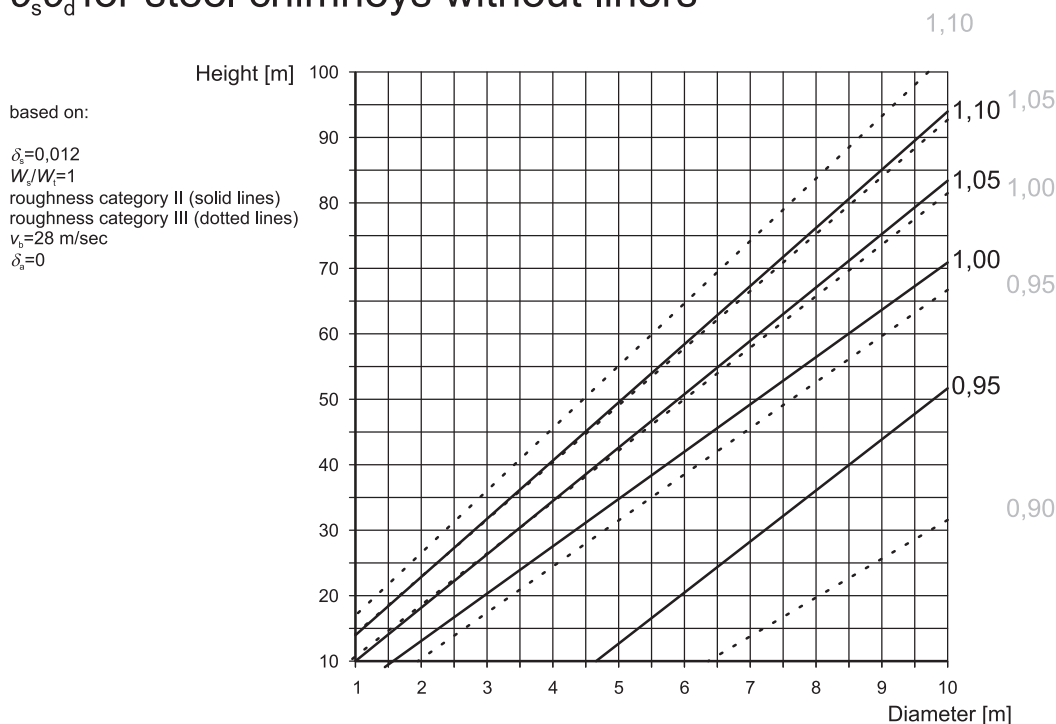
categoria de rugosidade III (traço ponteadado)

**NOTA:** Para valores superiores a 1,1, poderá aplicar-se o procedimento pormenorizado indicado em 6.3 (valor mínimo aprovado de  $c_s c_d = 0,85$ ).

Figura D.2 –  $c_s c_d$  para edifícios de estrutura de betão com vários pisos, de planta rectangular e com paredes exteriores verticais, com uma distribuição regular de rigidez e de massa (frequência de acordo com a expressão (F.2))

\*) Onde está  $\delta_s = 0$  deve ler-se  $\delta_s = 0$  (nota nacional).

## $c_s c_d$ for steel chimneys without liners



### Legenda:

$c_s c_d$  for steel chimneys without liners

Height ; Diameter

based on:

roughness category II (solid lines)

roughness category III (dotted lines)

$c_s c_d$  para chaminés de aço sem forros de conduta

Altura ; Diâmetro

com base em:

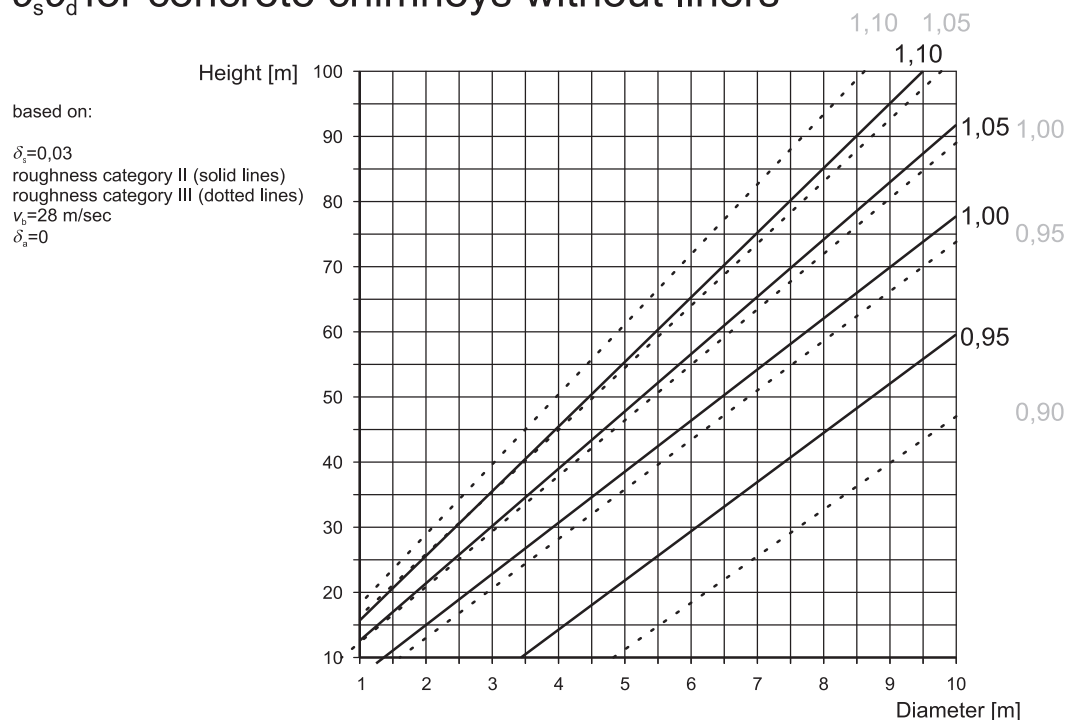
categoria de rugosidade II (traço cheio)

categoria de rugosidade III (traço ponteadado)

**NOTA:** Para valores superiores a 1,1, poderá aplicar-se o procedimento pormenorizado indicado em 6.3 (valor mínimo aprovado de  $c_s c_d = 0,85$ ).

Figura D.3 –  $c_s c_d$  para chaminés de aço sem forros de conduta (frequência de acordo com a expressão (F.3), com  $\varepsilon_1 = 1000$  e  $W_s/W_t = 1,0$ )

## $c_s c_d$ for concrete chimneys without liners



### Legenda:

$c_s c_d$  for concrete chimneys without liners

Height ; Diameter

based on:

roughness category II (solid lines)

roughness category III (dotted lines)

$c_s c_d$  para chaminés de betão sem forros de conduta

Altura ; Diâmetro

com base em:

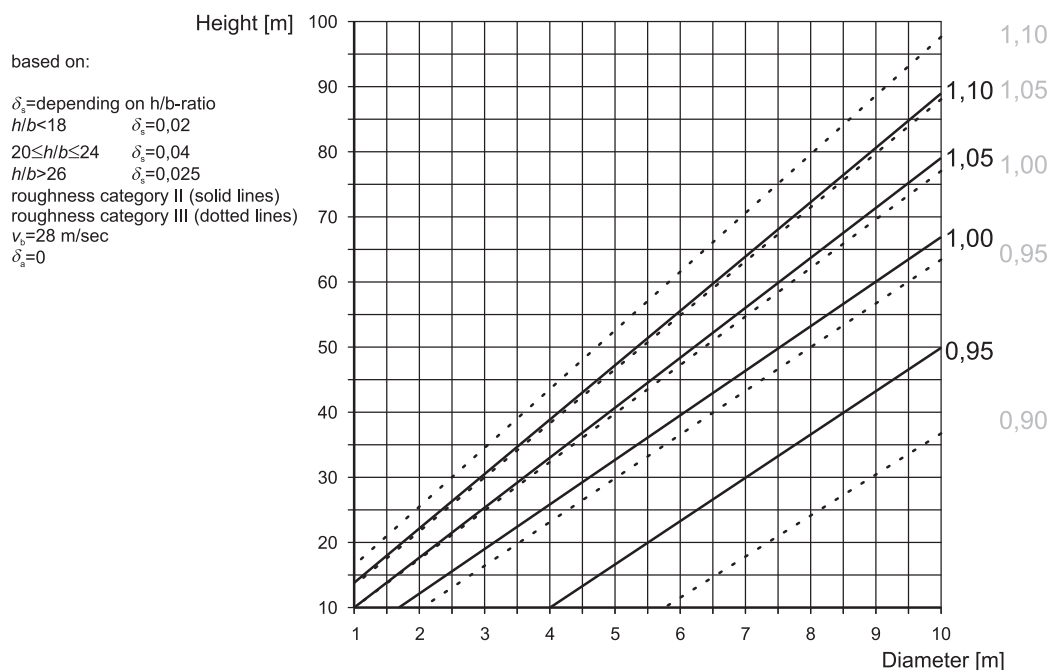
categoria de rugosidade II (traço cheio)

categoria de rugosidade III (traço ponteadado)

**NOTA:** Para valores superiores a 1,1, poderá aplicar-se o procedimento pormenorizado indicado em 6.3 (valor mínimo aprovado de  $c_s c_d = 0,85$ ).

Figura D.4 –  $c_s c_d$  para chaminés de betão sem forros de conduta (frequência de acordo com a expressão (F.3), com  $\varepsilon_i = 700$  e  $W_s/W_i = 1,0$ )

## $c_s c_d$ for steel chimneys with liners



### Legenda:

$c_s c_d$  for steel chimneys with liners

Height ; Diameter

based on:

depending on  $h/b$ -ratio

roughness category II (solid lines)

roughness category III (dotted lines)

$c_s c_d$  para chaminés de aço com forros de conduta

Altura ; Diâmetro

com base em:

função da relação  $h/b$

categoria de rugosidade II (traço cheio)

categoria de rugosidade III (traço ponteados)

**NOTA:** Para valores superiores a 1,1, poderá aplicar-se o procedimento pormenorizado indicado em 6.3 (valor mínimo aprovado de  $c_s c_d = 0,85$ ).

Figura D.5 –  $c_s c_d$  para chaminés de aço com forros de conduta e com diferentes valores de  $\delta_s$  conforme o Quadro F.2 (frequência de acordo com a expressão (F.3), com  $\varepsilon_1 = 1000$  e  $W_s/W_t = 0,5$ )



## **Anexo E**

(informativo)

### **Desprendimento de vórtices e instabilidades aeroelásticas**

#### **E.1 Desprendimento de vórtices**

##### **E.1.1 Generalidades**

(1) O desprendimento alternado de vórtices a partir dos lados opostos de uma construção origina uma força de intensidade variável e perpendicular à direcção do vento. Poderão ocorrer vibrações da estrutura se a frequência de desprendimento de vórtices for igual a uma frequência própria da estrutura. Esta condição verifica-se quando a velocidade do vento é igual à velocidade crítica definida em E.1.3.1. Geralmente, a velocidade crítica do vento é uma velocidade do vento observada frequentemente, pelo que, em resultado do número de ciclos de carregamento, a fadiga poderá tornar-se relevante.

(2) A resposta (da estrutura) induzida pelo desprendimento de vórtices é constituída por uma resposta de banda larga, a qual ocorre quer haja ou não movimento da estrutura, e por uma resposta de banda estreita, originada por uma força aerodinâmica induzida pelo movimento.

*NOTA 1: A resposta de banda larga é geralmente mais importante em estruturas de betão armado e em estruturas metálicas pesadas.*

*NOTA 2: A resposta de banda estreita é geralmente mais importante em estruturas metálicas leves.*

##### **E.1.2 Critérios relativos ao desprendimento de vórtices**

(1) O efeito de desprendimento de vórtices deverá ser analisado quando o quociente entre a maior e a menor dimensão transversal da construção, ambas consideradas no plano perpendicular à direcção do vento, é superior a 6.

(2) Não é necessário analisar o efeito de desprendimento de vórtices quando

$$v_{\text{crit},i} > 1,25 \cdot v_m \quad (\text{E.1})$$

em que:

$v_{\text{crit},i}$  velocidade crítica do vento para o modo  $i$ , definida em E.1.3.1;

$v_m$  valor característico da velocidade média do vento referida a períodos de 10 min, especificada em 4.3.1(1), ao nível da secção transversal em que se desencadeia o desprendimento de vórtices (ver a Figura E.3).

##### **E.1.3 Parâmetros fundamentais relativos ao desprendimento de vórtices**

###### **E.1.3.1 Velocidade crítica do vento $v_{\text{crit},i}$**

(1) A velocidade crítica do vento para o modo de vibração em flexão  $i$  é definida como a velocidade do vento à qual a frequência de desprendimento de vórtices é igual à frequência própria (modo  $i$ ) da estrutura ou do elemento estrutural; é obtida pela expressão (E.2):

$$v_{\text{crit},i} = \frac{b \cdot n_{i,y}}{St} \quad (\text{E.2})$$

em que:

$b$  largura de referência da secção transversal na qual ocorre desprendimento de vórtices em ressonância e onde o deslocamento modal é máximo, relativamente à construção ou ao elemento estrutural considerado; no caso de cilindros de base circular, a largura de referência é o diâmetro exterior;

$n_{i,y}$  frequência própria do modo  $i$  de vibração em flexão na direcção transversal ao vento; em F.2 são fornecidos valores aproximados de  $n_{1,y}$ ;

$St$  número de Strouhal, definido em E.1.3.2.

(2) A velocidade crítica do vento para o modo de vibração por ovalização  $i$  em cascas cilíndricas é definida como a velocidade do vento para a qual o dobro da frequência de desprendimento de vórtices é igual à frequência própria do modo de ovalização  $i$  da casca cilíndrica; é obtida pela expressão (E.3):

$$v_{\text{crit},i} = \frac{b \cdot n_{i,o}}{2 \cdot St} \quad (\text{E.3})$$

em que:

$b$  diâmetro exterior da casca;

$St$  número de Strouhal, definido em E.1.3.2;

$n_{i,o}$  frequência própria do modo de ovalização  $i$  da casca.

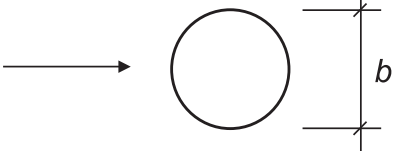
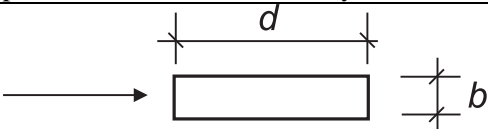
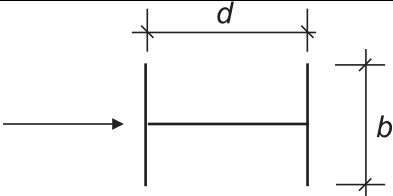
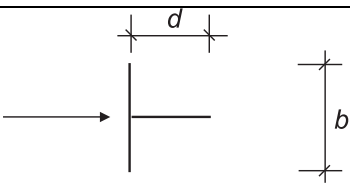
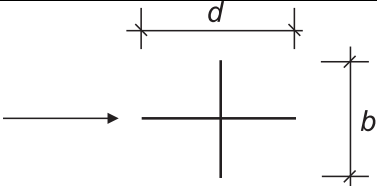
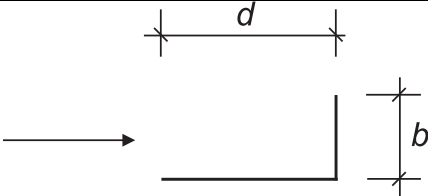
**NOTA 1:** Para cascas sem anéis de rigidez,  $n_0$  é fornecido em F.2(3).

**NOTA 2:** Os métodos de cálculo das vibrações de ovalização não são tratados no Anexo E.

### E.1.3.2 Número de Strouhal $St$

O número de Strouhal  $St$  aplicável a diversas secções transversais poderá ser obtido do Quadro E.1.

Quadro E.1 – Números de Strouhal  $St$  para diversas secções transversais

Secção transversal		$St$
 para todos os números de Reynolds, $Re$		0,18
 $0,5 \leq d/b \leq 10$		ver a Figura E.1
 interpolação linear	$d/b = 1$ $d/b = 1,5$ $d/b = 2$	0,11 0,10 0,14
 interpolação linear	$d/b = 1$ $d/b = 2$	0,13 0,08
 interpolação linear	$d/b = 1$ $d/b = 2$	0,16 0,12
 interpolação linear	$d/b = 1,3$ $d/b = 2,0$	0,11 0,07
<b>NOTA:</b> Não são permitidas extrapolações do número de Strouhal em função de $d/b$ .		

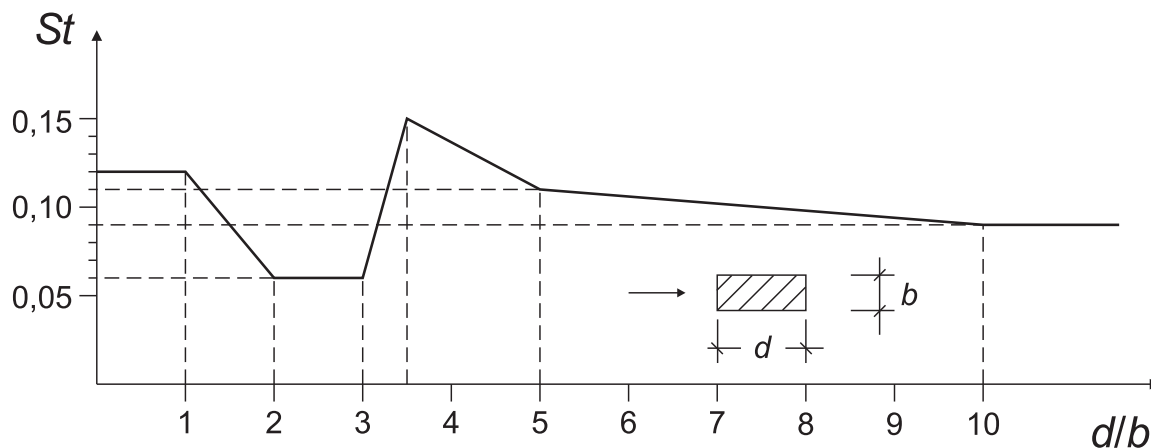


Figura E.1 – Número de Strouhal ( $St$ ) para secções transversais rectangulares com arestas vivas

#### E.1.3.3 Número de Scruton $Sc$

(1) A susceptibilidade às vibrações depende do amortecimento estrutural e da relação entre a massa estrutural e a massa associada ao fluido. Esta dependência é expressa pelo número de Scruton  $Sc$ , obtido pela expressão (E.4):

$$Sc = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot m_{i,e}}{\rho \cdot b^2} \quad (E.4)$$

em que:

$\delta_s$  amortecimento estrutural, expresso pelo decremento logarítmico;

$\rho$  massa volúmica do ar nas condições de desprendimento de vórtices;

$m_{i,e}$  massa equivalente por unidade de comprimento,  $m_e$ , para o modo  $i$ , definida em F.4(1);

$b$  largura de referência da secção transversal na qual ocorre desprendimento de vórtices em ressonância.

**NOTA:** O valor da massa volúmica do ar,  $\rho$ , poderá ser fornecido no Anexo Nacional; o valor recomendado é  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

#### E.1.3.4 Número de Reynolds $Re$

(1) A acção de desprendimento de vórtices num cilindro de base circular depende do número de Reynolds,  $Re$ , à velocidade crítica do vento,  $v_{crit,i}$ . O número de Reynolds é obtido pela expressão (E.5):

$$Re(v_{crit,i}) = \frac{b \cdot v_{crit,i}}{\nu} \quad (E.5)$$

em que:

$b$  diâmetro exterior do cilindro de base circular;

$\nu$  viscosidade cinemática do ar ( $\nu \approx 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ );

$v_{crit,i}$  velocidade crítica do vento, ver E.1.3.1.

#### **E.1.4 Acção de desprendimento de vórtices**

(1) O efeito das vibrações induzidas pelo desprendimento de vórtices deverá ser calculado a partir do efeito da força de inércia por unidade de comprimento,  $F_w(s)$ , que actua perpendicularmente à direcção do vento na posição  $s$  da estrutura, a qual é obtida pela expressão (E.6):

$$F_w(s) = m(s) \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_{i,y})^2 \cdot \Phi_{i,y}(s) \cdot y_{F,\max} \quad (\text{E.6})$$

em que:

$m(s)$  massa oscilante da estrutura por unidade de comprimento [kg/m];

$n_{i,y}$  frequência própria da estrutura;

$\Phi_{i,y}(s)$  configuração modal da estrutura, normalizada com o valor 1 no ponto de deslocamento máximo;

$y_{F,\max}$  deslocamento máximo, ao longo do tempo, do ponto em que  $\Phi_{i,y}(s)$  é igual a 1; ver E.1.5.

#### **E.1.5 Cálculo da amplitude transversal ao vento**

##### **E.1.5.1 Generalidades**

(1) Em E.1.5.2 e E.1.5.3 são fornecidos dois métodos diferentes para calcular as amplitudes das vibrações, perpendiculares à direcção do vento, devidas ao desprendimento de vórtices.

**NOTA 1:** No Anexo Nacional poderão ser especificados o método de cálculo a utilizar ou procedimentos de cálculo alternativos.

**NOTA 2:** Não é possível uma comparação directa entre os métodos propostos em E.1.5.2 e E.1.5.3 pelo facto de os valores escolhidos para alguns dos parâmetros de cálculo corresponderem a condições ambientais diferentes. O Anexo Nacional poderá definir o domínio de aplicação de cada um dos métodos propostos.

**NOTA 3:** Não é permitido misturar os métodos definidos em E.1.5.2 e E.1.5.3, excepto se tal for especificamente referido no texto.

(2) O método definido em E.1.5.2 pode ser utilizado para vários tipos de estruturas e de configurações modais. Este método inclui os efeitos da turbulência e da rugosidade, e poderá ser utilizado para condições climáticas normais.

(3) O método definido em E.1.5.3 poderá ser utilizado no cálculo da resposta para vibrações no primeiro modo de estruturas em consola cujas dimensões, perpendicularmente ao vento, tenham uma distribuição regular ao longo do eixo principal da estrutura; as estruturas abrangidas são, tipicamente, as chaminés e os mastros. Este método não pode ser aplicado a estruturas dispostas em grupo ou em linha nem a cilindros acoplados. Este método permite considerar diferentes intensidades de turbulência, as quais poderão variar devido às condições meteorológicas. No caso de regiões com probabilidade elevada de serem sujeitas a frio muito intenso e em que possam ocorrer condições de escoamento estratificado (por exemplo, em zonas costeiras na Europa do Norte), poderá utilizar-se o método E.1.5.3.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá indicar as regiões em que poderão ocorrer situações de frio muito intenso e condições de escoamento estratificado. Para estas regiões, o método 2 definido em E.1.5.3 é mais adequado, e o Anexo Nacional poderá definir os parâmetros de cálculo apropriados (tais como  $K_a$  ou a intensidade de turbulência) que deverão ser utilizados com este método.

##### **E.1.5.2 Método 1 para o cálculo das amplitudes transversais ao vento**

###### **E.1.5.2.1 Cálculo dos deslocamentos**

O deslocamento máximo,  $y_{F,\max}$ , pode ser calculado pela expressão (E.7):

$$\frac{y_{F,\max}}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{Sc} \cdot K \cdot K_w \cdot c_{\text{lat}} \quad (\text{E.7})$$

em que:

$St$  número de Strouhal, indicado no Quadro E.1;

$Sc$  número de Scruton, indicado em E.1.3.3;

$K_w$  coeficiente de comprimento de correlação efectivo, indicado em E.1.5.2.4;

$K$  coeficiente de configuração modal, indicado em E.1.5.2.5;

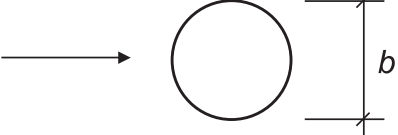
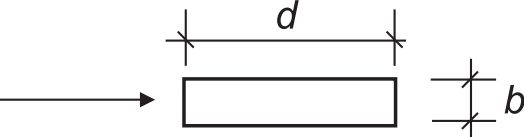
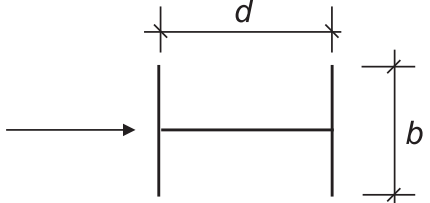
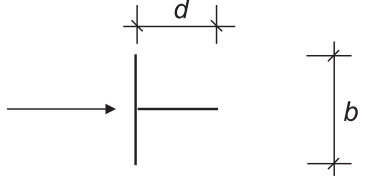
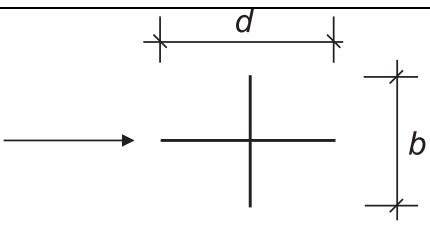
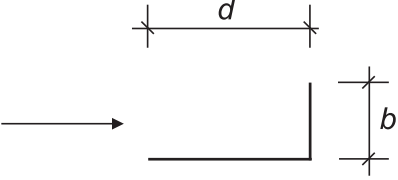
$c_{\text{lat}}$  coeficiente de força lateral, indicado no Quadro E.2.

**NOTA:** As forças aeroelásticas são tidas em conta pelo coeficiente de comprimento de correlação efectivo  $K_w$ .

#### **E.1.5.2.2 Coeficiente de força lateral, $c_{\text{lat}}$**

(1) O valor básico,  $c_{\text{lat},0}$ , do coeficiente de força lateral é fornecido no Quadro E.2.

Quadro E.2 – Valor básico do coeficiente de força lateral,  $c_{lat,0}$ , para diversas secções transversais

Secção transversal	$c_{lat,0}$
 para todos os números de Reynolds, $Re$	indicado na Figura E.2
 $0,5 \leq d/b \leq 10$	1,1
 interpolação linear	$d/b = 1$ 0,8 $d/b = 1,5$ 1,2 $d/b = 2$ 0,3
 interpolação linear	$d/b = 1$ 1,6 $d/b = 2$ 2,3
 interpolação linear	$d/b = 1$ 1,4 $d/b = 2$ 1,1
 interpolação linear	$d/b = 1,3$ 0,8 $d/b = 2,0$ 1,0
<b>NOTA:</b> Não são permitidas extrapolações do coeficiente de força lateral em função de $d/b$ .	

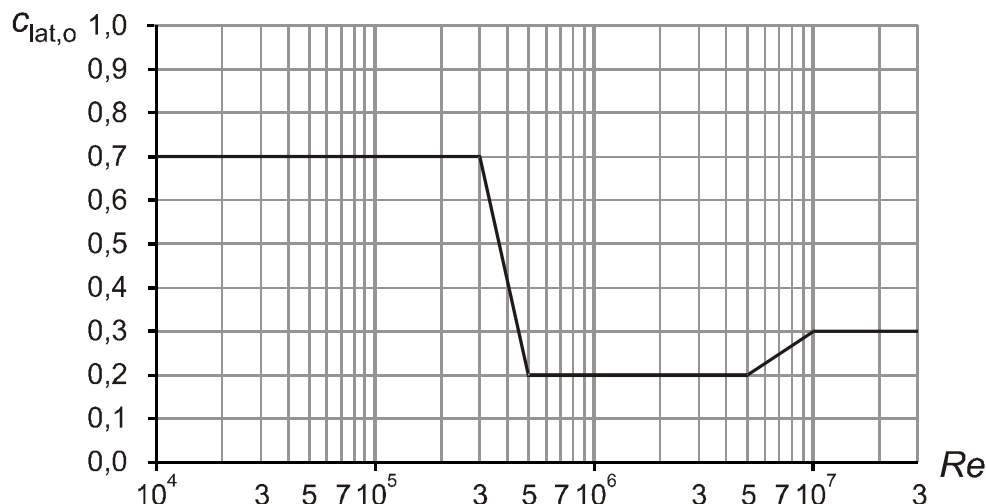


Figura E.2 – Valor básico do coeficiente de força lateral,  $c_{lat,0}$ , em função do número de Reynolds,  $Re(v_{crit,i})$ , para cilindros de base circular (ver E.1.3.4)

(2) O coeficiente de força lateral  $c_{lat}$  é fornecido no Quadro E.3.

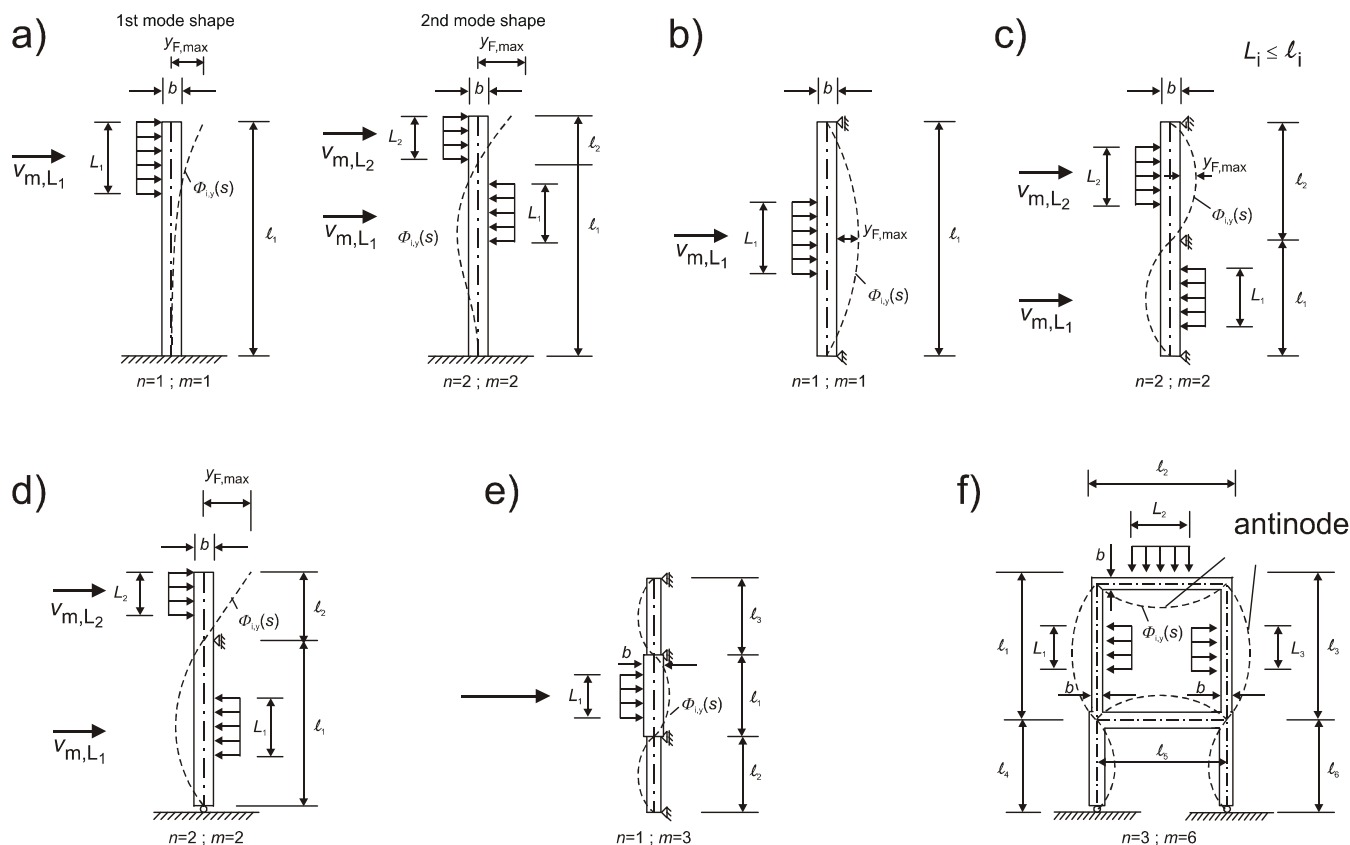
Quadro E.3 – Coeficiente de força lateral  $c_{lat}$  em função do *ratio* de velocidade crítica do vento,  $v_{crit,i}/v_{m,Lj}$

Relação $v_{crit,i}/v_{m,Lj}$	$c_{lat}$
$\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 0,83$	$c_{lat} = c_{lat,0}$
$0,83 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} < 1,25$	$c_{lat} = \left( 3 - 2,4 \cdot \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \right) \cdot c_{lat,0}$
$1,25 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}}$	$c_{lat} = 0$
em que: $c_{lat,0}$ valor básico de $c_{lat}$ fornecido no Quadro E.2 e, para cilindros de base circular, na Figura E.2; $v_{crit,i}$ velocidade crítica do vento (ver E.1.3.1); $v_{m,Lj}$ velocidade média do vento (ver 4.3.1) no centro do comprimento de correlação efectivo, definido na Figura E.3.	

#### E.1.5.2.3 Comprimento de correlação $L$

(1) O comprimento de correlação  $L_j$  deverá ser posicionado nas zonas entre nodos da configuração modal. Na Figura E.3 são apresentados exemplos. Para mastros espiados e pontes de tramos múltiplos com tabuleiro contínuo, é necessário recorrer a um parecer especializado.





**Legenda:**

1st mode shape      configuração do 1º modo de vibração  
2nd mode shape      configuração do 2º modo de vibração  
antinode              antinodo

**NOTA:** No caso de serem apresentados vários comprimentos de correlação, é conservativo, em termos de segurança, considerá-los em simultâneo, e deverá ser adoptado o valor mais elevado de  $c_{lat}$ .

Figura E.3 – Exemplos de aplicação do comprimento de correlação  $L_j$  ( $j = 1, 2, 3$ )

Quadro E.4 – Comprimento de correlação efectivo  $L_j$   
em função da amplitude de vibração  $y_F(s_j)$

$y_F(s_j)/b$	$L_j / b$
$< 0,1$	6
0,1 a 0,6	$4,8 + 12 \cdot \frac{y_F(s_j)}{b}$
$> 0,6$	12

**E.1.5.2.4 Coeficiente de comprimento de correlação efectivo  $K_W$** 

(1) O coeficiente de comprimento de correlação efectivo  $K_W$  é obtido pela expressão (E.8):

$$K_W = \frac{\sum_{j=1}^n \int_{L_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{\sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds} \leq 0,6 \quad (\text{E.8})$$

em que:

$\Phi_{i,y}$  configuração do modo de vibração  $i$  (ver F.3);

$L_j$  comprimento de correlação;

$\ell_j$  comprimento da estrutura entre dois nodos (ver a Figura E.3); para estruturas em consola, é igual à altura da estrutura;

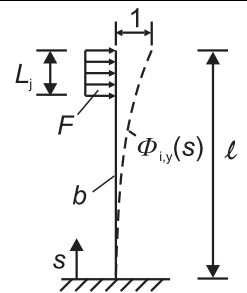
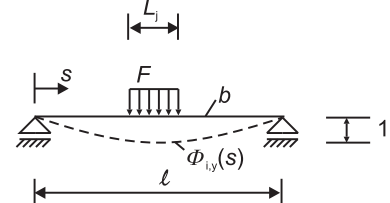
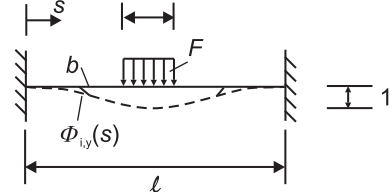
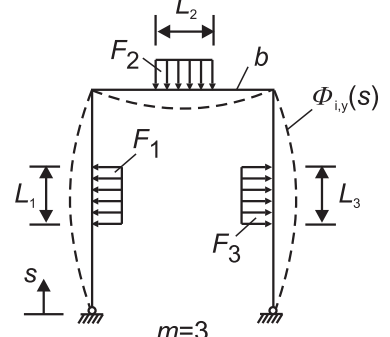
$n$  número de zonas em que, simultaneamente, ocorre excitação por desprendimento de vórtices (ver a Figura E.3);

$m$  número de antinodos da estrutura em vibração, na configuração modal considerada  $\Phi_{i,y}$ ;

$s$  coordenada definida no Quadro E.5.

(2) Para certas estruturas simples em vibração no modo fundamental transversal ao vento e com a força de excitação indicada no Quadro E.5, o coeficiente de comprimento de correlação efectivo  $K_W$  pode ser estimado através das expressões fornecidas no Quadro E.5.

Quadro E.5 – Coeficiente de comprimento de correlação  $K_W$  e coeficiente de configuração modal  $K$  para certas estruturas simples

Estrutura	Configuração modal $\Phi_{i,y}(s)$	$K_W$	$K$
	ver F.3 com $\zeta = 2,0$ $n = 1 ; m = 1$	$3 \cdot \frac{L_j/b}{\lambda} \cdot \left[ 1 - \frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{L_j/b}{\lambda} \right)^2 \right]$	0,13
	ver o Quadro F.1 $n = 1 ; m = 1$	$\cos \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \left( 1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$	0,10
	ver o Quadro F.1 $n = 1 ; m = 1$	$\frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{\pi} \cdot \text{sen} \left[ \pi \cdot \left( 1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$	0,11
	análise modal $n = 3$ $m = 3$	$\frac{\sum_{i=1}^n \int_{L_j}  \Phi_{i,y}(s)  ds}{\sum_{j=1}^m \int_{\ell_j}  \Phi_{i,y}(s)  ds}$	0,10
<p><b>NOTA 1:</b> A configuração modal, <math>\Phi_{i,y}(s)</math>, é a indicada em F.3. Os parâmetros <math>n</math> e <math>m</math> são definidos na expressão (E.8) e na Figura E.3.</p> <p><b>NOTA 2:</b> <math>\lambda = \ell/b</math>.</p>			

#### E.1.5.2.5 Coeficiente de configuração modal

(1) O coeficiente de configuração modal  $K$  é obtido pela expressão (E.9):

$$K = \frac{\sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{4 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} \Phi_{i,y}^2(s) ds} \quad (\text{E.9})$$

em que:

$m$  definido em E.1.5.2.4(1);

$\Phi_{i,y}(s)$  configuração do modo de vibração  $i$  transversal ao vento (ver F.3);

$\ell_j$  comprimento da estrutura entre dois nodos (ver a Figura E.3).

(2) O coeficiente de configuração modal é fornecido no Quadro E.5 para o caso de certas estruturas simples em vibração no modo fundamental transversal ao vento.

#### E.1.5.2.6 Número de ciclos de carregamento

(1) O número de ciclos de carregamento,  $N$ , devidos a oscilações provocadas por desprendimento de vórtices é obtido pela expressão (E.10):

$$N = 2 \cdot T \cdot n_y \cdot \varepsilon_0 \cdot \left( \frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \cdot \exp \left( - \left( \frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \right) \quad (\text{E.10})$$

em que:

$n_y$  frequência própria do modo de vibração transversal ao vento [Hz]; no Anexo F são fornecidos valores aproximados de  $n_y$ ;

$v_{\text{crit}}$  velocidade crítica do vento [m/s], fornecida em E.1.3.1;

$v_0$  igual a  $\sqrt{2}$  vezes o valor modal da distribuição de probabilidades de Weibull que é assumida para a velocidade do vento [m/s], ver a Nota 2;

$T$  tempo de vida expresso em segundos, igual ao produto de  $3,2 \times 10^7$  pelo tempo de vida previsto expresso em anos;

$\varepsilon_0$  factor de largura de banda, o qual descreve a banda de velocidades do vento em que ocorrem vibrações devidas ao desprendimento de vórtices, ver a Nota 3.

**NOTA 1:** O Anexo Nacional poderá especificar o valor mínimo de  $N$ ; é recomendado que  $N \geq 10^4$ .

**NOTA 2:** O valor de  $v_0$  pode ser considerado igual a 20 % do valor característico da velocidade média do vento, especificada em 4.3.1(1), à altura da secção transversal em que se desencadeia o desprendimento de vórtices.

**NOTA 3:** O factor de largura de banda  $\varepsilon_0$  situa-se entre 0,1 e 0,3; poderá ser considerado como  $\varepsilon_0 = 0,3$ .

### E.1.5.2.7 Ressonância por desprendimento de vórtices em cilindros verticais dispostos em linha ou em grupo

(1) No caso de cilindros de base circular dispostos em linha ou em grupo, com ou sem acoplamento (ver a Figura E.4), poderão ocorrer vibrações produzidas por desprendimento de vórtices.

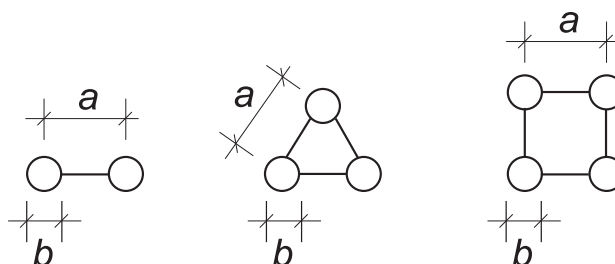


Figura E.4 – Cilindros dispostos em linha ou em grupo

(2) As amplitudes máximas de oscilação podem ser estimadas através da expressão (E.7) e do método de cálculo indicado em E.1.5.2 com as modificações fornecidas pelas expressões (E.11) e (E.12).

Para cilindros de base circular, dispostos em linha e não acoplados:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{lat}} &= 1,5 \cdot c_{\text{lat (single)}} & \text{para } 1 \leq \frac{a}{b} \leq 10 \\
 c_{\text{lat}} &= c_{\text{lat (single)}} & \text{para } \frac{a}{b} \geq 15 \\
 \text{interpolação linear} & & \text{para } 10 < \frac{a}{b} \leq 15 \\
 St &= 0,1 + 0,085 \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right) & \text{para } 1 \leq \frac{a}{b} \leq 9 \\
 St &= 0,18 & \text{para } \frac{a}{b} > 9
 \end{aligned} \tag{E.11}$$

em que:

$c_{\text{lat (single)}}$  =  $c_{\text{lat}}$  fornecido no Quadro E.3.

Para cilindros acoplados (ligados entre si):

$$c_{\text{lat}} = K_{\text{iv}} \cdot c_{\text{lat (single)}} \quad \text{para } 1,0 \leq a/b \leq 3,0 \tag{E.12}$$

em que:

$K_{\text{iv}}$  coeficiente de interferência para o desprendimento de vórtices (ver o Quadro E.8);

$St$  número de Strouhal, indicado no Quadro E.8;

$Sc$  número de Scruton, indicado no Quadro E.8.

Para cilindros acoplados com  $a/b > 3,0$ , é recomendado o recurso a um parecer especializado.

**NOTA:** O factor  $1,5 \cdot c_{\text{lat}}$  para cilindros de base circular não acoplados é uma aproximação pouco precisa; em termos de segurança, é expectável que seja conservativa.

### **E.1.5.3 Método 2 para o cálculo das amplitudes transversais ao vento**

(1) O deslocamento máximo característico, no ponto com maior amplitude de movimento, é fornecido pela expressão (E.13):

$$y_{\max} = \sigma_y \cdot k_p \quad (\text{E.13})$$

em que:

$\sigma_y$  desvio padrão do deslocamento, ver (2);

$k_p$  factor de pico, ver (6).

(2) No ponto com maior amplitude de movimento ( $\Phi = 1$ ), o desvio padrão  $\sigma_y$  do deslocamento, referido à largura  $b$ , pode ser calculado através da expressão (E.14):

$$\frac{\sigma_y}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{C_c}{\sqrt{\frac{Sc}{4 \cdot \pi} - K_a \cdot \left(1 - \left(\frac{\sigma_y}{b \cdot a_L}\right)^2\right)}} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot b^2}{m_e}} \cdot \sqrt{\frac{b}{h}} \quad (\text{E.14})$$

em que:

$C_c$  coeficiente aerodinâmico função da forma da secção transversal assim como, para um cilindro de base circular, do número de Reynolds  $Re$  definido em E.1.3.4(1); fornecido no Quadro E.6;

$K_a$  coeficiente de amortecimento aerodinâmico, indicado em E.1.5.3(4);

$a_L$  amplitude limite normalizada, correspondente ao deslocamento de estruturas com amortecimento muito reduzido; fornecida no Quadro E.6;

$Sc$  número de Scruton, fornecido em E.1.3.3;

$St$  número de Strouhal, fornecido no Quadro E.1;

$\rho$  massa volúmica do ar nas condições de desprendimento de vórtices, ver a Nota 1;

$m_e$  massa efectiva por unidade de comprimento; indicada em F.4(1);

$h, b$  altura e largura da construção. No caso de construções de largura variável, a largura a considerar é a do ponto com maiores deslocamentos.

**NOTA 1:** O valor da massa volúmica do ar,  $\rho$ , poderá ser fornecido no Anexo Nacional; o valor recomendado é  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

**NOTA 2:** O coeficiente aerodinâmico  $C_c$  depende da força de sustentação que actua sobre a estrutura suposta imóvel.

**NOTA 3:** As forças aerodinâmicas induzidas pelo movimento são tidas em conta através de  $K_a$  e de  $a_L$ .

(3) A solução da expressão (E.14) é obtida pela expressão (E.15):

$$\left(\frac{\sigma_y}{b}\right)^2 = c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2} \quad (\text{E.15})$$

em que as constantes  $c_1$  e  $c_2$  são obtidas por:

$$c_1 = \frac{a_L^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{Sc}{4 \cdot \pi \cdot K_a}\right); \quad c_2 = \frac{\rho \cdot b^2}{m_e} \cdot \frac{a_L^2}{K_a} \cdot \frac{C_c^2}{St^4} \cdot \frac{b}{h} \quad (\text{E.16})$$

(4) O coeficiente de amortecimento aerodinâmico  $K_a$  diminui com o aumento da intensidade de turbulência. Para uma intensidade de turbulência igual a 0 %, este coeficiente de amortecimento aerodinâmico poderá ser considerado como  $K_a = K_{a,max}$ , o qual é fornecido no Quadro E.6.

**NOTA:** A utilização de  $K_{a,max}$  para intensidades de turbulência superiores a 0 % conduz a estimativas conservativas dos deslocamentos. No Anexo Nacional poderão ser especificadas informações mais detalhadas sobre a influência da intensidade de turbulência em  $K_a$ .

(5) No Quadro E.6 são fornecidos os valores de  $C_c$ ,  $K_{a,max}$  e  $a_L$  para um cilindro de base circular e para uma secção transversal quadrada.

Quadro E.6 – Coeficientes para a determinação do efeito de desprendimento de vórtices

Coeficiente	Cilindro de base circular $Re \leq 10^5$	Cilindro de base circular $Re = 5 \cdot 10^5$	Cilindro de base circular $Re \geq 10^6$	Secção transversal quadrada
$C_c$	0,02	0,005	0,01	0,04
$K_{a,max}$	2	0,5	1	6
$a_L$	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>NOTA:</b> No caso de cilindros de base circular, admite-se que os coeficientes $C_c$ e $K_{a,max}$ variam linearmente com o logaritmo do número de Reynolds para $10^5 < Re < 5 \cdot 10^5$ e para $5 \cdot 10^5 < Re < 10^6$ .				

(6) Deverá determinar-se o factor de pico,  $k_p$ .

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá especificar o factor de pico; a expressão (E.17) fornece o valor recomendado.

$$k_p = \sqrt{2} \times \left\{ 1 + 1,2 \times \arctan \left( 0,75 \left( \frac{Sc}{4 \times \pi \times K_a} \right)^4 \right) \right\} \quad (E.17)$$

(7) O número de ciclos de carregamento poderá ser obtido através de E.1.5.2.6 utilizando um factor de largura de banda  $\varepsilon_0 = 0,15$ .

## E.1.6 Medidas susceptíveis de reduzir as vibrações devidas ao desprendimento de vórtices

(1) As amplitudes devidas ao desprendimento de vórtices poderão ser reduzidas através de dispositivos aerodinâmicos (apenas em certas condições, como, por exemplo, valores do número de Scruton superiores a 8) ou através de dispositivos de amortecimento aplicados na estrutura. Para uma estrutura de secção transversal circular equipada com dispositivos aerodinâmicos, o coeficiente de arrastamento  $c_f$ , referido ao diâmetro básico  $b$ , poderá aumentar até um valor de 1,4. Ambas as aplicações requerem um parecer especializado.

(2) Para informações mais amplas, ver os códigos aplicáveis a estruturas especiais.

## E.2 Galope

### E.2.1 Generalidades

(1) O galope consiste numa vibração auto-induzida de uma estrutura flexível segundo um modo de flexão transversal à direcção do vento. As secções transversais não circulares, incluindo as secções em L, em I, em

U e em T, são propensas à ocorrência de galope. O gelo poderá causar que uma secção transversal estável, à partida, se torne instável.

(2) A oscilação devida ao galope tem início com uma velocidade particular do vento,  $v_{CG}$ , e, normalmente, a sua amplitude aumenta rapidamente com o aumento da velocidade do vento.

### **E.2.2 Velocidade do vento de início do galope**

(1) A velocidade do vento de início do galope,  $v_{CG}$ , é obtida pela expressão (E.18):

$$v_{CG} = \frac{2 \cdot Sc}{a_G} \cdot n_{1,y} \cdot b \quad (\text{E.18})$$

em que:

$Sc$  número de Scruton, definido em E.1.3.3(1);

$n_{1,y}$  frequência do modo fundamental, transversal ao vento, da estrutura; em F.2 são fornecidos valores aproximados de  $n_{1,y}$ ;

$b$  largura definida no Quadro E.7;

$a_G$  coeficiente de instabilidade por galope (ver o Quadro E.7); se este coeficiente não for conhecido, poderá utilizar-se o valor  $a_G = 10$ .

(2) Deverá ser respeitada a seguinte condição:

$$v_{CG} > 1,25 \cdot v_m \quad (\text{E.19})$$

em que:

$v_m$  velocidade média do vento conforme é definida pela expressão (4.3) e calculada à altura em que se prevê o desencadeamento do galope, sendo expectável que esta corresponda à do ponto com máxima amplitude de oscilação.

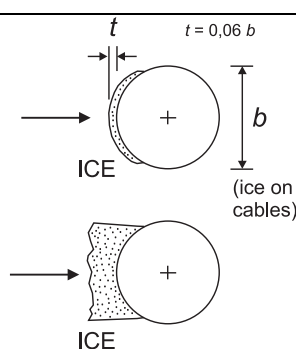
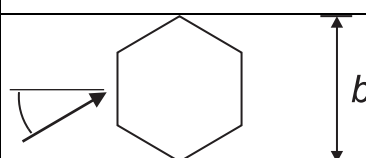
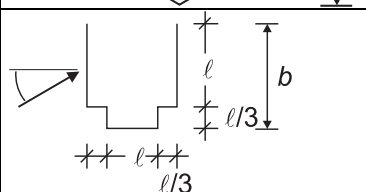
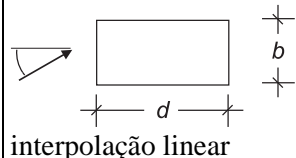
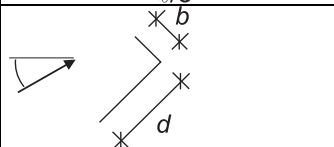
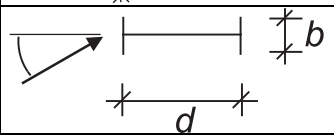
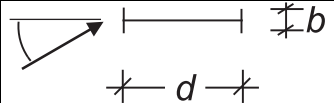
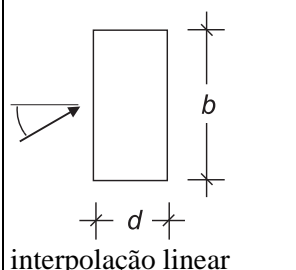
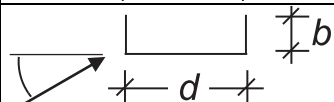
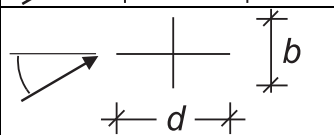
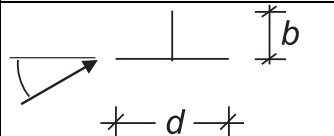
(3) Se a velocidade crítica de desprendimento de vórtices,  $v_{crit}$ , for próxima da velocidade do vento de início do galope,  $v_{CG}$ :

$$0,7 < \frac{v_{CG}}{v_{crit}} < 1,5 \quad (\text{E.20})$$

é muito provável que ocorram efeitos de interacção entre o desprendimento de vórtices e o galope. Neste caso, é recomendado o recurso a um parecer especializado.



Quadro E.7 – Coeficiente de instabilidade por galope  $a_G$

Secção transversal		Coeficiente de instabilidade por galope $a_G$	Secção transversal		Coeficiente de instabilidade por galope $a_G$
		1,0			1,0
					4
 interpolação linear	$d/b=2$	2		$d/b=2$	0,7
	$d/b=1,5$	1,7		$d/b=2,7$	5
	$d/b=1$	1,2		$d/b=5$	7
 interpolação linear	$d/b=2/3$	1		$d/b=3$	7,5
	$d/b=1/2$	0,7		$d/b=3/4$	3,2
	$d/b=1/3$	0,4		$d/b=2$	1

NOTA: Não são permitidas extrapolações do coeficiente  $a_G$  em função de  $d/b$ .

**NOTA:** Não são permitidas extrapolações do coeficiente  $a_G$  em função de  $d/b$ .

**Legenda:**

Ice on cables      Gelo em cabos

**E.2.3 Galope clássico em cilindros acoplados**

(1) Em cilindros acoplados (ver a Figura E.4) poderá ocorrer galope clássico.

(2) A velocidade do vento de início do galope clássico em cilindros acoplados,  $v_{CG}$ , poderá ser estimada através da expressão (E.21):

$$v_{CG} = \frac{2 \cdot Sc}{a_G} \cdot n_{1,y} \cdot b \quad (E.21)$$

em que  $Sc$ ,  $a_G$  e  $b$  são indicados no Quadro E.8 e  $n_{1,y}$  é a frequência própria do modo de flexão (ver F.2).

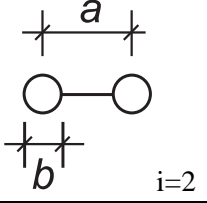
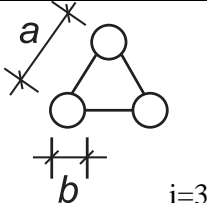
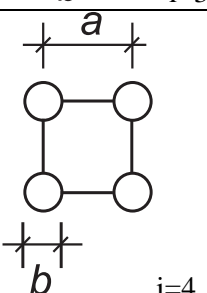
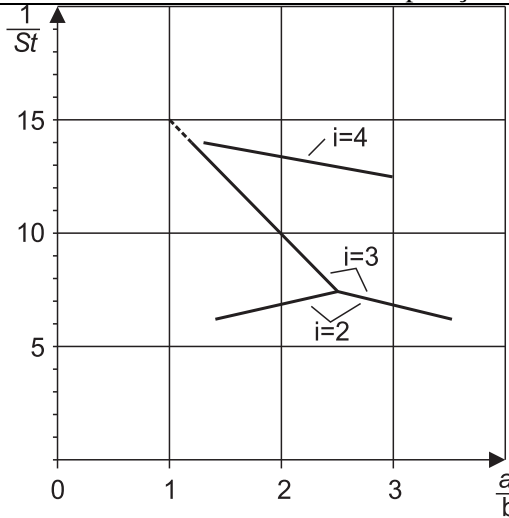
(3) Deverá ser respeitada a seguinte condição:

$$v_{CG} > 1,25 \cdot v_m(z) \quad (E.22)$$

em que:

$v_m(z)$  velocidade média do vento conforme é definida pela expressão (4.3) e calculada à altura em que se prevê o desencadeamento do galope, sendo expectável que esta corresponda à do ponto com máxima amplitude de oscilação.

Quadro E.8 – Dados relativos ao cálculo da resposta, transversal ao vento, de cilindros acoplados dispostos em linha ou em grupo

Cilindros acoplados	Número de Scruton $Sc = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot \Sigma m_{i,y}}{\rho \cdot b^2}$ (comparar com a expressão (E.4))			
	$a/b = 1$	$a/b \geq 2$	$a/b \leq 1,5$	$a/b \geq 2,5$
	$K_{iv} = 1,5$	$K_{iv} = 1,5$	$a_G = 1,5$	$a_G = 3,0$
	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$	$a_G = 6,0$	$a_G = 3,0$
	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$	$a_G = 1,0$	$a_G = 2,0$
interpolação linear				
 <p>Inverso do número de Strouhal para cilindros acoplados dispostos em linha ou em grupo</p>				

### E.3 Galope de interferência de dois ou mais cilindros independentes

(1) O galope de interferência consiste numa oscilação auto-induzida que poderá ocorrer se dois ou mais cilindros estiverem dispostos próximos entre si sem estarem acoplados.

(2) Se o ângulo de ataque do vento estiver contido na gama de valores da direcção crítica do vento,  $\beta_k$ , e se  $a/b < 3$  (ver a Figura E.5), a velocidade crítica do vento,  $v_{\text{CIG}}$ , poderá ser estimada através de:

$$v_{\text{CIG}} = 3,5 \cdot n_{1,y} \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\frac{a}{b} \cdot Sc}{a_{\text{IG}}}} \quad (\text{E.23})$$

em que:

$Sc$  número de Scruton, definido em E.1.3.3(1);

$a_{\text{IG}}$  parâmetro de estabilidade combinada,  $a_{\text{IG}} = 3,0$ ;

$n_{1,y}$  frequência fundamental do modo transversal ao vento; em F.2 são indicados valores aproximados;

$a$  espaçamento;

$b$  diâmetro.

**NOTA:** O Anexo Nacional poderá fornecer orientações adicionais relativamente a  $a_{\text{IG}}$ .

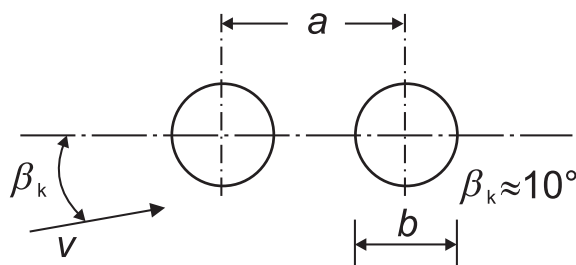


Figura E.5 – Parâmetros geométricos para o galope de interferência

(3) O galope de interferência pode ser evitado através do acoplamento dos cilindros. Nesse caso, poderá ocorrer galope clássico (ver E.2.3).

### E.4 Divergência e drapejamento (*flutter*)

#### E.4.1 Generalidades

(1) A divergência e o drapejamento (*flutter*) são instabilidades que ocorrem no caso de estruturas flexíveis do tipo "placa", como painéis de sinalização ou tabuleiros de pontes suspensas, acima de um certo limiar da velocidade do vento (velocidade crítica). A instabilidade é devida às modificações das características aerodinâmicas da estrutura, e consequentemente das próprias acções exercidas pelo vento, em resultado da sua deflexão.

(2) A divergência e o drapejamento (*flutter*) deverão ser evitados.

(3) Os procedimentos indicados a seguir fornecem um meio de avaliação da susceptibilidade de uma estrutura em termos de critérios estruturais simples. No caso de estes critérios não serem satisfeitos, é recomendado o recurso a um parecer especializado.

#### E.4.2 Critérios relativos a estruturas do tipo "placa"

(1) Para que uma estrutura seja propensa à divergência ou ao drapejamento (*flutter*), deve satisfazer o conjunto dos três critérios a seguir indicados. Estes critérios deverão ser verificados pela ordem apresentada (o mais simples em primeiro lugar), e se algum dos critérios não for satisfeito a estrutura não será propensa nem à divergência nem ao drapejamento (*flutter*).

- A estrutura, ou uma parte significativa da mesma, tem uma secção transversal alongada (como uma placa plana), com  $b/d$  inferior a 0,25 (ver a Figura E.6).
- O eixo de torção é paralelo ao plano da placa e é perpendicular à direcção do vento, e o centro de torção está localizado a uma distância de, pelo menos,  $d/4$  (para sotavento) do bordo de barlavento da placa, sendo  $d$  a profundidade da placa na direcção do vento, medida perpendicularmente ao eixo de torção. Esta disposição inclui os casos correntes em que o centro de torção coincide com o centro geométrico, por exemplo painéis de sinalização ou coberturas isoladas com suporte central, bem como os casos em que o centro de torção se localiza no bordo de sotavento, tais como coberturas isoladas em consola.
- A menor frequência própria corresponde a um modo de torção, ou a menor frequência própria de torção é inferior ao dobro da menor frequência própria de translação (flexão).

#### E.4.3 Velocidade de divergência

(1) A velocidade crítica do vento em relação à divergência é calculada pela expressão (E.24):

$$v_{\text{div}} = \left[ \frac{2 \cdot k_{\Theta}}{\rho \cdot d^2 \cdot \frac{dc_M}{d\Theta}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{E.24})$$

em que:

$k_{\Theta}$  rigidez de torção;

$c_M$  coeficiente de momento aerodinâmico, calculado pela expressão (E.25):

$$c_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot d^2} \quad (\text{E.25})$$

$dc_M/d\Theta$  taxa de variação do coeficiente de momento aerodinâmico em relação à rotação em torno do centro de torção;  $\Theta$  é expresso em radianos;

$M$  momento aerodinâmico por unidade de comprimento da estrutura;

$\rho$  massa volúmica do ar, indicada em 4.5;

$d$  profundidade da estrutura na direcção do vento (corda); ver a Figura E.6;

$b$  largura, conforme é definida na Figura E.6.

(2) Na Figura E.6 são fornecidos valores de  $dc_M/d\theta$  para várias secções rectangulares, referidos ao respectivo centro geométrico.

(3) Deverá ser respeitada a seguinte condição:

$$v_{\text{div}} > 2 \cdot v_m(z_s) \quad (\text{E.26})$$

em que:

$v_m(z_s)$  velocidade média do vento, definida pela expressão (4.3), à altura  $z_s$  (definida na Figura 6.1).

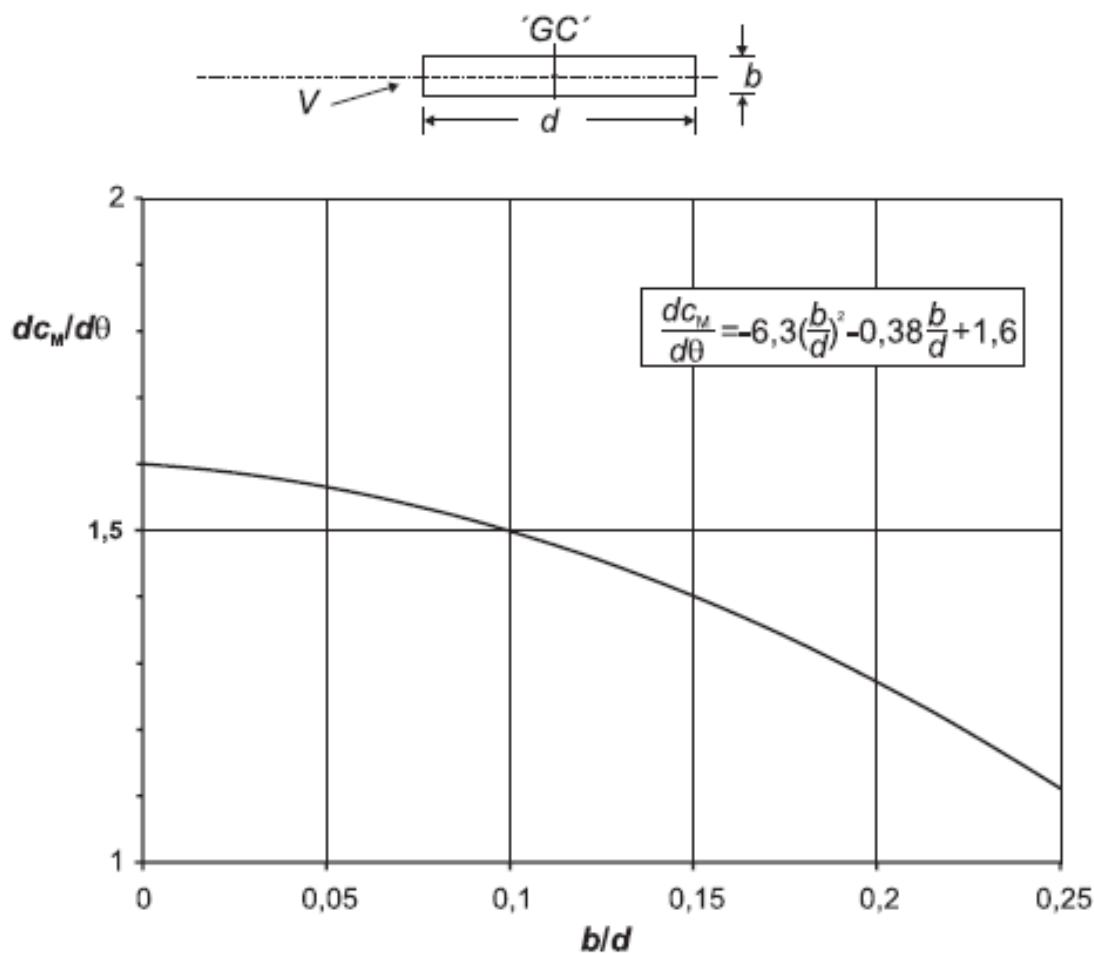


Figura E.6 – Taxa de variação do coeficiente de momento aerodinâmico,  $dc_M/d\theta$ , de secções rectangulares, referido ao centro geométrico "GC"

## **Anexo F**

### **(informativo)**

## **Características dinâmicas das estruturas**

### **F.1 Generalidades**

(1) Os procedimentos de cálculo recomendados neste Anexo admitem que as estruturas apresentam um comportamento elástico linear assim como modos de vibração normais clássicos. Por conseguinte, as propriedades estruturais dinâmicas são caracterizadas através:

- das frequências próprias;
- das configurações modais;
- das massas equivalentes;
- dos decrementos logarítmicos de amortecimento.

(2) As frequências próprias, as configurações modais, as massas equivalentes e os decrementos logarítmicos de amortecimento deverão ser avaliados, teoricamente ou experimentalmente, por aplicação dos métodos de dinâmica estrutural.

(3) As propriedades dinâmicas fundamentais podem ser estimadas através de expressões simplificadas analíticas, semi-empíricas ou empíricas, desde que devidamente comprovadas; em F.2 a F.5 são fornecidas algumas destas expressões.

### **F.2 Frequência fundamental**

(1) Para estruturas em consola com uma massa na extremidade, uma expressão simplificada para o cálculo da frequência fundamental de flexão,  $n_1$ , é obtida pela expressão (F.1):

$$n_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{x_1}} \quad (\text{F.1})$$

em que:

$g$  aceleração devida à gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>;

$x_1$  deslocamento máximo devido ao peso próprio aplicado na direcção de vibração, em [m].

(2) A frequência fundamental de flexão,  $n_1$ , de edifícios com vários pisos e de altura superior a 50 m pode ser estimada através da expressão (F.2):

$$n_1 = \frac{46}{h} \text{ [Hz]} \quad (\text{F.2})$$

em que:

$h$  altura da estrutura, em [m].

A mesma expressão poderá fornecer indicações úteis para edifícios com um piso e para torres.

(3) A frequência fundamental de flexão,  $n_1$ , de chaminés pode ser estimada através da expressão (F.3):

$$n_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{h_{\text{eff}}^2} \cdot \sqrt{\frac{W_s}{W_t}} \quad [\text{Hz}] \quad (\text{F.3})$$

com:

$$h_{\text{eff}} = h_1 + \frac{h_2}{3} \quad (\text{F.4})$$

em que:

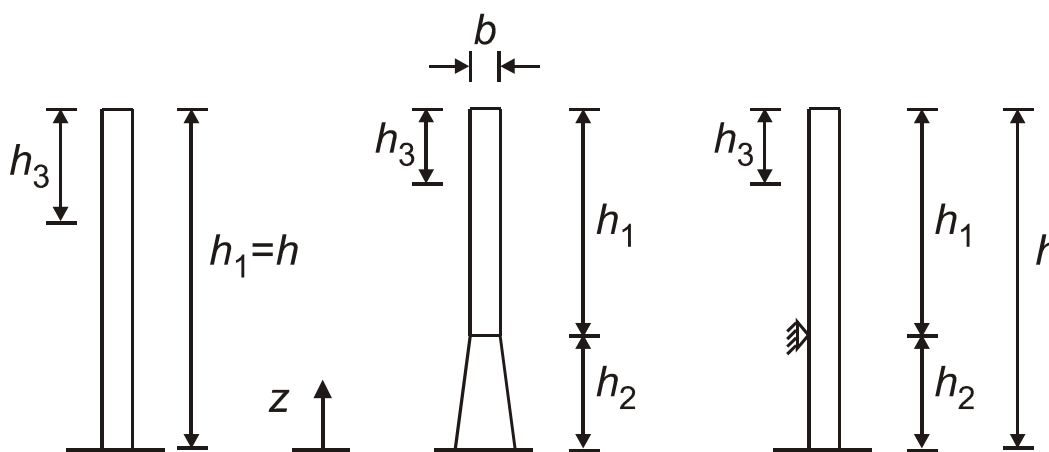
$b$  diâmetro da chaminé no topo [m];

$h_{\text{eff}}$  altura equivalente da chaminé [m],  $h_1$  e  $h_2$  são fornecidos na Figura F.1;

$W_s$  peso dos elementos estruturais que contribuem para a rigidez da chaminé;

$W_t$  peso total da chaminé;

$\varepsilon_1$  igual a 1000 para chaminés de aço e a 700 para chaminés de betão ou de alvenaria.



**NOTA:**  $h_3 = h_1/3$ , ver F.4(2).

Figura F.1 – Parâmetros geométricos de chaminés

(4) A frequência fundamental de ovalização,  $n_{1,0}$ , de cascas cilíndricas longas sem anéis de rigidez poderá ser calculada através da expressão (F.5):

$$n_{1,0} = 0,492 \cdot \sqrt{\frac{t^3 \cdot E}{\mu_s \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^4}} \quad (\text{F.5})$$

em que:

$E$  módulo de Young, em  $[\text{N/m}^2]$ ;

$t$  espessura da casca, em [m];

$\nu$  coeficiente de Poisson;



$\mu_s$  massa da casca por unidade de área, em [kg/m<sup>2</sup>];

$b$  diâmetro da casca, em [m].

A expressão (F.5) fornece a menor frequência própria da casca. A existência de anéis de rigidez faz aumentar  $n_0$ .

(5) Em pontes com tabuleiro de vigas de alma cheia ou com tabuleiro em caixão, a frequência fundamental de flexão vertical,  $n_{1,B}$ , poderá ser estimada através da expressão (F.6):

$$n_{1,B} = \frac{K^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_b}{m}} \quad (F.6)$$

em que:

$L$  comprimento do tramo principal, em [m];

$E$  módulo de Young, em [N/m<sup>2</sup>];

$I_b$  momento de inércia da secção transversal, para a flexão vertical, a meio vão, em [m<sup>4</sup>];

$m$  massa por unidade de comprimento da secção transversal completa a meio vão (para todas as cargas permanentes), em [kg/m];

$K$  factor adimensional dependente da disposição dos tramos, a seguir definido.

a) Para pontes de um tramo:

$K = \pi$  tramo simplesmente apoiado;

$K = 3,9$  tramo em consola;

$K = 4,7$  tramo encastrado nos dois apoios.

b) Para pontes de dois tramos com tabuleiro contínuo:

$K$  é obtido da Figura F.2, utilizando a curva relativa a pontes de dois tramos e considerando:

$L_1$  comprimento do tramo lateral e  $L \geq L_1$ .

c) Para pontes de três tramos com tabuleiro contínuo:

$K$  é obtido da Figura F.2, utilizando a curva apropriada relativa a pontes de três tramos e considerando:

$L_1$  comprimento do tramo lateral mais comprido;

$L_2$  comprimento do outro tramo lateral e  $L \geq L_1 \geq L_2$ .

Esta disposição também se aplica a pontes de três tramos com um tramo principal suspenso (viga Gerber).

Se  $L_1 > L$ , o factor  $K$  poderá ser obtido através da curva relativa a pontes de dois tramos, ignorando o tramo lateral mais curto e considerando o tramo lateral mais comprido como o tramo principal de uma ponte equivalente de dois tramos.

- d) No caso de pontes de quatro tramos com tabuleiro contínuo simétrico (isto é, simétrico em relação ao apoio central):

$K$  poderá ser obtido utilizando a curva relativa a pontes de dois tramos na Figura F.2, considerando cada metade da ponte como uma ponte equivalente de dois tramos.

- e) No caso de pontes de quatro tramos com tabuleiro contínuo não simétrico e de pontes com mais de quatro tramos com tabuleiro contínuo:

$K$  poderá ser obtido da Figura F.2 utilizando a curva apropriada relativa a pontes de três tramos, escolhendo como tramo principal o maior tramo interior.

**NOTA 1:** A expressão (F.6) não deverá ser utilizada se o valor de  $\sqrt{\frac{EI_b}{m}}$  ao nível dos apoios for superior ao dobro do valor a meio vão ou se for inferior a 80 % deste mesmo valor, a não ser que seja suficiente considerar valores muito aproximados.

**NOTA 2:** Deverá ser utilizado um conjunto consistente de variáveis (no plano dimensional) por forma a obter  $n_{1,B}$  expresso em ciclos por segundo.

(6) Em pontes com tabuleiro de vigas de alma cheia, a frequência fundamental de torção é igual à frequência fundamental de flexão calculada através da expressão (F.6) desde que o momento de inércia médio, por unidade de largura, relativo à flexão longitudinal não seja inferior a 100 vezes o momento de inércia médio, por unidade de comprimento, relativo à flexão transversal.

(7) Em pontes com tabuleiro em caixão, a frequência fundamental de torção poderá ser estimada através da expressão (F.7):

$$n_{1,T} = n_{1,B} \cdot \sqrt{P_1 \cdot (P_2 + P_3)} \quad (F.7)$$

com:

$$P_1 = \frac{m \cdot b^2}{I_p} \quad (F.8)$$

$$P_2 = \frac{\sum r_j^2 \cdot I_j}{b^2 \cdot I_p} \quad (F.9)$$

$$P_3 = \frac{L^2 \cdot \sum J_j}{2 \cdot K^2 \cdot b^2 \cdot I_p \cdot (1 + \nu)} \quad (F.10)$$

em que:

$n_{1,B}$  frequência fundamental de flexão, em [Hz];

$b$  largura total da ponte;

$m$  massa por unidade de comprimento, definida em F.2(5);

$\nu$  coeficiente de Poisson do material das vigas;

$r_j$  distância entre o eixo do caixão individual  $j$  e o eixo da ponte;

$I_j$  momento mássico de inércia por unidade de comprimento do caixão individual  $j$  para flexão vertical a meio vão, incluindo uma largura efectiva, associada, da laje do tabuleiro;

$I_p$  momento mássico de inércia por unidade de comprimento da secção transversal a meio vão; é descrito pela expressão (F.11):

$$I_p = \frac{m_d \cdot b^2}{12} + \sum (I_{pj} + m_j \cdot r_j^2) \quad (F.11)$$

em que:

$m_d$  massa por unidade de comprimento unicamente da laje do tabuleiro, a meio vão;

$I_{pj}$  momento mássico de inércia do caixão individual  $j$  a meio vão;

$m_j$  massa por unidade de comprimento unicamente do caixão individual  $j$  a meio vão, sem parte associada da laje do tabuleiro;

$J_j$  constante de torção do caixão individual  $j$  a meio vão; é descrita pela expressão (F.12):

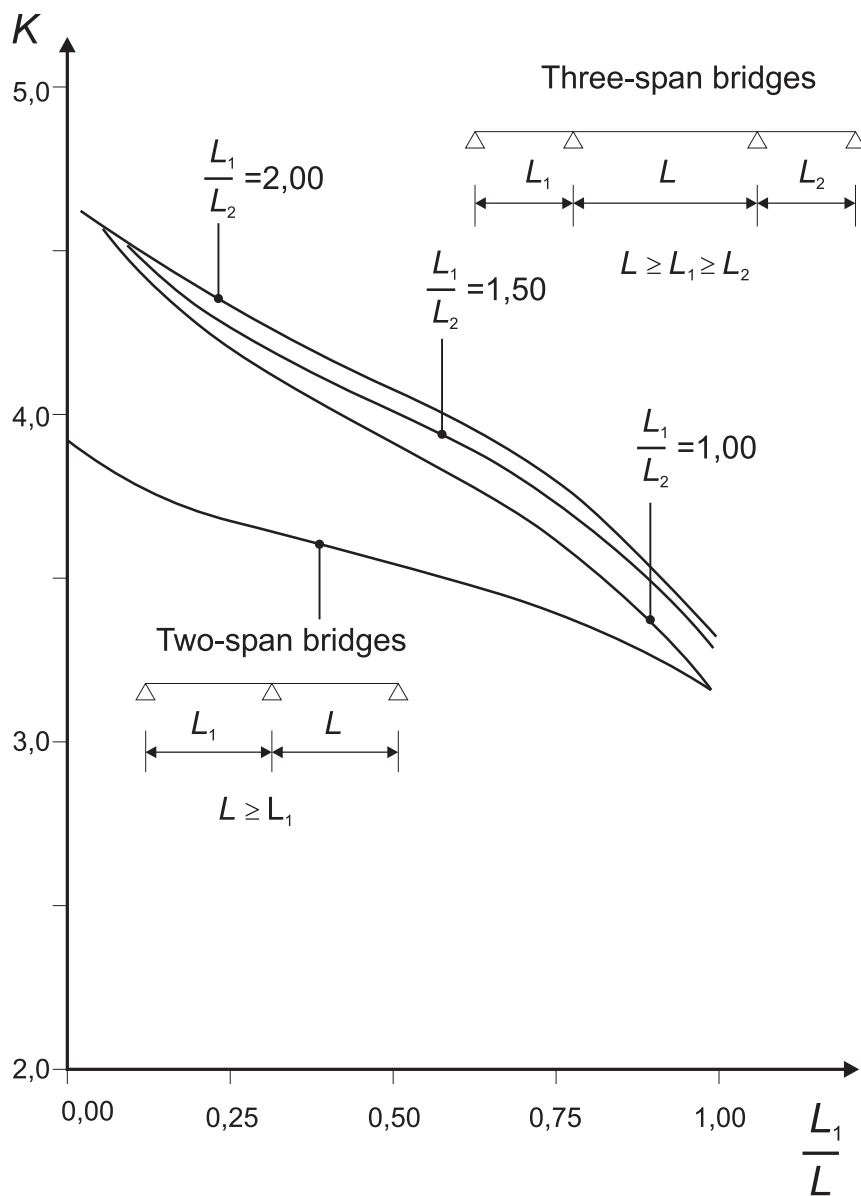
$$J_j = \frac{4 \cdot A_j^2}{\oint \frac{ds}{t}} \quad (F.12)$$

em que:

$A_j$  área da superfície fechada delimitada pelo caixão, a meio vão;

$\oint \frac{ds}{t}$  integral ao longo do perímetro do caixão da relação comprimento/espessura para cada troço de parede do caixão, a meio vão.

**NOTA:** Se a expressão proposta (F.12) for aplicada a pontes de caixões múltiplos cuja relação de forma em planta (=vão/largura) seja superior a 6, poderá ocorrer uma ligeira perda de precisão.



**Legenda:**

Three-span bridges	Pontes de três tramos
Two-span bridges	Pontes de dois tramos

Figura F.2 – Factor  $K$  utilizado para o cálculo da frequência fundamental de flexão

### F.3 Configuração do modo fundamental de vibração

(1) O modo fundamental de flexão  $\Phi_1(z)$  de edifícios, torres e chaminés em consola a partir do solo poderá ser estimado através da expressão (F.13), ver a Figura F.3:

$$\Phi_1(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\zeta \quad (\text{F.13})$$

em que:

$\zeta = 0,6$  para estruturas porticadas esbeltas com elementos de revestimento ou paredes não resistentes;

$\zeta = 1,0$  para edifícios com um núcleo central complementado por pilares periféricos ou com pilares de maior dimensão complementados por elementos de contraventamento;

$\zeta = 1,5$  para edifícios em torre esbeltos e edifícios suportados por núcleos centrais de betão armado;

$\zeta = 2,0$  para torres e chaminés;

$\zeta = 2,5$  para torres de aço reticuladas.

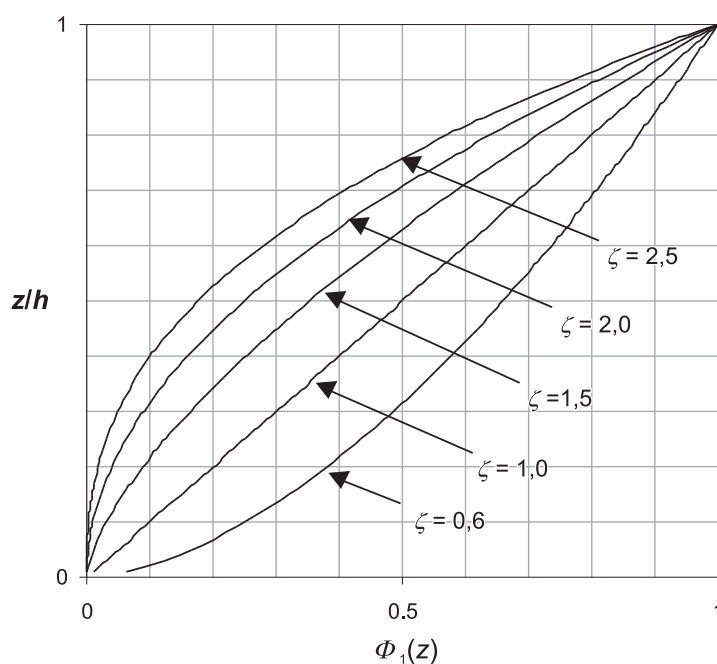
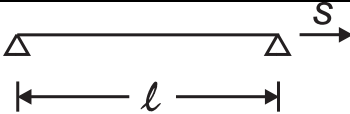
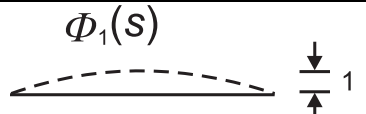
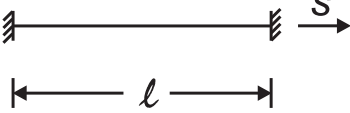
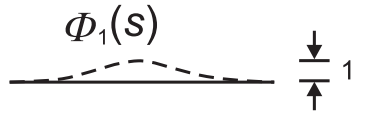


Figura F.3 – Configuração do modo fundamental de flexão em edifícios, torres e chaminés em consola a partir do solo

(2) O modo fundamental de flexão vertical  $\Phi_1(s)$  de pontes poderá ser estimado conforme é indicado no Quadro F.1.

Quadro F.1 – Configuração do modo fundamental de flexão vertical para estruturas e elementos estruturais simplesmente apoiados ou encastrados

Esquema	Configuração modal	$\Phi_1(s)$
		$\sin\left(\pi \cdot \frac{s}{\ell}\right)$
		$\frac{1}{2} \cdot \left[1 - \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{s}{\ell}\right)\right]$

## F.4 Massa equivalente

(1) A massa equivalente por unidade de comprimento,  $m_e$ , relativa ao modo fundamental é fornecida pela expressão (F.14):

$$m_e = \frac{\int_0^{\ell} m(s) \cdot \Phi_1^2(s) ds}{\int_0^{\ell} \Phi_1^2(s) ds} \quad (\text{F.14})$$

em que:

$m$  massa por unidade de comprimento;

$\ell$  altura ou vão da estrutura ou do elemento estrutural;

$i = 1$  número do modo.

(2) Para estruturas em consola com uma distribuição de massa variável,  $m_e$  poderá ser estimado pelo valor médio de  $m$  no terço superior da estrutura,  $h_3$  (ver a Figura F.1).

(3) No caso de estruturas apoiadas em ambas as extremidades do vão  $\ell$  e com uma distribuição variável da massa por unidade de comprimento,  $m_e$  poderá ser estimado pelo valor médio de  $m$  ao longo de um comprimento igual a  $\ell/3$  centrado no ponto da estrutura em que  $\Phi(s)$  é máximo (ver o Quadro F.1).

## F.5 Decremento logarítmico de amortecimento

(1) O decremento logarítmico de amortecimento,  $\delta$ , relativo ao modo fundamental de flexão poderá ser estimado através da expressão (F.15):

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (\text{F.15})$$

em que:

$\delta_s$  decremento logarítmico de amortecimento estrutural;

$\delta_a$  decremento logarítmico de amortecimento aerodinâmico para o modo fundamental;

$\delta_d$  decremento logarítmico de amortecimento devido a dispositivos especiais (amortecedores de massa sintonizados (*tuned mass dampers*), amortecedores de movimento de líquido (*sloshing tanks*), etc.).

(2) No Quadro F.2 são fornecidos valores aproximados do decremento logarítmico de amortecimento estrutural,  $\delta_s$ .

(3) O decremento logarítmico de amortecimento aerodinâmico,  $\delta_a$ , para o modo fundamental de flexão na direcção do vento poderá ser estimado através da expressão (F.16):

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot \mu_e} \quad (\text{F.16})$$

em que:

$c_f$  coeficiente de força para a acção do vento na direcção deste, indicado na secção 7;

$\mu_e$  massa equivalente por unidade de área da construção, a qual, para superfícies rectangulares, é fornecida pela expressão (F.17):

$$\mu_e = \frac{\int_0^h \int_0^b \mu(y, z) \cdot \Phi_1^2(y, z) \, dy \, dz}{\int_0^h \int_0^b \Phi_1^2(y, z) \, dy \, dz} \quad (\text{F.17})$$

em que:

$\mu(y, z)$  massa por unidade de área da construção;

$\Phi_1(y, z)$  configuração do modo de vibração.

A massa por unidade de área da construção no ponto de maior amplitude da configuração modal constitui, geralmente, uma boa aproximação de  $\mu_e$ .

(4) Na maioria dos casos, os deslocamentos modais  $\Phi(y, z)$  são constantes para cada altura  $z^*$  e, em vez da expressão (F.16), o decremento logarítmico de amortecimento aerodinâmico,  $\delta_a$ , para as vibrações na direcção do vento poderá ser estimado através da expressão (F.18):

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} \quad (\text{F.18})$$

(5) Se na estrutura forem adoptados dispositivos dissipativos especiais,  $\delta_d$  deverá ser calculado através de métodos adequados, teóricos ou experimentais.

---

<sup>\*)</sup> Isto é,  $\Phi(y, z)$  é independente de  $z$  (nota nacional).

Quadro F.2 – Valores aproximados do decremento logarítmico de amortecimento estrutural relativo ao modo fundamental,  $\delta_s$

Tipo de estrutura		Amortecimento estrutural, $\delta_s$
edifícios de betão armado		0,10
edifícios de aço		0,05
estruturas mistas betão + aço		0,08
torres e chaminés de betão armado		0,03
chaminés de aço com ligações soldadas, sem revestimento interior e sem isolamento térmico exterior		0,012
chaminés de aço com ligações soldadas, sem revestimento interior e com isolamento térmico exterior		0,020
chaminé de aço com um forro de conduta e com isolamento térmico exterior <sup>a)</sup>	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,014
chaminé de aço com dois ou mais forros de conduta e com isolamento térmico exterior <sup>a)</sup>	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,025
chaminé de aço com forro de conduta em alvenaria de tijolo		0,070
chaminé de aço com argamassa projectada ("gunite") no interior		0,030
chaminés acopladas sem forro de conduta		0,015
chaminé de aço espiada sem forro de conduta		0,04
pontes de aço + torres de aço reticuladas	com ligações soldadas	0,02
	com ligações de parafusos de alta resistência	0,03
	com ligações de parafusos correntes	0,05
pontes mistas		0,04
pontes de betão	pré-esforçadas, sem fissuração	0,04
	com fissuração	0,10
pontes de madeira		0,06 - 0,12
pontes de ligas de alumínio		0,02
pontes de plástico reforçado com fibras ou vidro		0,04 - 0,08
cabos	de fios paralelos	0,006
	de cordões	0,020
<b>NOTA:</b> Os valores relativos a compósitos de matriz polimérica e madeira são apenas indicativos. Nos casos em que, no projecto, os efeitos aerodinâmicos se revelem significativos, é necessário obter informações mais precisas através de um parecer especializado (com o acordo, caso se aplique, da autoridade competente).		
<sup>a)</sup> Para valores intermédios de $h/b$ , poderá ser efectuada uma interpolação linear.		



## **Bibliografia**

- ISO 2394     *General principles on reliability for structures*
- ISO 3898     *Bases for design of structures – Notations – General symbols*
- ISO 8930     *General principles on reliability for structures – List of equivalent terms*
- EN 12811-1   *Temporary works equipment – Part 1: Scaffolds – Performance requirements and general design*
- ISO 12494     *Atmospheric icing of structures*

## **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 1991-1-4:2010 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 1991-1-4:2010 – “Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-4: Acções gerais – Acções do vento”, as quais se referem aos seguintes aspectos:

- a) Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP);
- b) utilização dos Anexos informativos;
- c) informações complementares não contraditórias.

### **NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP)**

#### **NA.2.1 – Generalidades**

Os Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) relativos aos Princípios e 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, os Princípios e 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 – Princípios e Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional**

Relativamente a:

– 4.1(1)	– 7.2.9(2)	– 8.3(1)
– 4.3.1(1), Notas 1 e 2	– 7.2.10(3), Notas 1 e 2	– 8.3.1(2)
– 4.4(1), Nota 2	– 7.4.1(1)	– 8.3.4(1)
– 4.5(1), Nota 2	– 7.4.3(2)	– 8.4.2(1)
– 5.3(5)	– 7.6(1), Nota 1	– E.1.3.3(1)
– 6.1(1)	– 7.7(1), Nota 1	– E.1.5.1(1), Nota 2
– 7.1.2(2)	– 7.8(1)	– E.1.5.1(3)
– 7.2.1(1), Nota 2	– 7.10(1), Nota 1	– E.1.5.2.6(1), Nota 1
– 7.2.2(1)	– 7.11(1), Nota 2	– E.1.5.3(2), Nota 1
– 7.2.2(2), Nota 1	– 7.13(1)	– E.1.5.3(6)
– 7.2.8(1)	– 8.1(1), Nota 2	– E.3(2)

prescinde-se de introduzir prescrições a nível nacional, devendo adoptar-se as correspondentes prescrições constantes desta Norma e, se tal for o caso, os procedimentos ou os valores aí recomendados.

### **NA.2.3 – Princípios e Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional**

#### **a) NA–1.5(2)**

A título suplementar, é possível recorrer a ensaios em túnel de vento e a alguns métodos numéricos particulares a fim de obter informações relativas à acção do vento e à resposta estrutural.

No que diz respeito à utilização de métodos numéricos, realça-se que, em geral, devem estar comprovados ou devidamente validados; nestes termos, não é recomendado que no projecto de estruturas sejam utilizados valores de pico de pressões ou de forças baseados em valores calculados por métodos enquadrados no domínio da dinâmica computacional de fluidos, em face das limitações que tais métodos ainda apresentam no que diz respeito à simulação dos efeitos do vento atmosférico em estruturas.

#### **b) NA–4.2(1)P, Nota 2**

Para efeitos da quantificação do valor básico da velocidade de referência do vento,  $v_{b,0}$ , considera-se o País dividido nas duas zonas seguintes:

Zona A - a generalidade do território, excepto as regiões pertencentes à zona B;

Zona B - os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600 m.

O valor de  $v_{b,0}$  a ser considerado para cada uma das zonas do País é o constante do Quadro seguinte:

Quadro NA.I – Valor básico da velocidade de referência do vento

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]
A	27
B	30

#### **c) NA–4.2(2)P, Nota 1**

Em Portugal, a influência da altitude no valor de referência da velocidade do vento é tida em conta no zonamento do País (ver NA–4.2(1)P, Nota 2).

#### **d) NA–4.2(2)P, Nota 2**

Em geral, o valor a adoptar para o coeficiente de direcção,  $c_{dir}$ , é igual a 1,0. Não obstante, em situações tais que o efeito em causa esteja associado a uma direcção particular do vento e que a esta correspondam velocidades claramente inferiores às máximas no local – facto a ser justificado com base em dados estatísticos do regime de ventos na zona em causa e, eventualmente, com recurso a ensaios em túnel de vento ou modelação numérica adequada –, poderá ser considerada uma redução na velocidade de referência mas limitada a 15 % do valor básico, ou seja,  $c_{dir} \geq 0,85$ .

**e) NA-4.2(2)P, Nota 3**

Nos casos em que a situação de projecto a ser considerada ocorra integralmente entre Maio e Agosto do mesmo ano – por exemplo, uma estrutura provisória ou fases construtivas de uma estrutura –, poderá ser considerada uma redução na velocidade de referência mas limitada a 10 % do valor básico, ou seja,  $c_{season} \geq 0,90$ .

**f) NA-4.2(2)P, Nota 5**

Na expressão (4.2) devem adoptar-se os seguintes valores:  $K = 0,11$  e  $n = 1,0$ .

**g) NA-4.3.2(1)**

O coeficiente de rugosidade deve ser determinado através do procedimento recomendado na presente Norma tendo em consideração as quatro categorias de terreno caracterizadas no Quadro NA-4.1, o qual substitui o Quadro 4.1.

Quadro NA-4.1 – Categorias de terreno e respectivos parâmetros

Categoria de terreno		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15
<i>NOTA 1: As categorias de terreno II, III e IV estão ilustradas em A.1.</i>			
<i>NOTA 2: O coeficiente de rugosidade, <math>c_r(z)</math>, é ilustrado na Figura NA.1.</i>			

**h) NA-4.3.2(2)**

Em relação ao sector angular, deve ser considerado o sector de 30° definido por  $\pm 15^\circ$  em relação à direcção do vento.

No que diz respeito à extensão para barlavento, deve ser utilizado o seguinte procedimento:

Se a construção está situada na proximidade de uma alteração de rugosidade do terreno, a qual ocorre a uma distância:

- inferior a 2 km, com transição de uma superfície de categoria I,
  - inferior a 1 km, com transição de um terreno menos rugoso de categoria II ou III,
- deverá ser utilizada a categoria de terreno menos rugosa na direcção de barlavento.

As zonas de pequena área (inferior a 10 % da área da zona considerada) que tenham uma rugosidade diferente poderão ser ignoradas.

**i) NA-4.3.3(1)**

Caso os efeitos da orografia no perfil de velocidades do vento não possam ser desprezados, o coeficiente de orografia,  $c_o(z)$ , deve ser calculado através do procedimento descrito em A.3 para as situações aí abrangidas; em situações de orografia complexa, não abrangidas por A.3, é recomendado recorrer a um parecer técnico especializado, com eventual realização de ensaios em túnel de vento ou modelação numérica adequada.

**j) NA-4.3.4(1)**

Na ausência de ensaios em túnel de vento, deve ser utilizado o procedimento recomendado em A.4.

**k) NA-4.3.5(1)**

Para efeitos de aplicação da presente Norma, não é necessário utilizar qualquer procedimento para o efeito em causa (em particular, o definido em A.5).

**l) NA-4.5(1), Nota 1**

Deve ser utilizada a regra recomendada. O coeficiente de exposição  $c_e(z)$  é representado na Figura NA-4.2, a qual substitui a Figura 4.2 da presente Norma, em função da altura acima do solo e da categoria de terreno, considerando  $c_o(z) = 1,0$  e  $k_1 = 1,0$ .

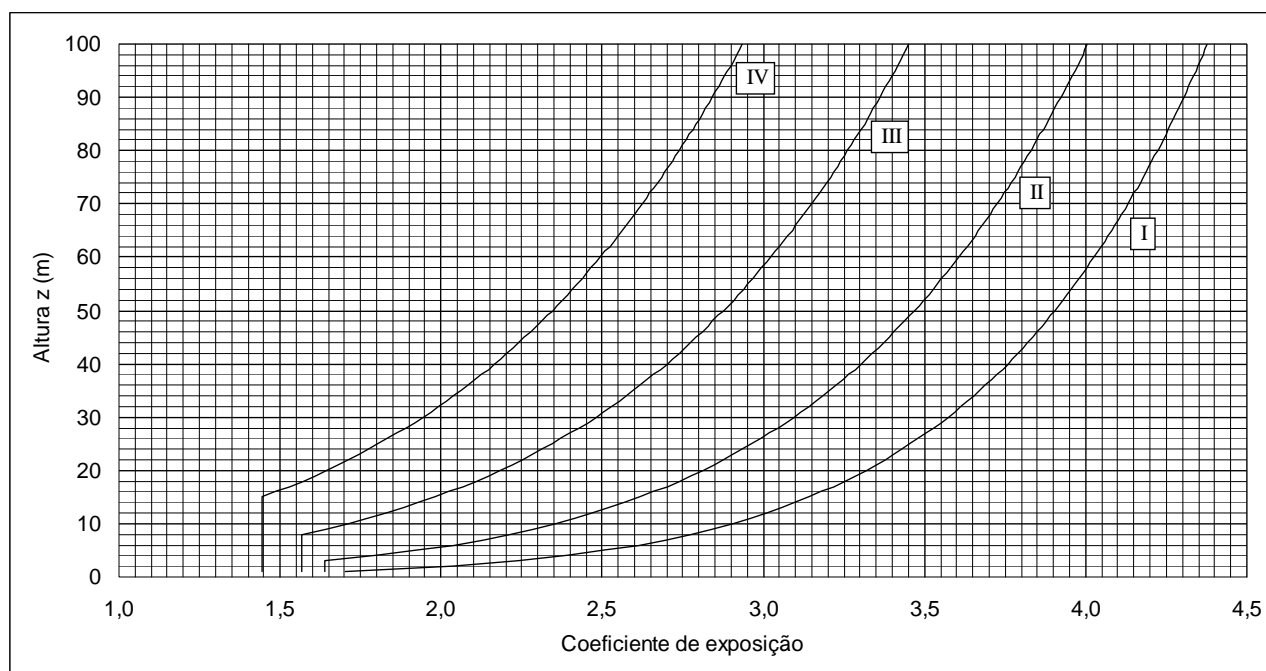


Figura NA-4.2 – Coeficiente de exposição,  $c_e(z) = q_p(z)/q_b$ , para  $c_o(z) = 1,0$  e  $k_1 = 1,0$

**m) NA-6.3.1(1), Nota 3**

Deve ser utilizado o procedimento descrito no Anexo B.

**n) NA-6.3.2(1)**

Deve ser utilizado o procedimento descrito no Anexo B.

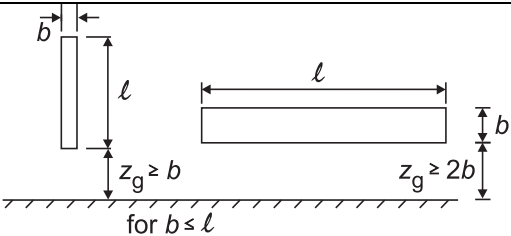
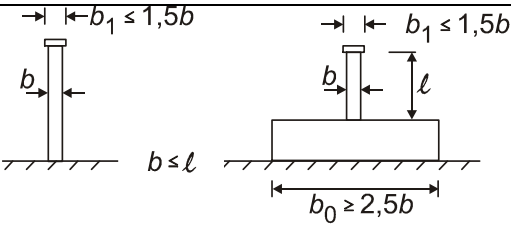
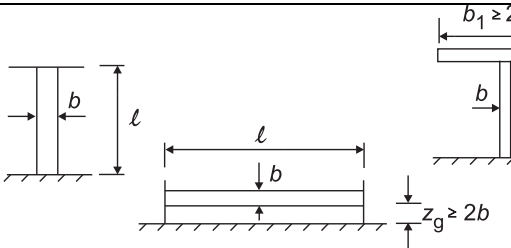
**o) NA-7.13(1)**

No caso de edifícios, poderá admitir-se, por simplificação, que a presença de neve não altera as características aerodinâmicas da construção traduzidas pelos coeficientes de pressão fornecidos na secção 7 nem as correspondentes áreas de referência.

**p) NA-7.13(2)**

O coeficiente de efeitos de extremidade,  $\psi_\lambda$ , pode ser obtido através da Figura 7.36 em função do índice de cheios e da esbelteza efectiva,  $\lambda$ . Para este efeito, os valores de  $\lambda$  devem ser determinados de acordo com o Quadro NA-7.16, o qual substitui o Quadro 7.16 da presente Norma.

Quadro NA-7.16 – Esbelteza efectiva  $\lambda$

N.º	Posição da estrutura, vento perpendicular ao plano da figura	Esbelteza efectiva $\lambda$
1		$\lambda = l/b$
2		$\lambda = 2 // b$
3		$\lambda = \infty$ ( $\psi_\lambda = 1$ )

**Legenda:**

for  $b \leq l$       para  $b \leq l$

**q) NA-8.1(1), Nota 1**

Sem prejuízo do disposto em 1.1(2) e 1.1(11), a secção 8 também pode ser aplicada a pontes com dois tabuleiros que satisfaçam as condições indicadas na Nota 4 de 8.3.1(1) bem como, com as necessárias adaptações, a pontes com tabuleiro de altura variável com secções transversais de entre as representadas na Figura 8.1.

**r) NA-8.1(4)**

O valor  $v_{b,0}^*$  deve ser identificado com  $v_{b,0}$  (desta forma, o valor de combinação  $\psi_0 F_{wk}$  da acção do vento na ponte e nos veículos não é afectado pela imposição do limite  $F_w^*$ ).

**s) NA-8.1(5)**

O valor  $v_{b,0}^{**}$  deve ser identificado com  $v_{b,0}$  (desta forma, o valor de combinação  $\psi_0 F_{wk}$  da acção do vento na ponte e nos comboios não é afectado pela imposição do limite  $F_w^{**}$ ).

**t) NA-8.2(1), Nota 1**

Para um tabuleiro que, a menos do limite de vão (40 m), satisfaça as condições dispostas em 8.2(1), Nota 3, pode geralmente ser dispensada a utilização de métodos de análise dinâmica se o vão for inferior a 125 m. Note-se, contudo, que esta disposição diz respeito à avaliação dos efeitos do vento sobre o tabuleiro nos termos da secção 8 da presente Norma, pelo que não abrange alguns efeitos específicos – como sejam as vibrações verticais de tabuleiros.

Caso sejam utilizados métodos de análise dinâmica, podem ser consideradas as informações fornecidas nos Anexos B e F relativas, respectivamente, à turbulência longitudinal do vento e ao amortecimento estrutural e aerodinâmico. Note-se que, no caso de tabuleiros de pontes, o cálculo da resposta dinâmica envolve, em geral, a consideração de vários modos de vibração, pelo que o procedimento descrito em 6.3.1 não é directamente aplicável.

**u) NA-8.3.2(1)**

Para  $z_e \leq 50$  m e para terrenos que não sejam da categoria I, devem ser utilizados os valores recomendados; caso contrário (ou seja, para  $z_e > 50$  m ou para terrenos da categoria I), o coeficiente  $C$  deve ser calculado através de  $C = c_e \cdot c_{f,x}$ , considerando  $c_{f,x}$  em conformidade com 8.3.1(1) e calculando  $c_e$  para a categoria de terreno e altura de referência em causa.

Para o cálculo de  $C$ , caso o coeficiente  $c_{f,x}$  seja avaliado através da Figura 8.3, deve ser escolhida a situação a) nesta figura, em coerência com os valores do Quadro 8.2; em relação a  $c_e$ , deve considerar-se  $z_e \geq 20$  m e, caso o terreno não seja da categoria I, deve considerar-se como sendo de categoria II.

**v) NA-8.3.3(1), Nota 1**

Na ausência de ensaios em túnel de vento, o valor de  $c_{f,z}$  poderá ser considerado igual a  $\pm 0,9$ . A Figura 8.6 não é aplicável como alternativa a este procedimento.

Se a força vertical assim calculada tiver efeitos significativos, deverá ser utilizado um procedimento mais rigoroso para determinar  $c_{f,z}$ , designadamente o recurso a ensaios em túnel de vento.

**w) NA-A.2(1)**

O procedimento a utilizar para ter em conta a transição entre diferentes categorias de rugosidade é o descrito em NA-4.3.2(2).

**x) NA-E.1.5.1(1), Nota 1**

Para além dos métodos indicados na presente Norma, é possível utilizar outros procedimentos que se considerem validados e com valores dos parâmetros de cálculo devidamente justificados.

**y) NA-E.1.5.3(4)**

Caso seja considerada a influência da intensidade de turbulência no valor do coeficiente  $K_a$ , tal influência deverá ser quantificada por recurso a literatura técnica idónea ou a parecer técnico especializado.

### **NA.3 – Utilização dos Anexos informativos**

Em Portugal, os Anexos A, C, D, E e F mantêm o carácter informativo e o Anexo B passa a ter um carácter normativo.

### **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) Aspectos omissos na NP EN 1991-1-4**

Para além dos aspectos em relação aos quais a presente Norma não fornece orientações, designadamente os mencionados em 1.1(12), podem surgir situações em que a presente Norma, embora fornecendo orientações, se revele de alguma forma omissa na indicação de valores ou de procedimentos necessários. Em tais casos, é recomendado o recurso a literatura técnica idónea ou a parecer técnico especializado.

##### **b) Construções particularmente importantes e de forma não usual**

No caso de construções particularmente importantes e de forma não usual, é especialmente recomendada a utilização de resultados obtidos directamente por ensaios em túnel de vento.

#### **NA.4.3 – Informações específicas**

##### **a) Valores básicos da velocidade de referência do vento (NA-4.2(1)P)**

Em termos de zonamento do País, a metodologia prescrita em NA-4.2(1)P, Nota 2 é idêntica à adoptada no RSA – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio).

No que diz respeito à velocidade de referência do vento, existem diversas diferenças entre as premissas adoptadas na presente Norma e no RSA.

A este respeito, refira-se, em primeiro lugar, que os valores característicos da velocidade do vento na presente Norma correspondem ao quantilho 0,98 da distribuição de probabilidade dos valores máximos anuais (ou seja, trata-se de valores com uma probabilidade anual de serem excedidos igual a 0,02), ao passo que os valores característicos adoptados no RSA correspondem ao quantilho 0,95 da distribuição de probabilidade dos valores máximos em períodos de 50 anos.

Por outro lado, o perfil de velocidades médias (do tipo logarítmico) correspondente à categoria de terreno II conforme é definida na presente Norma, a qual assume o papel de categoria de referência, ajusta-se adequadamente a um perfil do tipo potência – função linear de  $(z/10)^\alpha$  – com expoente  $\alpha = 0,16$ , a que corresponde uma rugosidade de terreno inferior às rugosidades indicadas no RSA (associadas a  $\alpha = 0,20$  e  $\alpha = 0,28$ ).



Em relação às velocidades do vento na zona B, o valor básico da velocidade de referência fornecido no presente Anexo (30 m/s) é superior em cerca de 10 % ao indicado para a zona A (27 m/s); este procedimento é análogo ao seguido no RSA.

**b) Distribuição dos valores máximos (NA-4.2(2)P, Nota 5)**

A adopção dos valores  $n = 1,0$  e  $K = 0,11$  corresponde a admitir que os valores máximos anuais da velocidade média do vento são modelados por uma distribuição de extremos tipo I (distribuição de Gumbel) de valores máximos com um coeficiente de variação igual a 0,13.

**c) Coeficiente de rugosidade (4.3.2(1))**

O coeficiente de rugosidade,  $c_r(z)$ , é representado na Figura NA.I em função da altura acima do solo e da categoria de terreno. Para as situações em que  $c_o(z) = 1,0$ , o produto do valor deste coeficiente, à altura  $z$  acima do solo, pelo valor de referência da velocidade do vento,  $v_b$ , fornece o valor correspondente da velocidade média do vento,  $v_m(z)$ .

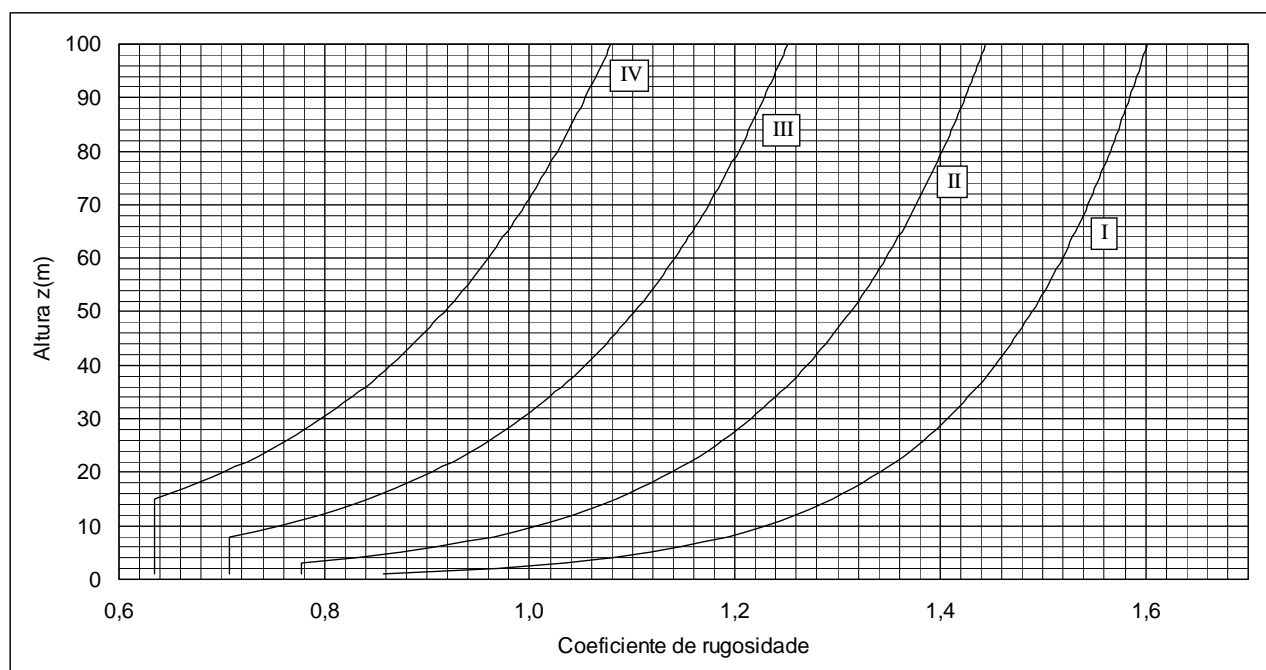


Figura NA.I – Coeficiente de rugosidade,  $c_r(z)$

**d) Coberturas em terraço (7.2.3)**

No Quadro 7.2 são fornecidos valores positivos e negativos (+ 0,2 e - 0,2) para o coeficiente de pressão exterior na zona I de coberturas em terraço. Cada um desses valores deve ser considerado em separado e aplicado em toda a extensão da referida zona.

**e) Elementos estruturais de secção com arestas vivas (7.7(1))**

Os dados apresentados na presente Norma em relação aos coeficientes de força para elementos estruturais de secção com arestas vivas são escassos. A este respeito, é particularmente recomendado o recurso a literatura

técnica idónea ou a parecer técnico especializado, a menos que a utilização do valor recomendado na presente Norma ( $c_{f,0} = 2,0$ ) seja considerada suficiente para o efeito em causa.

**f) Forças em tabuleiros de pontes (8.1)**

Em 8.1(3), na expressão "As forças produzidas nas direcções  $x$  e  $y$  devem-se a vento soprando em direcções diferentes e, normalmente, não são consideradas em simultâneo", as forças em causa correspondem às calculadas através de 8.3 e não a forças produzidas pelo vento em condições genéricas.

**g) Deslocamento máximo de construções verticais (B.4)**

De acordo com B.4(1), o deslocamento máximo na direcção do vento de uma construção vertical, para efeitos de verificação em relação ao estado limite de utilização, é determinado a partir da força estática equivalente que é definida em 5.3.

O valor de tal deslocamento à altura  $z$  acima do solo,  $x_{\max}(z)$ , pode ser estimado através de:

$$x_{\max}(z) = \frac{\rho \cdot b \cdot c_f \cdot v_m^2(z_s)}{2 \cdot m_{1,x} \cdot (2\pi \cdot n_{1,x})^2} \cdot [1 + 7 \cdot I_v(z_s)] \cdot c_s c_d \cdot K_x \cdot \Phi_{1,x}(z)$$

**h) Critérios relativos ao desprendimento de vórtices (E.1.2)**

O critério disposto em E.1.2(1) não é aplicável ao caso de vibrações por ovalização em cascas cilíndricas.

**i) Método 2 para o cálculo das amplitudes transversais ao vento (E.1.5.3)**

Uma vez que a aplicação do método 2 está limitada ao cálculo da resposta para vibrações no primeiro modo de estruturas isoladas em consola, o ponto com maior amplitude de movimento – conforme é referido em E.1.5.3(1) e (2) – corresponde sempre ao topo da estrutura.

No Quadro E.6, o número de Reynolds a considerar é o definido em E.1.3.4.

**NA.5 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais**

Norma europeia	Norma nacional	Título
EN 1990:2002	NP EN 1990:2009	<i>Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas</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>