



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Seminário Eurocódigos Estruturais: o início da sua aplicação em Portugal

Norma Portuguesa EN 1991-1-5

Eurocódigo 1 – Acções em estruturas

Parte 1.5 – Acções gerais

Acções térmicas

LISBOA • LNEC • 17 a 19 de Maio de 2010

© LNEC 2006

RSA vs. Eurocódigo



RSA

Decreto-Lei N.º 235/83
de 31 de Maio

Acção das variações de
temperatura

Artigo 17.º - Generalidades

Artigo 18.º - Var. uniformes

Artigo 19.º - Var. diferenciais

(2 páginas)

EN 1991-1-5 de 2009

- 1 - Generalidades
 - 2 - Classificação das acções
 - 3 - Situações de projecto
 - 4 - Representação das acções
 - 5 - Var. de tem. em edifícios
 - 6 - Var. de tem. em pontes
 - 7 - Var. de tem. noutras estr.
- Anexos A, B, C e D
Anexo Nacional

(48 páginas)

RSA - Prescrições

Art.º 17 – Devem ser consideradas variações uniformes e diferenciais de temperatura.

Art.º 18 – Variações uniformes de temperatura:

Estrutura	Não protegida	Protegida
Metálica	-25°C; +35°C	-10°C; +10°C
Betão armado	-15°C; +15°C	-10°C; +10°C
Madeira	-10°C; +10°C	

$$y_0 = 0,6; y_1 = 0,5; y_2 = 0,3$$

**Art.º 19 – Variações diferenciais de temperatura:
Não são indicados valores**

$$y_0 = 0,6; y_1 = 0,5; y_2 = 0,1$$

LISBOA • LNEC • 17 a 19 de Maio de 2010



Eurocódigo 1: Parte 1-5 Acções térmicas

Variações de temperatura em:

Edifícios (Cap. 5); Pontes (Cap. 6); Chaminés industriais, condutas, silos, reservatórios e torres de arrefecimento (Cap. 7)

Nas estruturas não expostas a variações de temperatura poderão não ser consideradas as acções térmicas (Cap. 3)

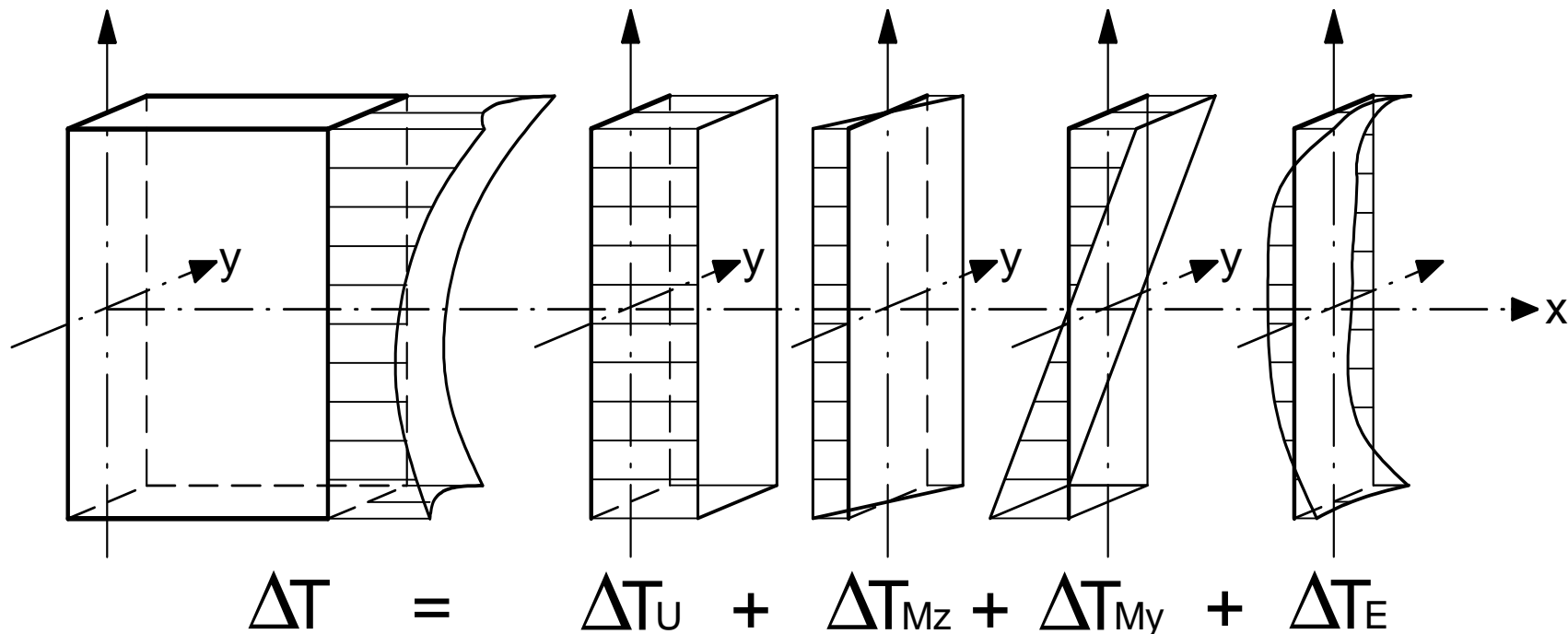
EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas

Edifícios: $y_0 = 0,6$; $y_1 = 0,5$; $y_2 = 0$

Pontes: $y_0 = 0,6$; $y_1 = 0,6$; $y_2 = 0,5$

Eurocódigo 1: Parte 1-5 Acções térmicas

Decomposição da distribuição de temperaturas





Variações de temperatura em edifícios

Variação uniforme de temperatura:

$$\mathbf{DT_U = T - T_0 \quad \text{onde } T = T_{\text{med}} ; T_0 = T_{\text{ini}}$$

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

Variação diferencial de temperatura:

$$\mathbf{DT_M = T_{\text{out}} - T_{\text{in}}}$$



Variações de temperatura em edifícios

Os valores de T_{in} e de T_{out} diferem consoante se trate de Verão ou de Inverno, sendo os valores de T_{out} calculados a partir dos valores das temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar à sombra, os quais se encontram indicados no Anexo Nacional.

	Verão	Inverno
T_{in}	$T_1: 25^{\circ}\text{C}$	$T_2: 18^{\circ}\text{C}$

Variações de temperatura em edifícios

Zonas de edifícios acima do solo

Os valores de Verão de T_{out} dependem da absorvidade da superfície exterior do edifício e da sua orientação.

	Superfície	Verão	Inverno
T_{out}	Clara brilhante	$T_{max} + T_3: 0^{\circ}\text{C}$	T_{min}
	Clara	$T_{max} + T_4: 2^{\circ}\text{C}$	
	Escura	$T_{max} + T_5: 4^{\circ}\text{C}$	



Variações de temperatura em edifícios

Zonas de edifícios acima do solo

Os valores de Verão de T_{out} obtidos no quadro anterior são válidos para superfícies horizontais ou viradas a Oeste. Para superfícies verticais com outra orientação devem ser afectados de um coeficiente de redução η [0,8;1] dado pela seguinte expressão empírica:

$$\eta = 0,9 + 0,1 \times \text{sen}[(\beta / 360)^{2,5} \times 360 - 90]$$

onde β representa o ângulo, em graus, que a normal exterior do elemento faz com o Norte

Variações de temperatura em edifícios

Zonas de edifícios enterradas

Os valores de T_{out} dependem da época do ano e da profundidade abaixo do solo

	Época	Prof.	Zona A	Zona B	Zona C
T_{out}	Verão	< 1m	$T_6: 18^{\circ}\text{C}$		
		> 1m	$T_7: 15^{\circ}\text{C}$		
	Inverno	< 1m	$T_8: 0^{\circ}\text{C}$	$T_8: 5^{\circ}\text{C}$	$T_8: 10^{\circ}\text{C}$
		> 1m	$T_9: 3^{\circ}\text{C}$	$T_9: 8^{\circ}\text{C}$	$T_9: 13^{\circ}\text{C}$



Variações de temperatura em pontes

Tipos de tabuleiro:

- Tipo 1: Metálico
- Tipo 2: Misto aço-betão
- Tipo 3: Betão

Abordagens possíveis para consideração da componente vertical da variação de temperatura:

- Abordagem 1 – Componente linear
- Abordagem 2 – Componente não linear

Variação uniforme de temperatura em pontes

Variação uniforme de temperatura (ΔT_N):

$$\Delta T_N = \Delta T_{N,exp} + \Delta T_{N,con} = T_{e,max} - T_{e,min}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 \quad : \text{ (Verão)}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} \quad : \text{ (Inverno)}$$

onde:

T_0 é a temperatura inicial do elemento estrutural (15°C) e $T_{e,max}$ $T_{e,min}$ são as temperaturas máxima e mínima do elemento estrutural



Variação uniforme de temperatura em pontes

As temperaturas máx. ($T_{e,max}$) e mín. ($T_{e,min}$) do elemento estrutural são função das temperaturas máxima e mínima do ar à sombra (T_{max} ; T_{min}), as quais se encontram definidas no Anexo Nacional

T_{max} – quantilho de 98% da distr. de máx. anuais

T_{min} – quantilho de 2% da distr. de min. anuais

Para a definição de T_{max} e T_{min} dividiu-se o território nacional em três Zonas para as condições de Inverno e três zonas para as condições de Verão.

Variação uniforme de temperatura em pontes

As temperaturas máx. ($T_{e,max}$) e mín. ($T_{e,min}$) do elemento estrutural dependem das temperaturas máxima e mínima do ar à sombra (T_{max} ; T_{min}), e também do tipo de estrutura e das condições climáticas:

	Aço (Tipo 1)	Mistas (Tipo 2)	Betão (Tipo 3)
Verão	$T_{e,max} = T_{max} + 15^{\circ}\text{C}$	$T_{e,max} = T_{max} + 3^{\circ}\text{C}$	$T_{e,max} = T_{max}$
Inverno	$T_{e,min} = T_{min} - 10^{\circ}\text{C}$	$T_{e,min} = T_{min} - 3^{\circ}\text{C}$	$T_{e,min} = T_{min}$



Variação uniforme de temperatura em pontes

Para a colocação de aparelhos de apoio e de juntas de dilatação devem considerar-se as seguintes amplitudes:

Se for especificada a temperatura de montagem:

$$\Delta T_{N,exp} + 10^{\circ}\text{C} \quad \text{e} \quad \Delta T_{N,con} + 10^{\circ}\text{C}$$

Se não for especificada a temperatura de montagem:

$$\Delta T_{N,exp} + 20^{\circ}\text{C} \quad \text{e} \quad \Delta T_{N,con} + 20^{\circ}\text{C}$$

Variação diferencial de temperatura em pontes

Optou-se pela Abordagem 1: Utilização de uma distribuição linear equivalente para as variações diferenciais de temperatura na direcção vertical

	Aço (Tipo 1)	Mistas (Tipo 2)	Betão (Tipo 3)
$\Delta T_{M,heat}$	18°C	15°C	15°C
$\Delta T_{M,cool}$	12°C	15°C	5°C

NOTA: Para espessuras de revestimento diferentes de 50mm, os valores deste quadro devem ser corrigidos com o coeficiente k_{sur}

Para a betonagem do fecho de pontes construídas por avanços em consola deve considerar-se:

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

Variação diferencial de temperatura em pontes

Apenas em casos particulares se deve considerar as variações diferenciais de temperatura na direcção horizontal, nos tabuleiros. Nestes casos deve adoptar-se o valor de 5°C.

Para os tabuleiros em viga caixão, de betão, devem considerar-se variações diferenciais de temperatura na direcção horizontal, entre as faces exteriores e interiores das almas, sendo o seu valor o seguinte:

Secções com consolas maiores do que a altura do tabuleiro 5°C, e 10°C nos restantes casos.

Actuação simultânea das variações uniforme e diferencial de temperatura em pontes

Sempre que seja necessário considerar a actuação simultânea das variações uniforme e diferencial de temperatura podem adoptar-se coeficientes de redução ω com valor idêntico ($\omega_N = \omega_M = 0,8$) de acordo com as seguintes expressões:

Condições de Verão	$\Delta T_{M,heat} + \omega_N \Delta T_{N,exp}$
	$\Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,heat}$
Condições de Inverno	$\Delta T_{M,cool} + \omega_N \Delta T_{N,con}$
	$\Delta T_{N,con} + \omega_M \Delta T_{M,cool}$



Actuação simultânea de variações uniformes de temperatura, distintas, em elementos de pontes

Quando elementos estruturais puderem estar sujeitos a variações uniformes distintas, e estas devem ser consideradas se provocarem efeitos desfavoráveis, devendo adoptar-se os seguintes valores:

15°C entre elementos principais (ex: tirantes, arcos)

10°C entre tirantes claros e as torres ou o tabuleiro

20°C entre tirantes escuros e as torres ou o tabuleiro

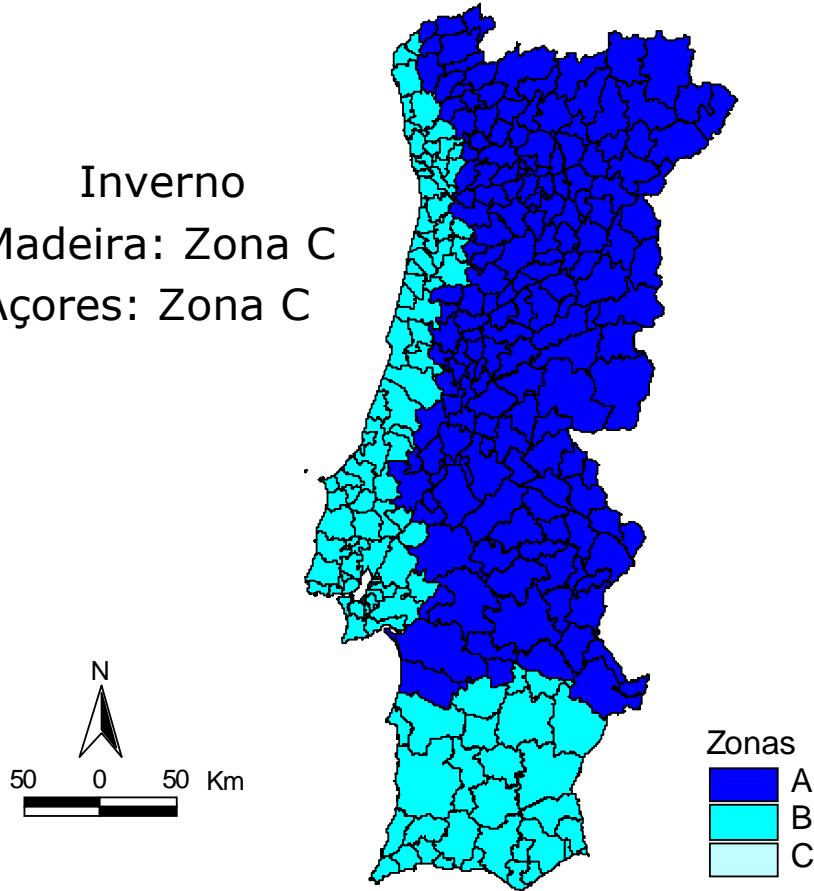
Variações diferenciais de temperatura, em pilares de pontes

O valor da variação diferencial de temperatura a considerar entre faces opostas de pilares de pontes, quer sejam vazados, quer sejam maciços é de 5°C .

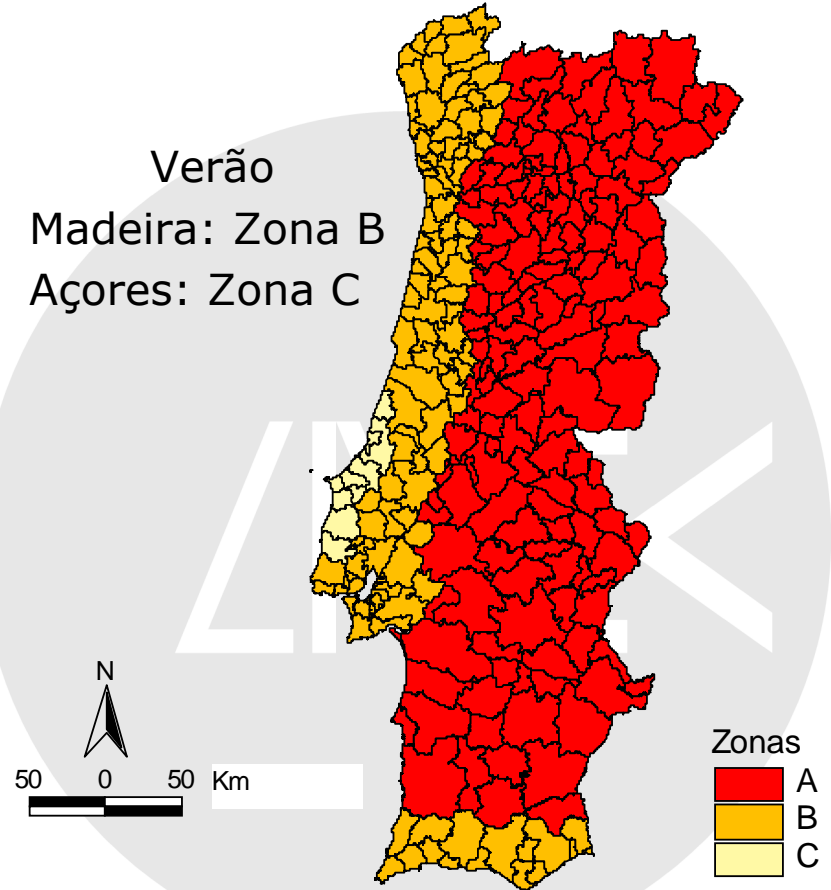
Em pilares com secção vazada deve considerar-se uma variação linear de temperatura de 10°C , entre as faces exteriores e interiores das suas paredes.

Zonamento climático de Portugal

Inverno
Madeira: Zona C
Açores: Zona C



Verão
Madeira: Zona B
Açores: Zona C



	Zona A	Zona B	Zona C
Verão (T_{\max})	45°C	40°C	35°C
Inverno (T_{\min})	-5°C	0°C	5°C

NOTA:
Subtrair 0,5°C/100m valores de T_{\min}
Subtrair 1,0°C/100m valores de T_{\max}

Determinação dos valores máximos (ou mínimos) da temperatura do ar à sombra para quantilhos diferentes de 0,98 (ou 0,02)

Para obtenção dos valores máximos (ou mínimos) de T_{ar} , com probabilidade (p) diferente de 0,02, de serem excedidos (ou não serem excedidos) podem utilizar-se as expressões seguintes:

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

considerando que o desvio padrão (s) tem o valor de $1,5^{\circ}\text{C}$, no território nacional, o valor de c será igual a:

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