



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
Núcleo de Observação de Estruturas

Proc. 301/74/14973
Proc. Int. 304/541/681

OPÇÕES E PARÂMETROS ADOPTADOS NO ANEXO NACIONAL DA EN-1991-1-5

Acções Gerais – Acções Térmicas

Lisboa • Julho de 2008

I&D ESTRUTURAS

RELATÓRIO 255/2008 – DE/NOE

**OPÇÕES E PARÂMETROS ADOPTADOS NO ANEXO NACIONAL DA
EN-1991-1-5: ACÇÕES GERAIS – ACÇÕES TÉRMICAS**

**OPTIONS AND PARAMETERS ADOPTED IN THE NATIONAL ANNEX OF THE
EN-1991-1-5: GENERAL ACTIONS – THERMAL ACTIONS**

**OPTIONS ET PARAMETRES NATIONAUX ADOPTÉES DANS L'ANNEXE NATIONALE
DE LA EN-1991-1-5: ACTIONS GENERALES – ACTIONS THERMIQUES**

OPÇÕES E PARÂMETROS ADOPTADOS NO ANEXO NACIONAL DA EN-1991-1-5: ACÇÕES GERAIS – ACÇÕES TÉRMICAS

Resumo

Em 1975 a Comunidade Económica Europeia adoptou um programa de acção tendente a harmonizar as especificações técnicas e a eliminar entraves técnicos, na área da construção.

Neste sentido foram criadas regras técnicas para o projecto de estruturas, que numa primeira fase coexistiriam com as regras preconizadas na regulamentação nacional, mas que posteriormente as deveriam substituir.

Deste modo encontra-se em fase final de desenvolvimento um conjunto de Eurocódigos Estruturais, dos quais faz parte o Eurocódigo 1 – “Acções em Estruturas”.

As normas nacionais destinadas à implementação dos Eurocódigos, para além de incluírem o texto completo desses Eurocódigos, poderão ter um Anexo Nacional, no qual é possível, para determinados parâmetros, optar entre procedimentos e valores alternativos, de modo a ser tida ter consideração a diversidade de condições existente na Europa.

Assim, a parte 1.5 do Eurocódigo 1 (EN-1991-1-5 – “Acções Gerais – Acções térmicas”), destinada à definir as acções térmicas resultantes de condições climáticas ou de funcionamento a adoptar em estruturas, permite a opção nacional em diversas cláusulas, destinando-se o presente relatório a apresentar e justificar as opções tomadas no Anexo Nacional da EN-1991-1-5.

**OPÇÕES E PARÂMETROS ADOPTADOS NO ANEXO NACIONAL DA
EN-1991-1-5: ACÇÕES GERAIS – ACÇÕES TÉRMICAS**

Índice do texto:

	pág.
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - PARÂMETROS DETERMINADOS A NÍVEL NACIONAL.....	4
2.1 - Cláusula - 5.3(2) (Quadros 5.1, 5.2 e 5.3)	4
2.2 - Cláusula - 6.1.1(1).....	6
2.3 - Cláusula - 6.1.2(2).....	6
2.4 - Cláusula - 6.1.3.1(4).....	7
2.5 - Cláusula - 6.1.3.2(1).....	9
2.6 - Cláusula - 6.1.3.3(3).....	9
2.7 - Cláusula - 6.1.4.(3).....	10
2.8 - Cláusula - 6.1.4.1(1).....	10
2.9 - Cláusula - 6.1.4.2(1).....	11
2.10 - Cláusula - 6.1.4.3(1).....	11
2.11 - Cláusula - 6.1.4.4(1).....	12
2.12 - Cláusula - 6.1.5(1).....	12
2.13 - Cláusula - 6.1.6(1).....	14
2.14 - Cláusula - 6.2.1(1)P	15
2.15 - Cláusula - 6.2.2(1).....	15
2.16 - Cláusula - 6.2.2(2).....	15
2.17 - Cláusula - 7.2.1(1).....	16
2.18 - Cláusula - 7.5(3).....	16
2.19 - Cláusula - 7.5(4).....	16
2.20 - Cláusula - A.1(1)	17
2.21 - Cláusula - A.1(3)	23

2.22 - Cláusula - A.2(2)	23
2.23 - Cláusula - B(1) (Quadros B.1, B.2 e B.3)	25

Índice de figuras:

	pág.
Fig. 1 – Coeficiente η	5
Fig. 2– Exemplo de secção transversal.....	13
Fig. 3 – Continente: Zonamento climático para as condições de Inverno (T_{min}).....	18
Fig. 4 – Continente: Zonamento climático para as condições de Verão (T_{max}).....	19
Fig. 5 – Relações $T_{max,p} / T_{max}$ e $T_{min,p} / T_{min}$	22

Índice de tabelas:

	pág.
Tabela 1 – valores dos coeficientes de simultaneidade ω para uma laje vigada	13
Tabela 2 – Distribuição dos Concelhos por zonas para as condições climáticas de Inverno.....	20
Tabela 3 – Distribuição dos Concelhos por zonas para as condições climáticas de Verão	21
Tabela 4 – Valores dos coeficientes “k” para o território português.....	24
Tabela 5 – Valores característicos da temperatura do ar para Portugal Continental	A.1

**OPÇÕES E PARÂMETROS ADOPTADOS NO ANEXO NACIONAL DA
EN-1991-1-5: ACÇÕES GERAIS – ACÇÕES TÉRMICAS**

1 - INTRODUÇÃO

Em 1975 a Comunidade Económica Europeia adoptou um programa de acção tendente a harmonizar as especificações técnicas e a eliminar entraves técnicos, na área da construção.

Neste sentido foram criadas regras técnicas para o projecto de estruturas, que numa primeira fase coexistiriam com as regras preconizadas na regulamentação nacional, mas que posteriormente as deveriam substituir.

Deste modo encontra-se em fase final de desenvolvimento um conjunto de Eurocódigos Estruturais, que inclui as seguintes normas:

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

As normas nacionais destinadas à implementação dos Eurocódigos, para além de incluírem o texto completo desses Eurocódigos, poderão ter um Anexo Nacional, no qual é possível, para determinados parâmetros, optar entre procedimentos alternativos e valores, de modo a ser tida em consideração a diversidade de condições existente na Europa.

Assim a Norma EN-1991-1-5, destinada à definir as acções térmicas, resultantes de condições climáticas ou de funcionamento, a adoptar em estruturas, permite a opção nacional nas seguintes cláusulas:

- 5.3(2) (Quadros 5.1, 5.2 e 5.3)
- 6.1.1(1)
- 6.1.2(2)
- 6.1.3.1(4)
- 6.1.3.2(1)
- 6.1.3.3(3)
- 6.1.4.(3)
- 6.1.4.1(1)
- 6.1.4.2(1)
- 6.1.4.3(1)
- 6.1.4.4(1)
- 6.1.5(1)
- 6.1.6(1)
- 6.2.1(1)P
- 6.2.2(1)
- 6.2.2(2)
- 7.2.1(1)
- 7.5(3)
- 7.5(4)
- A.1(1)
- A.1(3)
- A.2(2)
- B(1) (Quadros B.1, B.2 e B.3)

No quadro seguinte apresentam-se as cláusulas para as quais foram adoptadas prescrições a nível nacional e também aquelas para as quais não foram adoptadas prescrições.

Cláusulas com prescrições a nível nacional	Cláusulas sem prescrições a nível nacional
5.3(2) (Quadros 5.1, 5.2 e 5.3)	6.1.1(1)
6.1.2(2)	6.1.3.3(3)
6.1.3.1(4)	6.1.4.3(1)
6.1.3.2(1)	6.1.6(1)
6.1.4.(3)	6.2.1(1)P
6.1.4.1(1)	6.2.2(1)
6.1.4.2(1)	7.5(3)
6.1.4.4(1)	7.5(4)
6.1.5(1)	
6.2.2(2)	
7.2.1(1)	
A.1(1)	
A.1(3)	
A.2(2)	
B(1) (Quadros B.1, B.2 e B.3)	

No ponto 2 deste Relatório são apresentadas e justificadas as opções tomadas relativamente a cada um das cláusulas que se acabam e referir.

2 - PARÂMETROS DETERMINADOS A NÍVEL NACIONAL

2.1 - Cláusula - 5.3(2) (Quadros 5.1, 5.2 e 5.3)

A secção 5 da EN 1991-1-5 diz respeito a variações de temperatura em edifícios, definindo-se na cláusula 5.3 os perfis de temperatura em função das temperaturas ambientes interior e exterior.

A variação uniforme de temperatura (ΔT_U) é definida como a diferença entre a temperatura média de um elemento (T) e a sua temperatura inicial (T_0):

$$\Delta T_U = T - T_0$$

Na EN 1991-1-5 refere-se, também, que o valor de T pode ser determinado como a média das temperaturas ambientes interior (T_{in}) e exterior (T_{out}), quando as condições ambientais são semelhantes:

$$T = (T_{in} + T_{out}) / 2$$

Segundo esta norma europeia, a componente linear da variação diferencial de temperatura (ΔT_M) pode ser calculada como a diferença entre as temperaturas ambientes exterior (T_{out}) e interior (T_{in}):

$$\Delta T_M = T_{out} - T_{in}$$

Os valores de T_{in} e T_{out} diferem consoante se trate de condições climáticas de Verão ou de Inverno, sendo os valores de T_{out} obtidos a partir dos valores das temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar à sombra.

Os valores de T_{max} e T_{min} são definidos no Anexo A, a partir dos mapas de zonamento térmico do país, para as condições de Verão e de Inverno.

À semelhança do que foi efectuado noutras partes dos Eurocódigos, respeitantes, por exemplo, às acções sísmica, da neve ou do vento, não se apresentam isolinhas mas antes a classificação dos diversos concelhos em várias zonas climáticas.

Considera-se que para as estruturas de edifícios, e tendo em consideração as condições climáticas nacionais e as condições habituais de climatização, os valores da temperatura ambiente interior (T_{in}) os valores a adoptar no quadro 5.1 do Anexo Nacional, deverão ser os seguintes:

Verão - T_1 : 25°C;

Inverno - T_2 : 18°C.

Os valores apresentados no quadro 5.2, destinam-se a poder ter-se em consideração a absorvidade dos paramentos dos edifícios e também a sua orientação.

Os valores para a temperatura ambiente exterior (T_{out}), tal como já se referiu anteriormente, correspondem aos das temperaturas máxima (T_{max}) ou mínima (T_{min}) do ar à sombra, acrescidos de T_3 , T_4 ou T_5 , consoante se trate de edifícios de cor muito clara, ligeiramente colorida ou escura. Estes valores dependem também da orientação das superfícies.

Deve ter-se em consideração que o valor de T_{out} não deve corresponder simplesmente ao da temperatura que se verifica no exterior do edifício, mas sim resultar da linearização do diagrama real de temperaturas. Assim, definem-se os seguintes valores para T_3 , T_4 e T_5 , para superfícies horizontais ou viradas a Oeste:

$$T_3 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad T_4 = 2 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad T_5 = 4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Os valores de T_{out} , obtidos a partir de T_{max} e de T_3 , T_4 ou T_5 são, tal como se referiu, válidos para superfícies horizontais ou elementos virados a Oeste. Para ter em conta outras orientações o valor de T_{out} deve ser multiplicado pelo coeficiente η obtido a partir da seguinte expressão empírica:

$$\eta = 0,9 + 0,1 \times \text{sen}[(\beta / 360)^{2,5} \times 2\pi - \pi / 2]$$

onde β representa o ângulo, em graus, que a normal exterior do elemento estrutural faz com o Norte, medido no sentido horário (ex.: N \rightarrow $\beta = 0^\circ$; S \rightarrow $\beta = 180^\circ$; SO \rightarrow $\beta = 225^\circ$).

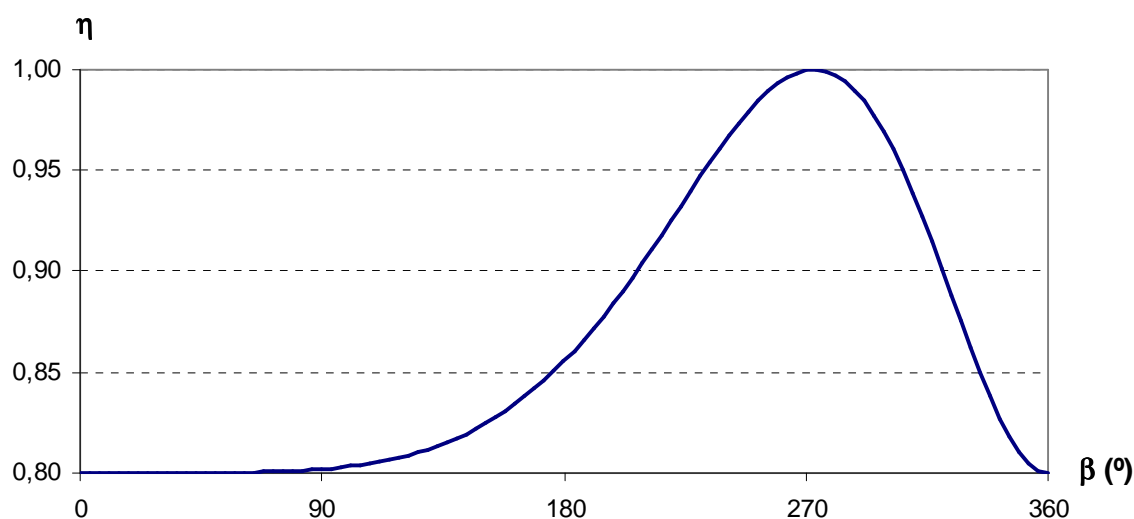


Fig. 1 – Coeficiente η

Os valores tabelados no quadro 5.3 do Anexo Nacional referem-se à temperatura ambiente exterior (T_{out}) para zonas de edifícios enterradas, para as condições de Verão ou de Inverno, e são função da profundidade. No nosso país podem adoptar-se os seguintes valores:

No Verão e para profundidades inferiores a 1m: $T_6 = 18^{\circ}\text{C}$

No Verão e para profundidades superiores a 1m: $T_7 = 15^{\circ}\text{C}$

No Inverno os valores de T_8 e T_9 dependem da zona em que se encontra o edifício. A delimitação das zonas encontra-se definida no Anexo A.

Profundidade:	Zona A	Zona B	Zona C
Inferior a 1m (T_8)	0°C	5°C	10°C
Superior a 1m (T_9)	3°C	8°C	13°C

2.2 - Cláusula - 6.1.1(1)

A secção 6 diz respeito a variações de temperatura em pontes, referindo a existência de pontes do Tipo 1 (tabuleiro em aço), Tipo 2 (tabuleiro misto) e Tipo 3 (tabuleiro e betão).

Neste ponto diz-se apenas que o Anexo Nacional pode especificar as variações uniformes e diferenciais a adoptar para outros tipos de pontes.

Os tipos de obras de arte que se referem nesta cláusula são os que efectivamente se constroem no nosso país, e por não ser usual edificar pontes recorrendo a outros materiais, como por exemplo, madeira ou alvenaria, não se afigura necessário regulamentar as variações de temperatura para outros tipos de pontes.

2.3 - Cláusula - 6.1.2(2)

Refere-se, nesta cláusula, que as acções térmicas devem ser avaliadas tendo em conta as parcelas variação uniforme, variação diferencial e variação não linear.

É permitido que no Anexo Nacional, se opte entre a “Abordagem 1” e a “Abordagem 2” definidas, respectivamente, nos pontos 6.1.4.1 e 6.1.4.2, da EN 1991-1-5.

A “Abordagem 1” preconiza que os efeitos das variações diferenciais de temperatura, na direcção vertical, sejam considerados utilizando uma componente linear equivalente. Esta componente equivalente corresponde à distribuição linear de temperatura que possui a mesma área e o mesmo momento estático do que a distribuição efectiva (não linear). A adopção de uma distribuição linear de temperatura resulta da aceitação que as secções permanecem planas e, portanto, da consideração de um diagrama linear de extensões. Por

este motivo as tensões que resultam da diferença existente entre as distribuições linear e não linear de temperatura são auto-equilibradas, ou seja, produzem momento e esforço normal nulos na secção.

A "Abordagem 2" baseia-se na adopção de uma distribuição não linear da temperatura ao longo da altura da secção, com a qual se determina a distribuição linear equivalente.

Embora o Anexo Nacional possa permitir os dois tipos de abordagem, não se vê grande vantagem na adopção da "Abordagem 2", por esta introduzir uma complexidade acrescida na determinação dos valores a considerar para as variações diferenciais de temperatura, sem que com isso se garanta que as distribuições lineares equivalentes, assim determinadas, sejam mais realistas do que as resultam da "Abordagem 1".

Deve ter-se em atenção que o perfil vertical de temperaturas é influenciado pela geometria da própria secção transversal, pelo que não é possível estabelecer um perfil tipo que se adapte convenientemente a todas as geometrias possíveis para as secções transversais dos tabuleiros.

A vantagem da adopção de perfis de temperatura não lineares é a de permitir a determinação das tensões auto-equilibradas. No entanto, deve também ter-se em atenção que, ao nível de uma mesma fibra, por efeito da acção térmica, podem surgir tensões de tracção ou de compressão, dependendo do campo de temperaturas. Por este motivo o estudo das tensões auto-equilibradas implica a determinação dos valores máximos absolutos das tensões, sejam elas de tracção ou compressão, os quais não podem ser calculados com base num único diagrama. Para além deste aspecto deve também ter-se em conta que os valores máximos das tensões auto-equilibradas não ocorrem simultaneamente com os valores máximos das variações diferenciais de temperatura.

Em face do exposto considera-se conveniente que se adopte no Anexo Nacional a "Abordagem 1".

2.4 - Cláusula - 6.1.3.1(4)

Esta cláusula refere-se à variação uniforme de temperatura, sendo neste ponto que se definem os valores das componentes das variações uniformes de temperatura mínima ($T_{e,min}$) e máxima ($T_{e,max}$) de pontes, que se adoptam no Anexo Nacional.

A variação uniforme de temperatura (ΔT_N) reveste-se da particularidade de ter de ser dividida nas suas componentes de dilatação ($\Delta T_{N,exp}$) e de contracção ($\Delta T_{N,con}$), de modo a poderem calcular-se os respectivos valores de combinação a partir dos coeficientes " ψ ".

Os valores de $\Delta T_{N,exp}$ e $\Delta T_{N,con}$ são obtidos recorrendo as expressões seguintes:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min}$$

onde T_0 corresponde ao valor da temperatura inicial do elemento estrutural no momento em que são introduzidos constrangimentos, por exemplo o do fecho de um tabuleiro, e $T_{e,max}$ e $T_{e,min}$ representam, respectivamente as componentes de variação uniforme máxima e mínima, numa dada ponte.

Sendo ΔT_N a variação total de temperatura, então $\Delta T_N = \Delta T_{N,exp} + \Delta T_{N,con}$, e, portanto, $\Delta T_N = T_{e,max} - T_{e,min}$.

A figura 6.1 da EN 1991-1-5 destina-se à determinação, quer do valor de $T_{e,max}$, com base no valor do quantilho de 98% da distribuições de máximos anuais, da temperatura do ar à sombra (T_{max}), quer de $T_{e,min}$ a partir do valor do quantilho de 2% das distribuições de mínimos anuais, da temperatura do ar à sombra (T_{min}).

No Anexo Nacional, não se fará directamente uso desta figura, porque não permite definir valores de $T_{e,min}$ se T_{min} for positivo, tal como aliás se verifica na maior parte do território português. Mais se refere que na Fig. 6.1 se indicam valores recomendados, deixando-se a possibilidade de, no Anexo Nacional, se especificarem valores para $T_{e,min}$ e $T_{e,max}$, que serão função do zonamento climático definido nesse Anexo.

Verifica-se que para estruturas de betão (tipo 3) e para as condições climáticas de Portugal os valores de $T_{e,max}$ e $T_{e,min}$ podem ser considerados iguais, respectivamente a T_{max} e a T_{min} , definidas no Anexo A:

$$T_{e,max}(\text{tipo 3}) = T_{max}$$

$$T_{e,min}(\text{tipo 3}) = T_{min}$$

Os valores para estruturas de aço (tipo 1) ou mistas (tipo 2) podem ser obtidos a partir dos valores de $T_{e,max}$ e $T_{e,min}$, aplicando as translações entre os valores relativos às estruturas do tipo 3 e as estruturas dos tipos 1 ou 2, que constam da figura 6.1 e que são as seguintes:

Para a componente da variação uniforme máxima:

$$T_{e,max}(\text{tipo 1}) = T_{max} + 15^\circ\text{C}$$

$$T_{e,max}(\text{tipo 2}) = T_{max} + 3^\circ\text{C}$$

Para a componente da variação uniforme mínima:

$$T_{e,min}(\text{tipo 1}) = T_{min} - 10^\circ\text{C}$$

$$T_{e,min}(\text{tipo 2}) = T_{min} - 3^\circ\text{C}$$

No que diz respeito ao valor da temperatura inicial de um elemento estrutural no momento em que são introduzidos constrangimentos (T_0) deve referir-se que, desde o instante em que um projecto é entregue e a construção da obra, podem decorrer meses ou anos, sendo portanto difícil estimar com precisão em que época do ano ocorrem as ligações de elementos que importam para a definição de T_0 .

Relativamente a este assunto interessa ainda salientar que o valor da temperatura média de uma estrutura é muito semelhante ao valor da temperatura média do ar no local da obra, o que na falta de outros dados, permite adoptar, para T_0 , o valor da temperatura média do ar.

Para o valor da temperatura média do ar no território de Portugal pode adoptar-se o valor de 15°C.

2.5 - Cláusula - 6.1.3.2(1)

Nesta cláusula definem-se as temperaturas mínima (T_{min}) e máxima (T_{max}) do ar à sombra a partir de informação nacional disponível.

Os mapas apresentados no Anexo A, com o zonamento climático para as condições de Inverno e de Verão foram, respectivamente, determinados com base no quantilho de 98% da distribuição de máximos anuais da temperatura do ar, e do quantilho de 2% da distribuição de mínimos anuais da temperatura do ar. Estes dados climáticos foram obtidos, no Instituto Nacional de Meteorologia, para Portugal Continental e Insular.

Encontrando-se o país dividido por concelhos, apresentam-se também no Anexo A as listagens com a relação de concelhos correspondentes às várias zonas climáticas, para as condições de Inverno e de Verão.

2.6 - Cláusula - 6.1.3.3(3)

Refere-se, nesta cláusula, que para efeito de colocação de apoios e juntas de dilatação, se podem especificar os valores do máximo aumento ou diminuição da temperatura uniforme, definindo-se no entanto a seguinte estratégia, no caso de não serem necessárias outras especificações, e que poderá ser adoptada no Anexo Nacional:

Para o cálculo do alongamento do tabuleiro: $\Delta T_{N,exp} + 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Para o cálculo do encurtamento do tabuleiro: $\Delta T_{N,con} + 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Se for especificada a temperatura a que são montados os apoios e juntas de dilatação os valores recomendados são:

Para o cálculo do alongamento do tabuleiro: $\Delta T_{N,exp} + 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Para o cálculo do encurtamento do tabuleiro: $\Delta T_{N,con} + 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Relativamente à colocação de juntas e aparelhos de apoio, lembra-se que a acção térmica, não accidental, de maior intensidade a que uma estrutura estará sujeita será, em princípio a aplicação do revestimento betuminoso.

A intensidade desta acção é mais importante para os tabuleiros em laje vigada, do que para os tabuleiros em caixão, e também assume maior relevância no Inverno do que no Verão.

Os valores das variações uniformes de temperatura, correspondentes à aplicação do tapete betuminoso, estão frequentemente compreendidos entre 5°C e 10°C .

Os valores das variações diferenciais de temperatura, correspondentes à aplicação do tapete betuminoso, poderão ultrapassar, respectivamente, os 20°C e os 30°C , no caso de pontes com tabuleiro em caixão ou em laje vigada.

2.7 - Cláusula - 6.1.4.(3)

O ponto 3 da cláusula 6.1.4 refere-se às variações diferenciais de temperatura que se deverão considerar no instante da betonagem do fecho, em pontes construídas por avanços.

Em Portugal verifica-se que os valores dos diferenciais positivos (superfície superior mais quente) são muito superiores, em termos absolutos, aos valores dos diferenciais negativos. Por este motivo, se se pretender restringir os movimentos relativos entre as extremidades das consolas, por exemplo, durante as betonagens do fecho, deve considerar-se a acção de uma variação diferencial de temperatura 15°C nas consolas.

2.8 - Cláusula - 6.1.4.1(1)

O que se refere nesta cláusula diz respeito a uma Abordagem 1 para as variações diferenciais de temperatura, na direcção vertical, podendo ser definidos a nível nacional os valores das variações diferenciais positivas ($\Delta T_{M,heat}$ - superfície superior mais quente) e negativas ($\Delta T_{M,cool}$ - superfície superior mais fria).

No Anexo Nacional considera-se apenas a Abordagem 1, sendo os valores a adoptar para tabuleiros de betão (tipo 3) os seguintes:

$$\Delta T_{M,heat}: 15^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,cool}: 5^{\circ}\text{C}$$

Os valores para tabuleiros mistos aço-betão (tipo 2) e para tabuleiros metálicos (tipo 1) foram calculados a partir dos valores determinados para tabuleiros de betão, tendo em conta as relações apresentadas no Quadro 6.1 da EN 1991-1-5, entre os 3 tipos de estruturas.

Deste modo obtiveram-se os seguintes valores para os tabuleiros dos tipos 1 e 2:

Tabuleiros de aço:

$$\Delta T_{M,heat}: 18^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,cool}: 12^{\circ}\text{C}$$

Tabuleiros mistos aço-betão:

$$\Delta T_{M,heat}: 15^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,cool}: 15^{\circ}\text{C}$$

Deve também referir-se que os valores, que aqui se apresentam, para $\Delta T_{M,heat}$ e $\Delta T_{M,cool}$, relativos a pontes do tipo 3, foram determinados para tabuleiros com 50mm de revestimento betuminoso, pelo que para outras espessuras de revestimento esses valores devem ser multiplicados pelo coeficiente k_{sur} indicado no Quadro 6.2, da EN 1991-1-5.

2.9 - Cláusula - 6.1.4.2(1)

O que se refere nesta cláusula diz respeito a uma Abordagem 2 para as variações diferenciais de temperatura, podendo ser definidos a nível nacional os valores dos perfis verticais de temperatura a utilizar.

Como se adopta, no Anexo Nacional, a Abordagem 1, não se definem quaisquer parâmetros no âmbito desta cláusula.

2.10 - Cláusula - 6.1.4.3(1)

Esta cláusula diz respeito às variações diferenciais de temperatura na direcção horizontal. O valor recomendado, de 5°C, afigura-se adequado a ser adoptado no Anexo Nacional.

2.11 - Cláusula - 6.1.4.4(1)

Nesta cláusula recomenda-se o valor de 15°C para a variação diferencial na direcção horizontal, entre as faces externa e interna das almas das vigas caixão. Considera-se este valor excessivo, porque a quase totalidade das vigas em caixão possui uma laje superior que se prolonga em consola para o exterior das almas, produzindo o seu sombreamento, e reduzindo deste modo os valores da variação diferencial de temperatura.

Mesmo nos casos em que a laje superior não se prolonga em consola, o valor de 10°C seria mais adequado. Considerando o que se acaba de referir, e se se entender conveniente ter em conta a variação diferencial de temperatura, na direcção horizontal, nas almas exteriores das vigas caixão, o valor que deverá ser especificado, no Anexo Nacional, para as vigas em que a laje superior se prolonga em consola, por um comprimento superior à altura do tabuleiro, é de 5°C, e de 10°C nos restantes casos.

2.12 - Cláusula - 6.1.5(1)

Nesta cláusula dá-se indicação quanto ao modo como deverá ser considerada a ocorrência simultânea das variações uniformes e diferenciais de temperatura.

São apresentadas, na ENV 1991-1-5, as seguintes expressões para efectuar a combinação das variações de temperatura:

$$\Delta T_{M,heat} \text{ (ou } \Delta T_{M,cool}) + \omega_N \Delta T_{N,exp} \text{ (ou } \Delta T_{N,con})$$

ou

$$\omega_M \Delta T_{M,heat} \text{ (ou } \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{N,exp} \text{ (ou } \Delta T_{N,con})$$

Na realidade estas duas expressões sintetizam as oito expressões seguintes:

$$\Delta T_{M,heat} + \omega_N \Delta T_{N,exp}$$

$$\Delta T_{M,heat} + \omega_N \Delta T_{N,con}$$

$$\Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,heat}$$

$$\Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,cool}$$

$$\Delta T_{M,cool} + \omega_N \Delta T_{N,exp}$$

$$\Delta T_{M,cool} + \omega_N \Delta T_{N,con}$$

$$\Delta T_{N,con} + \omega_M \Delta T_{M,heat}$$

$$\Delta T_{N,con} + \omega_M \Delta T_{M,cool}$$

Os coeficientes ω_M e ω_N podem ser estabelecidos a nível nacional e permitem, portanto, definir as variações uniformes de temperatura que são compatíveis com determinados níveis das variações diferenciais de temperatura, e também das variações diferenciais que são compatíveis com determinados níveis das variações uniformes. Deve referir-se que

estes coeficientes dependem da geometria dos tabuleiros, já que o desfasamento de tempo que se verifica entre a ocorrência dos máximos destas variações depende da inércia térmica das secções, e também do nível da acção, já que, por exemplo, aos valores característicos das variações uniformes de temperatura, correspondem, certamente, coeficientes ω diferentes dos adequados a efectuar as combinações ao nível dos valores frequentes ou quase permanentes.

Para ilustrar este aspecto, indica-se na Tabela 1 os valores dos coeficientes ω adequados à consideração simultânea das variações uniforme e diferencial de temperatura, para a laje vigada cujo desenho da secção transversal se apresenta na Fig. 2.

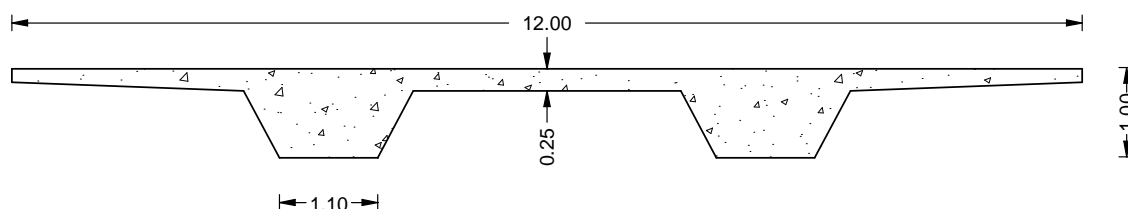


Fig. 2– Exemplo de secção transversal

Tabela 1 – valores dos coeficientes de simultaneidade ω para uma laje vigada

Para valores característicos superiores:	$\Delta T_{M,heat} + \omega_N \Delta T_{N,exp}$	$\omega_N = 0,61$
	$\Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,heat}$	$\omega_M = 0,57$
Para valores característicos inferiores:	$\Delta T_{M,cool} + \omega_N \Delta T_{N,con}$	$\omega_N = 0,11$
	$\Delta T_{N,con} + \omega_M \Delta T_{M,cool}$	$\omega_M = 0,32$
Para valores frequentes superiores:	$\Psi_1 \Delta T_{M,heat} + \omega'_N \Delta T_{N,exp}$	$\omega'_N = 0,40$
	$\Psi_1 \Delta T_{N,exp} + \omega'_M \Delta T_{M,heat}$	$\omega'_M = 0,37$
Para valores frequentes inferiores:	$\Psi_1 \Delta T_{M,cool} + \omega'_N \Delta T_{N,con}$	$\omega'_N = 0,28$
	$\Psi_1 \Delta T_{N,con} + \omega'_M \Delta T_{M,cool}$	$\omega'_M = 0,14$
Para valor quase permanente:	$\Psi_2 \Delta T_{M,heat} + \omega''_N \Delta T_{N,con}$	$\omega''_N = 0,07$
Para valor quase permanente superior	$\Psi_2 \Delta T_{N,exp} + \omega''_M \Delta T_{M,heat}$	$\omega''_M = 0,13$
Para valor quase permanente inferior:	$\Psi_2 \Delta T_{N,con} + \omega''_M \Delta T_{M,heat}$	$\omega''_M = 0,01$

Relativamente a este ponto pode também referir-se que os valores máximos das variações diferenciais positivas (face superior mais quente) ocorrem, nas pontes de betão, algumas horas antes de se verificarem os valores máximos das variações uniformes positivas (alongamento do tabuleiro). Assim, os coeficientes ω adequados às lajes vigadas, deverão ser superiores aos apropriados às secções em caixão, já que estas últimas têm maior inércia térmica do que as primeiras.

Considera-se que os coeficientes ω adequados à combinação dos valores característicos das variações uniformes e diferenciais de temperatura, devem ser idênticos e valer 0,8 ($\omega_N = \omega_M = 0,8$), devendo combinar-se, $\Delta T_{M,heat}$ (face superior mais quente) com $\Delta T_{N,exp}$, e $\Delta T_{M,cool}$ (face superior mais fria) com $\Delta T_{N,con}$. Deste modo obter-se-iam as seguintes expressões:

$$\begin{array}{ll} \text{Condições de Verão:} & \Delta T_{M,heat} + \omega_N \Delta T_{N,exp} \\ & \Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,heat} \\ \text{Condições de Inverno:} & \Delta T_{M,cool} + \omega_N \Delta T_{N,con} \\ & \Delta T_{N,con} + \omega_M \Delta T_{M,cool} \end{array}$$

A título meramente ilustrativo e para as condições habituais de climatização existentes em edifícios, pode referir-se que se a metodologia que é utilizada em estruturas de edifícios (Secção 5 da ENV 1991-1-5) fosse idêntica à que é empregue na definição das acções térmicas em estruturas de pontes (Secção 6 da ENV 1991-1-5), também se deveria adoptar o valor de 0,8 para os coeficientes ω_N e ω_M , combinando-se, para as condições de Verão, $\Delta T_{M,heat}$ (exterior mais quente) com $\Delta T_{N,exp}$, e para as condições de Inverno, $\Delta T_{M,cool}$ (exterior mais frio) com $\Delta T_{N,con}$.

Na realidade não são definidos para edifícios, na correspondente Secção 5 da ENV 1991-1-5, quaisquer coeficientes para ter em conta o desfasamento entre os instantes de tempo em que ocorrem as máximas variações uniforme e diferencial de temperatura, o que equivale a considerar implicitamente, nessa Secção, o valor de 1 para os coeficientes ω .

2.13 - Cláusula - 6.1.6(1)

Refere-se aqui que deverão ser consideradas, para certas estruturas, as consequências decorrentes do facto dos diferentes elementos estruturais poderem estar sujeitos a variações uniformes de temperatura distintas.

Os tipos de elementos a considerar e os acréscimos a adoptar nas variações uniformes de temperatura, que seguidamente se apresentam, correspondem aos valores propostos na EN 1991-1-5, e deverão ser os adoptadas no Anexo Nacional, uma vez que estão de acordo com as observações efectuadas em obras instrumentadas pelo LNEC:

15°C entre elementos estruturais principais, como sejam tirantes e arcos;

10°C entre cabos ou tirantes revestidos a material de cor clara e tabuleiros ou torres;

20°C entre cabos ou tirantes revestidos a material de cor escura e tabuleiros ou torres.

Estas variações deverão ser somadas às variações uniformes de temperatura definidas na cláusula 6.1.3 da EN 1991-1-5.

2.14 - Cláusula - 6.2.1(1)P

Nesta cláusula estabelece-se que devem ser consideradas variações diferenciais de temperatura entre as faces opostas de pilares de pontes, permitindo, que no Anexo Nacional, seja definido o método a utilizar no seu cálculo. Neste caso optou-se por adoptar uma variação diferencial linear equivalente, à semelhança do procedimento escolhido para as variações diferenciais na direcção vertical.

2.15 - Cláusula - 6.2.2(1)

Nesta cláusula quantificam-se as variações diferenciais de temperatura a utilizar entre faces opostas de pilares de pontes, quer sejam vazados, quer sejam maciços. Considera-se adequado adoptar, no Anexo Nacional, o valor de 5°C, proposto.

2.16 - Cláusula - 6.2.2(2)

Refere-se nesta cláusula que para paredes de pilares com secção vazada devem ser consideradas variações diferenciais de temperatura, nessas paredes.

O valor recomendado, na EN 1991-1-5, para essas variações diferenciais é de 15°C, o que se afigura excessivo, pelo que no Anexo Nacional se deverá adoptar o valor de 10°C.

2.17 - Cláusula - 7.2.1(1)

A secção 7 diz respeito a acções térmicas em chaminés industriais, condutas, silos, depósitos e torres de arrefecimento. Neste ponto refere-se que as temperaturas máxima e mínima do ar à sombra podem ser definidas a partir de informação nacional disponível, como, por exemplo, mapas de isotérmicas.

Os valores a considerar encontram-se reunidos nos mapas de zonamento térmico apresentados no Anexo A.

2.18 - Cláusula - 7.5(3)

A cláusula 7.5 aborda o problema da quantificação das variações uniformes e diferenciais de temperatura em chaminés industriais, condutas, silos, reservatórios e torres de arrefecimento.

No ponto (3) desta cláusula recomenda-se o valor de 15°C para variações diferenciais de temperatura em condutas de betão, podendo definir-se outros valores no Anexo Nacional.

Tendo em conta a multiplicidade de condições de exposição a que condutas de betão podem estar sujeitas, nomeadamente, expostas ao ar, imersas ou enterradas, e também o facto de poderem transportar líquidos a temperaturas bastante diversas, uma vez que essas condutas podem conter, por exemplo, água de um circuito de arrefecimento, água captada no fundo de uma albufeira ou na superfície de um lago, não se justifica efectuar qualquer comentário a este valor, que poderá considerar-se adequado a integrar o Anexo Nacional como valor indicativo.

2.19 - Cláusula - 7.5(4)

No ponto (4) da cláusula 7.5 refere-se que para condutas de betão poderá ser admitida uma distribuição de temperatura em escada, ao longo do perímetro, a qual pode ser definida a nível nacional, sendo o valor recomendado para a diferença de temperatura 15°C.

Pelos motivos já referidos no ponto 2.18 deste relatório, considera-se adequado integrar no Anexo Nacional, este valor indicativo.

2.20 - Cláusula - A.1(1)

Nesta cláusula refere-se que as temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar à sombra podem ser definidas a partir de informação nacional disponível, nomeadamente, por meio de tabelas ou mapas de isotérmicas. Assim, no Anexo A apresentam-se, para o território de Portugal Continental, os mapas com o zonamento climático, para as condições de Inverno (Fig. 3) e de Verão (Fig. 4), determinados, respectivamente, com base no quantilho de 98% da distribuição de máximos anuais da temperatura do ar, e no quantilho de 2% da distribuição de mínimos anuais da temperatura do ar. Os valores apresentados encontram-se referidos à cota zero. Para obter os valores a cotas diferentes deve utilizar-se o preconizado na EN 1991-1-5 e que consiste em subtrair $0,5^{\circ}\text{C}$ ao valor de T_{min} , por cada 100m de altitude, para as condições de Inverno, e $1,0^{\circ}\text{C}$ ao valor de T_{max} , por cada 100m de altitude, para as condições de Verão.

Apresenta-se na Tabela 5, no anexo deste relatório, os valores referentes as temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar à sombra para diversas estações meteorológicas de Portugal Continental.

Para as ilhas dos Açores e Madeira, adoptou-se um zonamento para a totalidade de cada um dos arquipélagos. Assim para a Madeira deve ser adoptada a zona C ($T_{min} = 5^{\circ}\text{C}$) para as condições de Inverno e a zona B ($T_{max} = 40^{\circ}\text{C}$) para as condições de Verão. Relativamente aos Açores deve ser adoptada a zona C ($T_{min} = 5^{\circ}\text{C}$) para as condições de Inverno e a zona B ($T_{max} = 35^{\circ}\text{C}$) para as condições de Verão.

Encontrando-se o país dividido por concelhos apresentam-se nas listagens seguintes a relação de concelhos correspondentes às várias zonas climáticas, para as condições de Inverno (Tabela 2) e de Verão (Tabela 3).

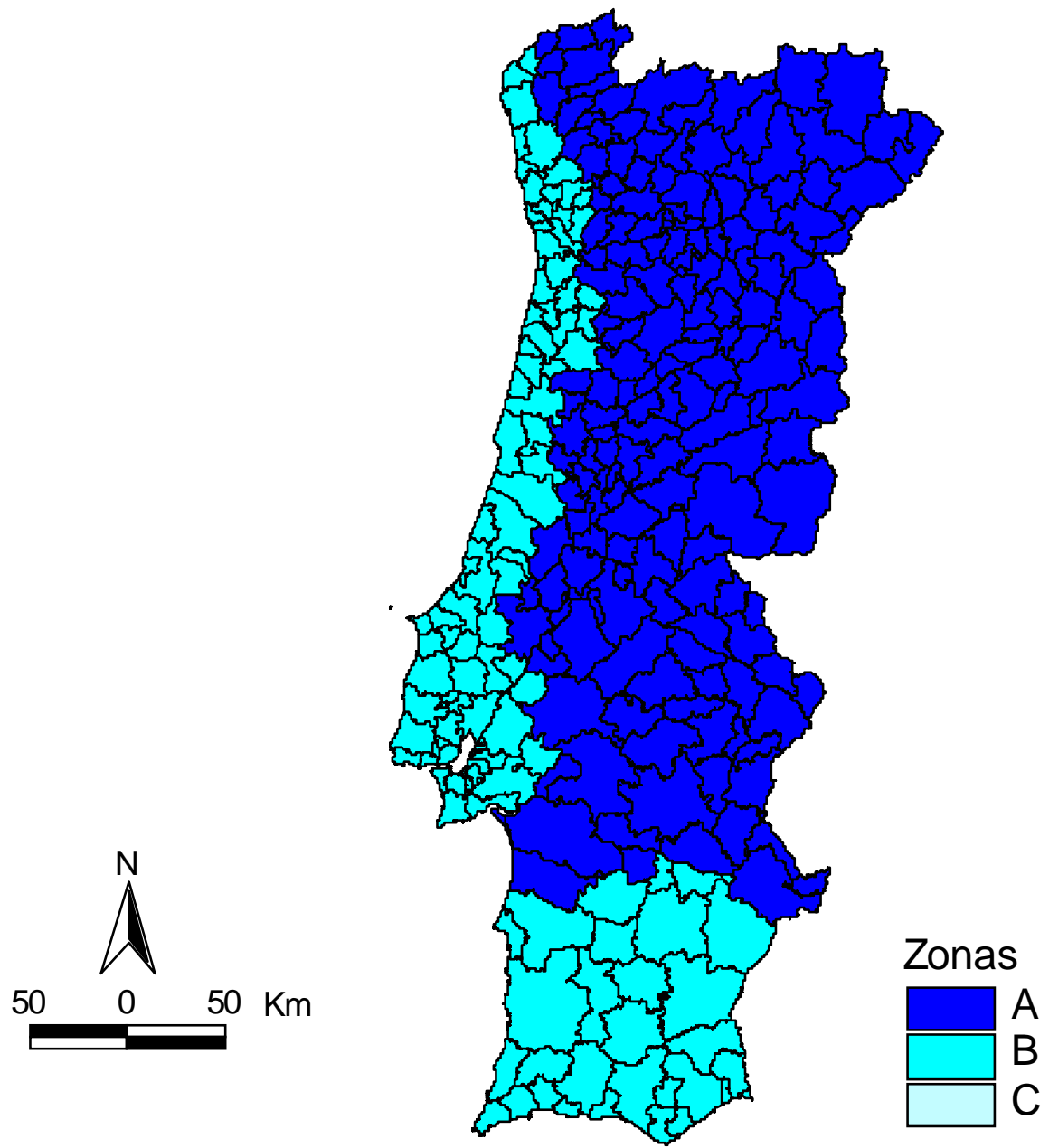


Fig. 3 – Continente: Zonamento climático para as condições de Inverno (T_{min})

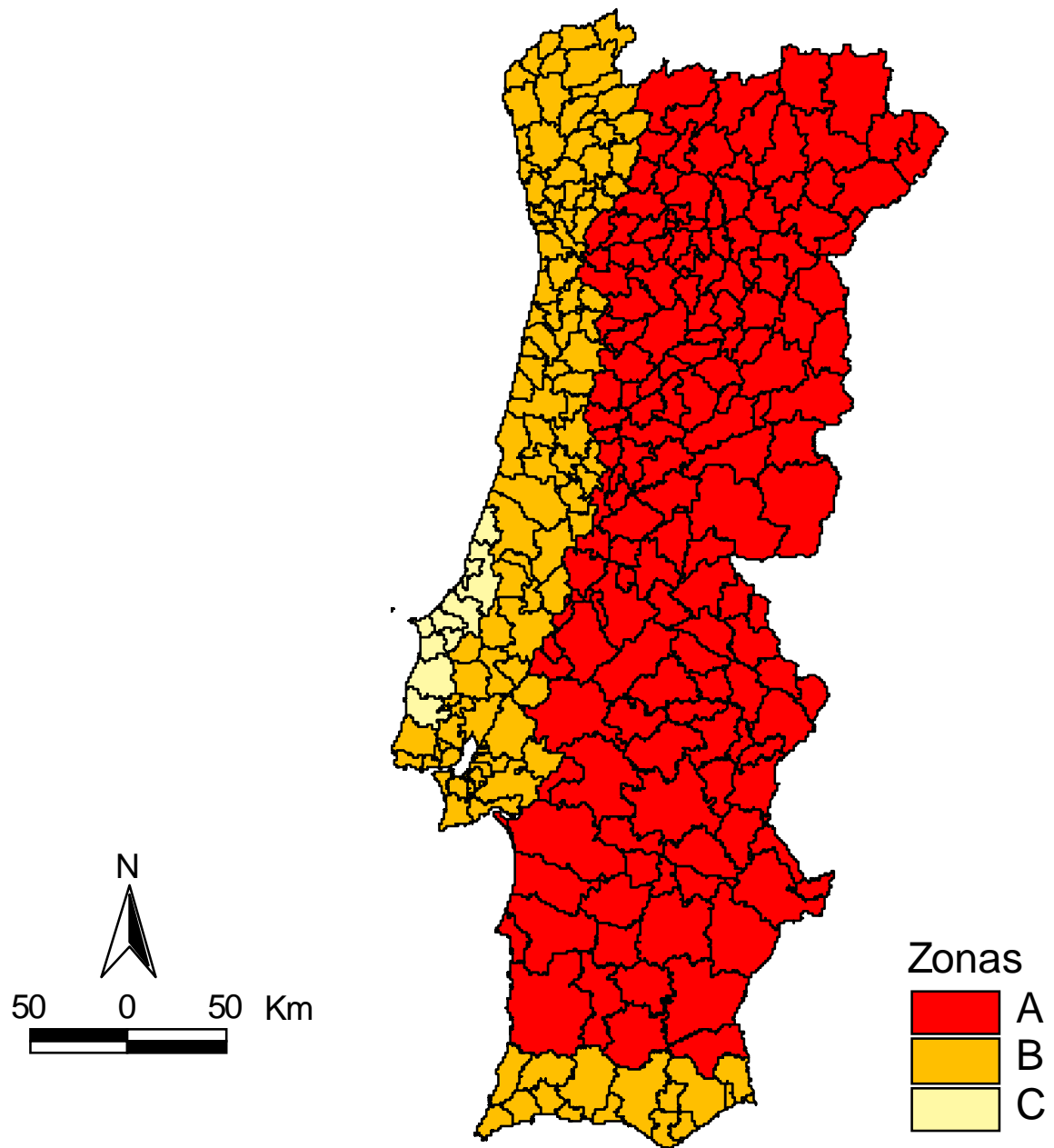


Fig. 4 – Continente: Zonamento climático para as condições de Verão (T_{max})

Tabela 2 – Distribuição dos Concelhos por zonas para as condições climáticas de Inverno

<p>Zona A</p> <p>Continente: Abrantes, Aguiar da Beira, Alandroal, Alcácer do Sal, Alcanena, Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Almeirim, Alpiarça, Alter do Chão, Alvaiázere, Alvito, Amarante, Amares, Anadia, Ansião, Arcos de Valdevez, Arganil, Armamar, Arouca, Arraiolos, Arronches, Avis, Baião, Barrancos, Belmonte, Borba, Boticas, Braga, Bragança, Cabeceiras de Basto, Campo Maior, Carraceda de Ansiães, Carregal do Sal, Castanheira de Pêra, Castelo Branco, Castelo de Paiva, Castelo de Vide, Castro Daire, Celorico da Beira, Celorico de Basto, Chamusca, Chaves, Cinfães, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Constância, Coruche, Covilhã, Crato, Elvas, Entroncamento, Estremoz, Évora, Fafe, Felgueiras, Ferreira do Zêzere, Figueira de Castelo Rodrigo, Figueiró dos Vinhos, Fornos de Algodres, Freixo de Espada à Cinta, Fronteira, Fundão, Gavião, Góis, Golegã, Gouveia, Grândola, Guarda, Guimarães, Idanha-a-Nova, Lamego, Lousã, Lousada, Mação, Macedo de Cavaleiros, Mangualde, Manteigas, Marco de Canaveses, Marvão, Mealhada, Meda, Melgaço, Mesão Frio, Miranda do Corvo, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Moimenta da Beira, Monção, Mondim de Basto, Monforte, Montalegre, Montemor-o-Novo, Mora, Mortágua, Moura, Mourão, Murça, Nelas, Nisa, Oleiros, Oliveira de Frades, Oliveira do Hospital, Ourém, Pampilhosa da Serra, Paredes de Coura, Pedrógão Grande, Penacova, Penafiel, Penalva do Castelo, Penamacor, Penedono, Penela, Peso da Régua, Pinhel, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Ponte de Sor, Portalegre, Portel, Póvoa de Lanhoso, Proença-a-Nova, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Resende, Ribeira de Pena, Sabrosa, Sabugal, Santa Comba, Dão, Santa Marta de Penaguião, Santarém, São João da Pesqueira, São Pedro do Sul, Sardoal, Sátão, Seia, Sernancelhe, Sertã, Sousel, Tábua, Tabuaço, Tarouca, Terras de Bouro, Tomar, Tondela, Torre de Moncorvo, Torres Novas, Trancoso, Valença, Valpaços, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vieira do Minho, Vila de Rei, Vila Flor, Vila Nova da Barquinha, Vila Nova de Foz Côa, Vila Nova de Paiva, Vila Nova de Poiares, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real, Vila Velha de Ródão, Vila Verde, Vila Viçosa, Vimioso, Vinhais, Viseu, Vizela, Vouzela</p>
<p>Zona B</p> <p>Continente: Águeda, Albergaria-a-Velha, Albufeira, Alcobaça, Alcochete, Alcoutim, Alenquer, Aljezur, Aljustrel, Almada, Almodôvar, Amadora, Arruda dos Vinhos, Aveiro, Azambuja, Barcelos, Barreiro, Batalha, Beja, Benavente, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Caminha, Cantanhede, Cartaxo, Cascais, Castro Marim, Castro Verde, Cuba, Espinho, Esposende, Estarreja, Faro, Ferreira do Alentejo, Figueira da Foz, Gondomar, Ílhavo, Lagoa, Lagos, Leiria, Lisboa, Loulé, Loures, Lourinhã, Mafra, Maia, Marinha Grande, Matosinhos, Mértola, Mira, Moita, Monchique, Montemor-o-Velho, Montijo, Murtosa, Nazaré, Óbidos, Odemira, Odivelas, Oeiras, Olhão, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ourique, Ovar, Paços de Ferreira, Palmela, Paredes, Peniche, Pombal, Portimão, Porto, Porto de Mós, Póvoa de Varzim, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santa Maria da Feira, Santiago do Cacém, Santo Tirso, São Brás de Alportel, São João da Madeira, Seixal, Serpa, Sesimbra, Setúbal, Sever do Vouga, Silves, Sines, Sintra, Sobral de Monte Agraço, Soure, Tavira, Torres Vedras, Trofa, Vagos, Vale de Cambra, Valongo, Viana do Castelo, Vidigueira, Vila do Bispo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Nova de Gaia, Vila Real de Santo António</p>
<p>Zona C</p> <p>Açores: Angra do Heroísmo, Calheta (R.A.A.), Corvo, Horta, Lagoa, Lajes das Flores, Lajes do Pico, Madalena, Nordeste, Ponta Delgada, Povoação, Ribeira Grande, Santa Cruz da Graciosa, Santa Cruz das Flores, São Roque do Pico, Velas, Vila da Praia da Vitória, Vila do Porto, Vila Franca do Campo</p> <p>Madeira: Calheta (R.A.M.), Câmara de Lobos, Funchal, Machico, Ponta do Sol, Porto Moniz, Porto Santo, Ribeira Brava, Santa Cruz, Santana, São Vicente</p>

Tabela 3 – Distribuição dos Concelhos por zonas para as condições climáticas de Verão

<p>Zona A</p> <p>Continente: Abrantes, Aguiar da Beira, Alandroal, Alcácer do Sal, Alcoutim, Alfândega da Fé, Alijó, Aljustrel, Almeida, Almeirim, Almodôvar, Alpiarça, Alter do Chão, Alvito, Amarante, Arganil, Armamar, Arouca, Arraiolos, Arronches, Avis, Baião, Barrancos, Beja, Belmonte, Borba, Boticas, Bragança, Cabeceiras de Basto, Campo Maior, Carrazeda de Ansiães, Carregal do Sal, Castanheira de Pêra, Castelo Branco, Castelo de Paiva, Castelo de Vide, Castro Daire, Castro Verde, Celorico da Beira, Celorico de Basto, Chamusca, Chaves, Cinfães, Constância, Coruche, Covilhã, Crato, Cuba, Elvas, Entroncamento, Estremoz, Évora, Ferreira do Alentejo, Ferreira do Zêzere, Figueira de Castelo Rodrigo, Figueiró dos Vinhos, Fornos de Algodres, Freixo de Espada à Cinta, Fronteira, Fundão, Gavião, Góis, Golegã, Gouveia, Grândola, Guarda, Idanha-a-Nova, Lamego, Lousã, Mação, Macedo de Cavaleiros, Mangualde, Manteigas, Marco de Canaveses, Marvão, Meda, Mértola, Mesão Frio, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Moimenta da Beira, Mondim de Basto, Monforte, Montalegre, Montemor-o-Novo, Mora, Mortágua, Moura, Mourão, Murça, Nelas, Nisa, Odemira, Oleiros, Oliveira de Frades, Oliveira do Hospital, Ourique, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penacova, Penafiel, Penalva do Castelo, Penamacor, Penedono, Peso da Régua, Pinhel, Ponte de Sor, Portalegre, Portel, Proença-a-Nova, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Resende, Ribeira de Pena, Sabrosa, Sabugal, Santa Comba Dão, Santa Marta de Penaguião, Santiago do Cacém, São João da Pesqueira, São Pedro do Sul, Sardoal, Sátão, Seia, Sernancelhe, Serpa, Sertã, Sines, Sousel, Tábua, Tabuaço, Tarouca, Tomar, Tondela, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vidigueira, Vila de Rei, Vila Flor, Vila Nova da Barquinha, Vila Nova de Foz Côa, Vila Nova de Paiva, Vila Nova de Poiares, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real, Vila Velha de Ródão, Vila Viçosa, Vimioso, Vinhais, Viseu, Vouzela</p>
<p>Zona B</p> <p>Continente: Águeda, Albergaria-a-Velha, Albufeira, Alcanena, Alcochete, Alenquer, Aljezur, Almada, Alvaiázere, Amadora, Amares, Anadia, Ansião, Arcos de Valdevez, Arruda dos Vinhos, Aveiro, Azambuja, Barcelos, Barreiro, Batalha, Benavente, Braga, Cadaval, Caminha, Cantanhede, Cartaxo, Cascais, Castro Marim, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Espinho, Esposende, Estarreja, Fafe, Faro, Felgueiras, Figueira da Foz, Gondomar, Guimarães, Ílhavo, Lagoa, Lagos, Leiria, Lisboa, Loulé, Loures, Lousada, Maia, Matosinhos, Mealhada, Melgaço, Mira, Miranda do Corvo, Moita, Monção, Monchique, Montemor-o-Velho, Montijo, Murtosa, Odivelas, Oeiras, Olhão, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ourém, Ovar, Paços de Ferreira, Palmela, Paredes, Paredes de Coura, Penela, Pombal, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Portimão, Porto, Porto de Mós, Póvoa de Lanhoso, Póvoa de Varzim, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santa Maria da Feira, Santarém, Santo Tirso, São Brás de Alportel, São João da Madeira, Seixal, Sesimbra, Setúbal, Sever do Vouga, Silves, Sintra, Sobral de Monte Agraço, Soure, Tavira, Terras de Bouro, Torres Novas, Trofa, Vagos, Vale de Cambra, Valença, Valongo, Viana do Castelo, Vieira do Minho, Vila do Bispo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Nova de Gaia, Vila Real de Santo António, Vila Verde, Vizela</p> <p>Madeira: Calheta (R.A.M.), Câmara de Lobos, Funchal, Machico, Ponta do Sol, Porto Moniz, Porto Santo, Ribeira Brava, Santa Cruz, Santana, São Vicente</p>
<p>Zona C</p> <p>Continente: Alcobaça, Bombarral, Caldas da Rainha, Lourinhã, Mafra, Marinha Grande, Nazaré, Óbidos, Peniche, Torres Vedras</p> <p>Açores: Angra do Heroísmo, Calheta (R.A.A.), Corvo, Horta, Lagoa, Lajes das Flores, Lajes do Pico, Madalena, Nordeste, Ponta Delgada, Povoação, Ribeira Grande, Santa Cruz da Graciosa, Santa Cruz das Flores, São Roque do Pico, Velas, Vila da Praia da Vitória, Vila do Porto, Vila Franca do Campo</p>

Chama-se a atenção para o facto da figura A.1 apresentada no Anexo A, da EN 1991-1-5, se encontrar mal graduada, devendo ter antes o aspecto da Fig. 5.

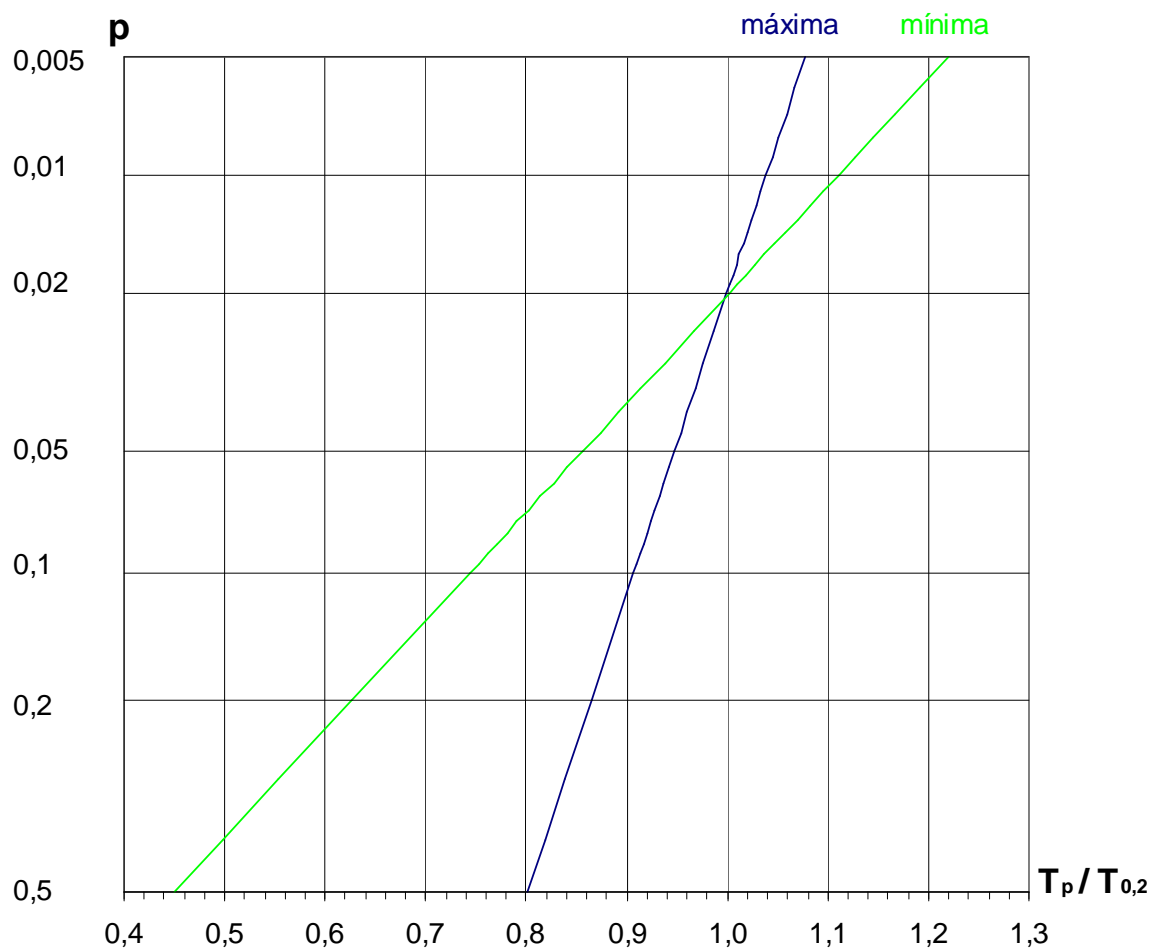


Fig. 5 – Relações $T_{max,p}/T_{max}$ e $T_{min,p}/T_{min}$

Ainda relativamente a esta figura deve referir-se que as curvas aí representadas foram obtidas para valores de k_1 (0,781), k_2 (0,056), k_3 (0,393) e k_4 (-0,156), totalmente desadequados às condições climáticas portuguesas, pelo que esta figura não deve ser utilizada.

2.21 - Cláusula - A.1(3)

Neste ponto, da EN 1991-1-5, refere-se que relativamente a um elemento estrutural, unicamente exposto às acções térmicas ambientais, a sua temperatura inicial T_0 na altura da conclusão pode ser obtida a partir da temperatura média do ar nesse período, uma vez que são idênticas. Nesta cláusula refere-se ainda que, se não existirem informações, T_0 pode ser considerado igual a 10°C. Este valor não se afigura adequado ao clima do território português, podendo, no entanto, ser definido no Anexo Nacional. Assim, tendo em consideração os dados climáticos portugueses, deve adoptar-se para T_0 o valor de 15°C.

Deve, no entanto, chamar-se a atenção para o facto dos elementos estruturais se encontrarem por vezes sujeitos, não só às acções térmicas ambientais, mas também a acções térmicas funcionais, como é por exemplo o caso dos reservatórios de água ou das câmara frigoríficas.

2.22 - Cláusula - A.2(2)

Nesta cláusula A2.2 do Anexo A, da EN 1991-1-5, estabelece-se uma relação entre os valores das temperaturas máxima (T_{max}) ou mínima (T_{min}) do ar que têm a probabilidade de serem ou não excedidos, de 0,02 e os valores das temperaturas máxima ($T_{max,p}$) ou mínima ($T_{min,p}$) do ar que têm a probabilidade de serem ou não excedidos, igual a p . Essa relação é calculada com base nos parâmetros k_1 , k_2 , k_3 e k_4 , os quais podem ser definidos a nível nacional.

Os parâmetros k_1 e k_2 permitem estabelecer a relação entre $T_{max,p}$ e T_{max} , e os parâmetros k_3 e k_4 permitem estabelecer a relação entre $T_{min,p}$ e T_{min} , utilizando as expressões seguintes:

$$T_{max,p} = T_{max} \{k_1 - k_2 \ln[-\ln(1-p)]\}$$

$$T_{min,p} = T_{min} \{k_3 + k_4 \ln[-\ln(1-p)]\}$$

onde:

$$k_1 = u.c / (u.c + 3,902)$$

$$k_2 = 1 / (u.c + 3,902)$$

$$k_3 = u.c / (u.c - 3,902)$$

$$k_4 = 1 / (u.c - 3,902)$$

Da análise dos pares de valores apresentados (k_1 , k_2 e k_3 , k_4), na EN 1991-1-5, conclui-se que foram deduzidos com base em distribuições de Extremos Tipo I, e que no caso da distribuição de máximos o produto “u.c” tem o valor de 13,9°C, enquanto que para a distribuição de mínimos este produto vale 2,5°C. Estes valores são totalmente desadequados às condições climáticas portuguesas, tal como já foi referido no ponto 2.20 deste relatório.

Para além do facto dos coeficientes “k” não estarem adaptados às condições climáticas de Portugal, a formulação proposta na EN 1991-1-5 não permite conhecer, para T_{\min} , valores de quantilhos diferentes do quantilho de 2%, no caso deste ser igual a zero, já que os outros quantilhos são obtidos utilizando um factor multiplicativo.

Apresentam-se, na Tabela 4, os valores destes coeficientes para as zonas do território nacional, definidas no Anexo Nacional da EN 1991-1-5.

Tabela 4 – Valores dos coeficientes “k” para o território português

Zona	T_{\min} (°C)	T_{\max} (°C)	K_1	K_2	K_3	K_4
A	-5	45	0,899	0,026	0,087	-0,234
B	0	40	0,886	0,029	Não determináveis	
C	5	35	0,870	0,033	1,913	0,234

Tal como se observa, na Tabela 4, acresce ainda o inconveniente dos factores “k” dependerem dos valores de T_{\min} e de T_{\max} .

Adoptando para o desvio padrão (s) das distribuições de máximos e mínimos, anuais, da temperatura do ar, o valor de 1,5°C, adequado às condições climáticas portuguesas, o valor do parâmetro “c”, das distribuições de extremos, obtém-se utilizando a expressão:

$$c = \frac{\pi}{\sqrt{6} s} = 0,855$$

Tendo em consideração o que se acaba de referir, deve ser utilizada a formulação seguinte, que é equivalente, à proposta na EN 1991-1-5, e não tem os inconvenientes anteriormente referidos:

$$T_{\min,p} = T_{\min} + \frac{\ln[-\ln(1-p)] + 3,9019}{c}$$

$$T_{\max,p} = T_{\max} - \frac{\ln[-\ln(1-p)] + 3,9019}{c}$$

2.23 - Cláusula - B(1) (Quadros B.1, B.2 e B.3)

Nos quadros B.1, B.2 e B.3, do Anexo B, definem-se os perfis da variação diferencial de temperatura apresentados nas figs. 6.2a, 6.2b e 6.2c, da cláusula 6.1.4.2 para diversas espessuras de revestimento.

Nestes quadros quantifica-se, a componente não linear da variação diferencial de temperatura, para a Abordagem 2. Como os valores aí apresentados não foram aferidos para as nossas condições climáticas e no Anexo Nacional se optou pela Abordagem 1, esses valores não devem ser utilizados.

Agradecimentos

Agradece-se à Dr. Fátima Espírito Santo, do Instituto Nacional de Meteorologia, a disponibilização de dados climáticos utilizados na execução deste relatório e à Dr.^a Anabela Martins, do Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas, do Departamento de Estruturas, do LNEC, o tratamento gráfico relativo ao zonamento climático do território.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Julho de 2008

VISTO

O Director do Departamento
de Estruturas



João Almeida Fernandes

AUTORIA



Paulo Silveira
Investigador Principal

Chefe do Núcleo de
Observação de Estruturas

ANEXO

Tabela 5 – Valores característicos da temperatura do ar para Portugal Continental

Estação					Temperatura referida à cota real		Temperatura referida à cota 0m	
N.º	Nome	Lat. (N)	Long. (W)	Alt. (m)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)
5	MONCAO	42°04'	08°23'	80	-1,8	37,5	-1,4	38,3
23	BRAGA	41°33'	08°24'	190	-2,5	36,5	-1,6	38,4
32	MIRANDELA	41°31'	07°12'	250	-5,6	39,5	-4,4	42,0
35	MIRANDA DO DOURO	41°31'	06°17'	693	-7,8	36,7	-4,3	43,6
52	REGUA	41°10'	07°48'	65	-2,5	39,9	-2,2	40,6
55	PINHÃO/S. BARBARA	41°10'	07°33'	130	-3,0	40,5	-2,4	41,8
75	UISEU	40°40'	07°54'	443	-4,5	37,5	-2,3	41,9
82	GUARDA	40°32'	07°16'	1019	-6,0	32,6	-0,9	42,8
98	FUNDAO	40°08'	07°30'	495	-4,0	38,3	-1,5	43,3
105	ANADIA	40°26'	08°26'	45	-3,0	37,5	-2,8	38,0
107	COIMBRA/BENCANTA	40°13'	08°27'	35	-2,5	38,0	-2,3	38,4
121	S.PEDRO DE MUEL	39°45'	09°02'	40	-0,8	30,0	-0,6	30,4
132	SANTAREM	39°15'	08°42'	54	-1,8	39,2	-1,5	39,7
162	LISBOA/TAP. DA AJUDA	38°42'	09°11'	60	1,9	36,2	2,2	36,8
170	SETUBAL	38°33'	08°53'	35	-1,8	38,0	-1,6	38,4
174	ALCÁCER DO SAL	38°23'	08°31'	51	-3,0	39,5	-2,7	40,0
226	MORA	38°56'	08°10'	110	-3,6	40,2	-3,1	41,3
235	ELVAS	38°53'	07°09'	208	-3,5	41,0	-2,5	43,1
247	VIANA DO ALENTEJO	38°20'	08°03'	202	-1,9	41,2	-0,9	43,2
250	AMARELEJA	38°13'	07°13'	192	-3,5	42,0	-2,5	43,9
266	VILA R. S.ANTÓNIO	37°11'	07°25'	7	0,9	37,5	0,9	37,6
530	CABO CARVOEIRO	39°21'	09°24'	32	3,0	26,4	3,2	26,7
535	LISBOA/GEOFISICO	38°43'	09°09'	77	2,9	35,7	3,3	36,5
538	SAGRES	36°59'	08°57'	40	3,4	31,3	3,6	31,7
540	MONTE REAL/B.AEREA	39°50'	08°53'	52	-2,4	35,6	-2,1	36,1
542	SINES	37°57'	08°53'	15	3,3	27,7	3,4	27,9
543	VIANA DO CASTELO	41°42'	08°48'	16	-2,2	35,6	-2,1	35,8
546	PORTO/S.PILAR	41°08'	08°36'	93	-1,2	35,5	-0,7	36,4
554	FARO/AEROPORTO	37°01'	07°58'	8	1,8	36,5	1,8	36,6
557	ÉVORA	38°34'	07°54'	309	0,2	38,4	1,7	41,5
562	BEJA	38°01'	07°52'	246	-1,0	40,5	0,2	43,0
568	PENHAS DOURADAS	40°25'	07°33'	1380	-7,4	30,2	-0,5	44,0
570	CASTELO BRANCO	39°50'	07°29'	386	-1,1	39,8	0,8	43,7
571	PORTALEGRE	39°17'	07°25'	597	-0,5	37,8	2,5	43,8
575	BRAGANÇA	41°48'	06°44'	690	-6,7	36,4	-3,3	43,3

NOTA: T_{min} corresponde ao quantilho de 2% da distribuição de mínimos anual

T_{max} corresponde ao quantilho de 98% da distribuição de máximos anual

