

Proposta de novos valores de ΔT_e para adopção pelo RCCTE

Bragança, L*, E. Maldonado⁺

*Escola de Engenharia da Universidade do Minho
Dep^{to} de Engenharia Civil - Tel 351 53 510200, Fax 351 53 510217
Azurém, 4800 GUIMARÃES, PORTUGAL

⁺Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Dep^{to} de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial - Tel 351 2 2007455, Fax 351 2 312476
R. dos Bragas, 4099 PORTO CODEX, PORTUGAL

RESUMO

Os valores das Diferenças Efectivas de Temperatura (ΔT_e) usados no RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) e no cálculo das cargas térmicas de arrefecimento provenientes da envolvente opaca, são derivados dos publicados em metodologias estrangeiras, os quais foram calculados para elementos com características construtivas distintas das correntemente usadas em Portugal. Mostra-se que os valores de ΔT_e até agora disponíveis não conseguem representar de forma suficientemente precisa o comportamento térmico das paredes e das coberturas típicas portuguesas. São propostos novos valores de ΔT_e mais adequados que permitem uma melhor previsão do comportamento térmico de edifícios, um dimensionamento mais preciso de sistemas de climatização, e uma adequação dos correspondentes valores adoptados na regulamentação térmica de edifícios e de sistemas.

ABSTRACT

Improved values of the Cooling Load Temperature Difference for typical Portuguese walls and roofs are presented. They will allow for more precise studies of the thermal behaviour of buildings, more accurate sizing of air-conditioning systems, and updating the corresponding values in the building thermal regulations.

KEYWORDS

Rational Use of Energy, Energy in Buildings, Cooling Load, Thermal Inertia, Roofs

1. - INTRODUÇÃO

Por definição, a carga térmica de um local é a quantidade de energia que é necessário fornecer ou remover ao ar ambiente de modo que a sua temperatura se mantenha constante. O correcto dimensionamento dos sistemas de climatização requer que se conheçam em pormenor as cargas térmicas que actuam no local a climatizar. Por outro lado, a análise do

desempenho térmico dos edifícios requer também o conhecimento das cargas térmicas actuantes.

No Verão, a carga térmica de arrefecimento resulta da soma das cargas internas (ocupantes, equipamentos e iluminação) com as que provêm do exterior (radiação solar, renovação do ar e condução pela envolvente). Os ganhos de calor por condução através da envolvente, no entanto, devido à intensa radiação solar incidente sobre a envolvente, são substancialmente maiores do que os resultantes da simples diferença de temperaturas entre o exterior e interior. Assim, o cálculo das cargas térmicas provenientes da envolvente opaca faz-se geralmente com recurso aos valores de Diferenças Efectivas de Temperatura (ΔT_e), que contabilizam simultaneamente os efeitos da diferença de temperatura e da radiação solar. ΔT_e pode definir-se como a diferença de temperatura que deveria existir em regime estacionário entre o ar de ambos os lados de um elemento da envolvente, para que, na ausencia da radiação solar, os ganhos de calor fossem os mesmos da situação real. Os valores de ΔT_e são determinados pelo quociente entre os valores da carga térmica e o coeficiente global de transferência de calor em regime permanente do elemento opaco.

$$\Delta T_e(t) = \frac{\dot{Q}(t)}{K} \quad (1)$$

Este conceito foi também adoptado pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [1] para contabilização das necessidades de arrefecimento dos edifícios durante a estação quente.

Em Portugal os valores de ΔT_e normalmente usados, nomeadamente no RCCTE, são derivados dos publicados em metodologias estrangeiras, designadamente os publicados pela ASHRAE [2]. Os valores de ΔT_e disponíveis nessas publicações foram calculados para elementos da envolvente opaca com características substancialmente diferentes dos elementos correntemente usados em Portugal, conduzindo a sobredimensionamentos generalizados na avaliação das cargas térmicas. Justifica-se, portanto, calcular valores de ΔT_e mais correctos para as envolventes típicas utilizadas em Portugal.

Neste artigo são propostos novos valores de ΔT_e para paredes e coberturas mais adequados aos cálculos das cargas térmicas de arrefecimento para o dimensionamento de sistemas de climatização e para adopção no RCCTE, numa futura revisão. No próximo número desta revista será publicado um artigo onde se faz a aplicação prática dos valores agora propostos.

2. - MODELO MATEMÁTICO

Para determinar as cargas térmicas provenientes dos elementos opacos foi utilizado o método das Funções de Transferência. A determinação das cargas térmicas faz-se em duas etapas. A primeira consiste em determinar o fluxo de calor que atravessa o elemento opaco em regime instacionário e chega à sua superfície interior. O fluxo de calor depende das temperaturas exterior e interior, da radiação solar incidente e das propriedades térmicas dos materiais constituintes do elemento.

A segunda fase consiste em determinar a quantidade de calor transmitida por convecção directamente da superfície interior do elemento para o ar, e, indirectamente, desta para outras superfícies do espaço por radiação e, destas, por convecção para o ar. Este fluxo

de calor é designado por carga térmica e, devido às trocas radiativas entre os diversos elementos da envolvente, depende da capacidade de armazenamento térmico dos compartimentos, a qual é quantificada pelo parametro Inércia Térmica.

A função de transferência usada para determinar o fluxo de calor que chega à superfície interior de um elemento opaco tem a forma [3]:

$$\dot{q}(L, t) = \sum_{i=0}^{\infty} Y_i T(0, t - i\Delta) - \sum_{i=0}^{\infty} Z_i T(L, t - i\Delta) \quad (2)$$

onde Y_i e Z_i são os Factores de Resposta Térmica do elemento, e $T(0, t - i\Delta)$ e $T(L, t - i\Delta)$ são a temperatura fictícia ar-sol exterior e a temperatura interior, respectivamente, no instante $t - i\Delta$. Os Factores de Resposta Térmica dependem unicamente das propriedades térmicas dos materiais e podem ser calculados em computador com recurso a subrotinas do programa DOE-2 [4].

A conversão do fluxo de calor na superfície interior da parede em carga térmica do espaço é feita por recurso à função de transferência seguinte [3]:

$$\begin{aligned} \dot{Q}(t) = & v_0 \dot{q}(t) + v_1 \dot{q}(t-1) + v_2 \dot{q}(t-2) \\ & - \omega_1 \dot{Q}(t-1) - \omega_2 \dot{Q}(t-2) \end{aligned} \quad (3)$$

onde v_0, v_1, v_2, ω_1 e ω_2 são os Factores de Ponderação. Estes podem também ser calculados através de subrotinas do programa DOE-2 para tipos específicos de construções.

Como resultado da aplicação das expressões (2) e (3) obtém-se um conjunto de valores horários para a carga térmica proveniente de um determinado elemento. Para as condições climáticas típicas de um dia de Verão, cada parede será então caracterizada por um conjunto de 24 valores horários de carga térmica. Assim, a diferentes tipos de paredes corresponderão conjuntos diferentes de valores da carga térmica. No entanto, se se recorrer ao conceito de ΔT_e , verifica-se que muitas têm comportamentos semelhantes.

Conhecendo-se a área (A) do elemento opaco, o seu coeficiente global de transferência de calor em regime permanente e os valores de ΔT_e , a carga térmica instantanea pode então ser calculada por:

$$\dot{Q}(t) = A K \Delta T_e(t) \quad (4)$$

3. - DIFERENÇAS EFECTIVAS DE TEMPERATURA

De forma a evitar repetições desnecessárias, os resultados aqui apresentados referir-se-ão apenas a paredes orientadas a Sul e coberturas de cor escura, localizadas em zonas climáticas classificadas pelo RCCTE com o tipo V2 e delimitando espaços interiores a 25 °C. Para outras condições climáticas interiores ou exteriores é fácil calcular os respectivos valores de ΔT_e através da expressão:

$$\Delta T_e(t)_{\text{corr}} = \Delta T_e(t)_{V2} + (25,0 - T_{\text{int}}) + (\bar{T}_{\text{ext}} - 25,5) \quad (5)$$

em que T_{int} é a temperatura interior e \bar{T}_{ext} é a temperatura média exterior do dia de projecto da zona climática correspondente (por exemplo, na zona V1, \bar{T}_{ext} é igual a 23 °C). No final, apresentam-se também os resultados para paredes com outras orientações.

3.1. - Diferenças Efectivas de Temperaturas de Paredes de Alvenaria

Foram estudados todos os 454 tipos de paredes indicados na publicação do LNEC [5] referida pelo RCCTE, tendo sido utilizada, para cada um, a metodologia descrita em 2. Embora não haja duas paredes perfeitamente iguais, há muitas que se assemelham entre si. Portanto, e tal como noutros métodos, incluindo o RCCTE, as paredes cujo comportamento é semelhante foram agrupadas em três conjuntos homólogos em termos de mínimo e máximo do quociente \dot{q}/K , bem como das respectivas horas de ocorrência. O erro cometido nos casos mais desfavoráveis é de 10%, 11% e 15%, respectivamente para os grupos 1, 2 e 3.

Embora fosse possível reduzir a margem de erro pela consideração de maior número de grupos de paredes, entendeu-se manter, se bem que com critérios de agrupamento distintos, o número de grupos adoptado pelo RCCTE, sem prejuízo de poder ser feito um agrupamento mais preciso noutras publicações.

Ao Grupo 1 correspondem as paredes mais pesadas com menor amplitude térmica e maior atraso de propagação do calor do exterior para o interior. O Grupo 2 é constituído pelas paredes médias e o Grupo 3 é constituído pelas paredes mais leves e/ou paredes essencialmente sem isolante térmico. Na Tabela 1 faz-se uma indicação mais clara da classificação de alguns tipos de paredes mais comuns.

Na Tabela 1 isolou-se num grupo especial (0), a parede de blocos de granito de 40 cm com isolamento que tem um comportamento totalmente distinto das restantes, como se pode ver na Figura 1.

Nas Figuras 1 a 3 representam-se os valores horários de \dot{q}/K de diversas paredes integradas em cada grupo, incluindo as que se afastam mais da média, quer por excesso, quer por defeito.

Como se pode verificar, o resultado global é bom, havendo no entanto alguns casos em que a precisão poderia ser melhorada se fosse aumentado o número total de grupos, como já foi referido.

3.2. - Diferenças Efectivas de Temperaturas de Coberturas

Além de todos os tipos de coberturas indicados pelo LNEC [5], foram também estudadas as coberturas em desvão não ventilado e as coberturas em terraço sem camada de forma por serem usuais nos edificios portugueses. Para todos estes tipos de cobertura, foi ainda considerada a hipótese de as coberturas possuírem ou não isolamento e tecto falso suspenso, perfazendo um total de 720 tipos diferentes.

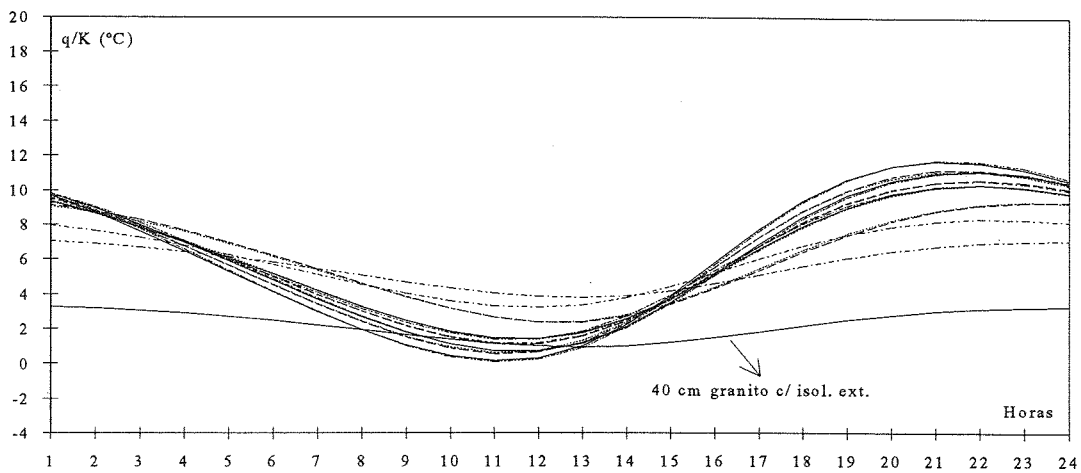


Figura 1 - Valores horários de ΔT_e das paredes do Grupo 1

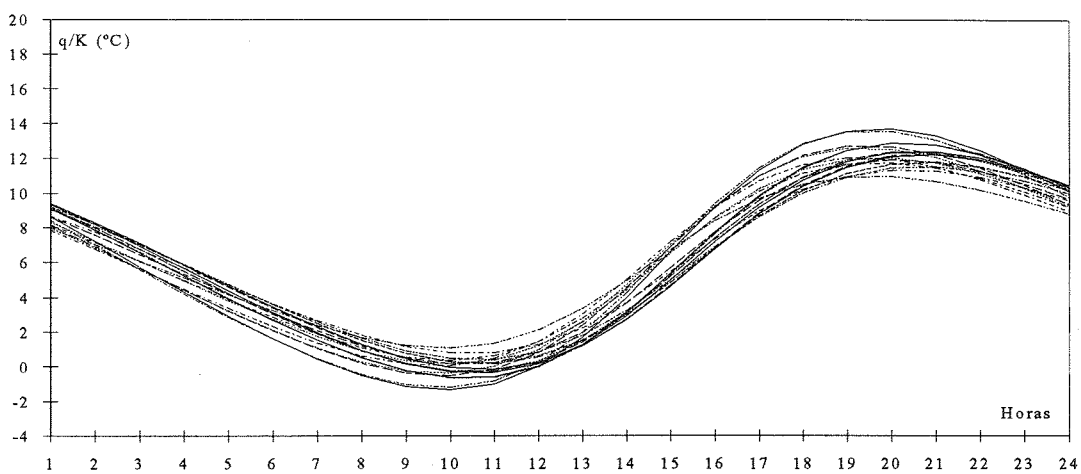


Figura 2 - Valores horários de ΔT_e das paredes do Grupo 2

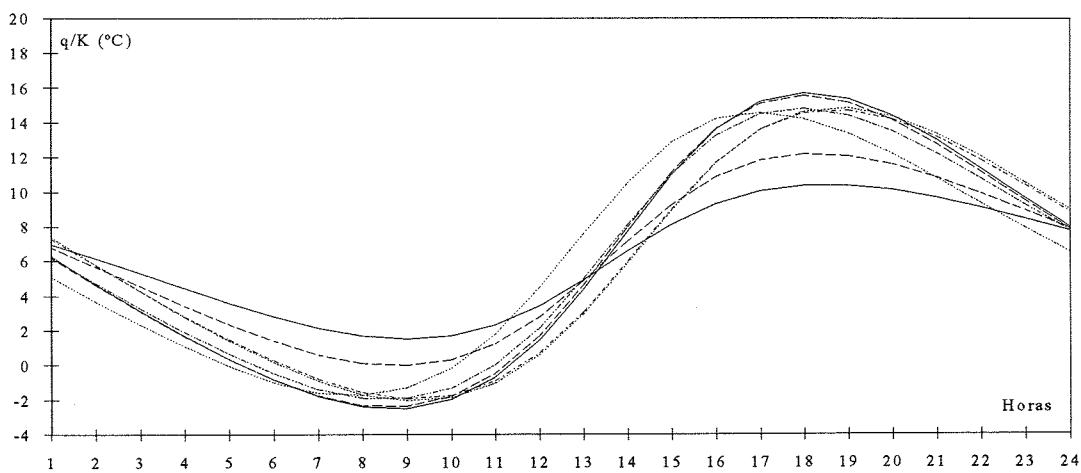


Figura 3 - Valores horários de ΔT_e das paredes do Grupo 3

Tabela 1 - Classificação das paredes.

Grupo	Tipo de parede	ΔT_e med (°C)	Hr Min (h)	Hr Max (h)	ΔT_e Min (°C)	ΔT_e Max (°C)
0	Bl. de granito (40 cm) c/ is. ext.	1.8	13	24	1.0	3.3
1	Dup. tij. perfur. ou maciço/fur. (15+11 cm) c/ is.	4.8	12	23	2.4	9.4
	Dup. tij. perfur. ou maciço/fur. (11+15 cm) c/ is.	4.9	12	23	2.4	9.4
	Bl. de granito (40 cm) c/ is. int.	4.9	13	24	3.9	7.1
	Dup. tij. fur. (15+11 cm) c/ is.	5.1	12	22	0.7	11.2
	Dup. tij. fur. (11+15 cm) c/ is.	5.1	12	22	0.8	11.2
	Dup. bl. bet. nor. (15+10 cm) c/ is.	5.1	12	22	1.2	10.7
	Dup. tij. perfur. ou maciço/fur. (15+11 cm) s/ is.	5.1	12	22	1.4	10.4
	Dup. bl. bet. nor. (10+15 cm) c/ is.	5.2	11	22	1.2	10.6
	Dup. tij. perfur. ou maciço/fur. (11+11 cm) c/ is.	5.2	11	22	1.4	10.4
	Dup. tij. perfur. ou maciço/fur. (11+15 cm) s/ is.	5.2	12	22	1.5	10.4
	Dup. bet. nor. (10/20cm) e tij. fur. (11cm) c/ is.	5.3	11	22	0.6	11.2
	Dup. bet. nor. (10/20 cm) e bl. bet. (10cm) c/ is.	5.3	11	22	0.7	11.2
	Bl. de granito (40 cm) s/ is.	5.3	12	22	3.3	8.4
	Dup. bl. bet. leve (15+10 cm) c/ is.	5.4	11	21	0.1	11.8
	Dup. bl. bet. leve (10+15 cm) c/ is.	5.4	11	21	0.2	11.8
2	Dup. tij. fur. (15+11 cm) s/ is.	5.8	11	21	-0.2	12.2
	Dup. tij. fur. (11+15 cm) s/ is.	5.9	11	21	-0.2	12.2
	Dup. bl. bet. nor. (10+15 cm) s/ is.	5.9	11	21	0.2	11.8
	Dup. bl. bet. nor. (15+10 cm) s/ is.	5.9	11	21	0.2	11.8
	Dup. tij. perfur. ou maciço/fur. (11+11 cm) s/ is.	5.9	11	21	0.4	11.5
	Dup. tij. fur. (11+11 cm) c/ is.	6.0	11	21	-0.3	12.4
	Dup. bet. nor. (10/20cm) e tij. fur. (11cm) s/ is.	6.1	10	20	-0.3	12.3
	Dup. bet. nor. (10/20cm) e bl. bet. (10cm) s/ is.	6.1	11	20	-0.2	12.3
	Tij. duplex (22 cm) c/ is. ext.	6.2	10	20	0.8	11.3
	Dup. bl. bet. leve (15+10 cm) s/ is.	6.3	11	20	-0.6	12.8
	Dup. bl. bet. leve (10+15 cm) s/ is.	6.3	11	20	-0.6	12.9
	Tij. duplex (22 cm) c/ is. int.	6.3	10	20	0.2	11.9
	Bl. bet. leve (20 a 25 cm) c/ is. ext.	6.7	10	20	0.1	12.0
	Tij. simples (22 cm) c/ is. ext.	6.7	10	20	0.4	11.7
	Bl. bet. nor. (20 a 25 cm) c/ is. ext.	6.7	10	20	1.1	10.9
	Dup. bl. bet. leve (10+10 cm) c/ is.	7.0	10	20	-1.3	13.7
	Bl. bet. leve (20 a 25 cm) c/ is. int.	7.0	10	19	-0.5	12.7
	Tij. simples (22 cm) c/ is. int.	7.0	10	19	-0.4	12.5
	Bl. bet. nor. (20 a 25 cm) c/ is. int.	7.0	10	19	0.1	12.0
	Dup. tij. fur. (11+11 cm) s/ is.	7.1	10	20	-1.2	13.5
3	Bet. nor. (15 a 20 cm) c/ is. ext.	7.3	9	19	1.5	10.4
	Bet. nor. (15 a 20 cm) c/ is. int.	7.9	9	18	0.0	12.2
	Dup. bl. bet. leve (10+10 cm) s/ is.	8.2	9	19	-2.1	14.8
	Tij. duplex (22 cm) s/ is.	8.2	9	19	-1.9	14.7
	Bl. bet. nor. (20 a 25 cm) s/ is.	9.0	8	18	-1.9	14.8
	Bl. bet. leve (20 a 25 cm) s/ is.	9.1	9	18	-2.5	15.7
	Tij. simples (22 cm) s/ is.	9.1	9	18	-2.4	15.5
	Bet. nor. (15 a 20 cm) s/ is.	9.7	8	17	-1.7	14.6

[ΔT_e med] é a média dos valores de ΔT_e ocorridos das 10 às 22 horas. [Hr min] e [Hr Max] são, respectivamente, a hora de ocorrência do valor mínimo e máximo de ΔT_e . [ΔT_e Min] e [ΔT_e Max] são, respectivamente, o valor mínimo e máximo de ΔT_e .

As coberturas cujo comportamento é semelhante foram agrupadas em quatro grandes conjuntos, identificáveis pela tecnologia construtiva a eles associada, ou seja, Coberturas em Terraço, Coberturas Inclinadas ou Terraços sem Camada de Forma, Coberturas em Desvão Ventilado e Coberturas em Desvão Não Ventilado. Cada um destes grandes conjuntos, por seu lado, engloba quatro sub-conjuntos: com ou sem isolante térmico e/ou tecto falso suspenso. Há ainda a destacar mais quatro tipos de coberturas que se distinguem dos anteriores não só pelas suas características físicas mas também pelo seu comportamento térmico completamente distinto: 1) as coberturas em chapa metálica ou de fibrocimento, montadas em coberturas inclinadas ou em terraços; 2) as coberturas em desvão ventilado com esteira leve; 3) as coberturas em desvão não ventilado com esteira leve; e 4) as coberturas inclinadas com estrutura descontínua.

Os tipos de coberturas que constituem cada agrupamento estão claramente identificados na Tabela 2 e têm comportamentos térmicos homólogos em termos dos valores médio, mínimo e máximo do quociente q/K , bem como das respectivas horas de ocorrência.

Tabela 2 - Classificação das Coberturas.

Tipo de Cobertura	Tecto Falso	Isolante	Tipo de Laje de Esteira	q/K (°C)	Máx. (°C)	Hr Máx	Mín. (°C)	Hr Mín
Desvão	NÃO	SIM	Bl. cerâmicos	10,7	13,9	19	5,6	9
			Bl. de betão	10,1	13,9	20	5,6	10
			Laje maciça	10,6	14,4	20	5,2	9
Não	NÃO	NÃO	Bl. cerâmicos	12,5	16,7	18	3,3	8
			Bl. de betão	11,6	16,5	19	3,5	9
			Laje maciça	12,4	17,2	18	3,0	8
Ventilado	SIM	SIM	Bl. cerâmicos	10,0	12,5	20	6,9	10
			Bl. de betão	9,6	12,6	21	6,8	11
			Laje maciça	9,9	13,0	20	6,5	10
	SIM	NÃO	Bl. cerâmicos	11,6	15,5	19	4,3	9
Bl. de betão			10,7	15,2	20	4,5	9	
Laje maciça			11,4	16,0	19	3,9	9	

Tipo de Cobertura	Tecto Falso	Isolante	Tipo de Laje de Esteira	q/K (°C)	Máx. (°C)	Hr Máx	Mín. (°C)	Hr Mín
Desvão	NÃO	SIM	Bl. cerâmicos	7,1	10,4	20	3,2	10
			Bl. de betão	7,5	10,9	20	2,9	9
			Laje maciça	7,7	10,4	19	3,2	9
Ventilado	NÃO	NÃO	Bl. cerâmicos	8,4	12,6	19	1,4	9
			Bl. de betão	9,0	13,2	18	0,9	8
			Laje maciça	9,2	12,8	18	1,2	8
	SIM	SIM	Bl. cerâmicos	7,0	9,2	20	4,4	10
			Bl. de betão	6,7	9,3	21	4,3	11
			Laje maciça	6,9	9,6	20	4,0	10
	SIM	NÃO	Bl. cerâmicos	8,4	11,8	19	2,1	9
Bl. de betão			7,6	11,6	20	2,3	9	
Laje maciça			8,2	12,2	19	1,7	9	

(continua na página seguinte)

Tabela 2 - Classificação das Coberturas (continuação).

Tipo de Cobertura	Tecto Falso	Isolante	Tipo de Laje de Esteira	q/K (°C)	Máx. (°C)	Hr Máx	Mín. (°C)	Hr Min
Terraço	NÃO	SIM	Bl. cerâmicos (2 e 3 furos)	11,5	19,1	24	8,5	13
			Bl. cerâmicos (1 furo)	11,7	19,8	23	8,0	13
			Bl. de betão	11,7	19,8	23	7,9	13
			Laje maciça	12,0	19,6	23	8,0	12
	NÃO	NÃO	Bl. cerâmicos (2 e 3 furos)	12,2	20,8	23	6,9	12
			Bl. cerâmicos (1 furo)	12,4	21,8	22	6,1	11
			Bl. de betão	12,5	21,6	22	6,2	11
			Laje maciça	13,2	21,2	21	6,6	9
	SIM	SIM	Bl. cerâmicos (2 e 3 furos)	11,5	16,7	1	9,8	14
			Bl. cerâmicos (1 furo)	11,7	16,5	24	9,5	13
			Bl. de betão	11,7	17,2	24	9,6	13
			Laje maciça	11,7	17,4	24	9,6	13
	SIM	NÃO	Bl. cerâmicos (2 e 3 furos)	12,0	18,6	23	8,9	13
			Bl. cerâmicos (1 furo)	12,2	19,1	23	8,5	12
			Bl. de betão	12,2	19,2	23	8,4	12
			Laje maciça	12,7	18,5	22	9,0	12

Tipo de Cobertura	Tecto Falso	Isolante	Tipo de Laje de Esteira	q/K (°C)	Máx. (°C)	Hr Máx	Mín. (°C)	Hr Min
Inclinada	NÃO	SIM	Bl. cerâmicos	16,6	24,2	19	4,2	9
			Bl. de betão	17,8	25,4	18	3,1	8
			Laje maciça	17,9	24,3	18	4,1	8
ou Terraço	NÃO	NÃO	Bl. cerâmicos	19,4	28,9	18	0,3	8
			Bl. de betão	20,9	28,9	17	0,4	7
			Laje maciça	21,0	30,5	18	-0,8	8
sem camada	SIM	SIM	Bl. cerâmicos	15,4	19,7	20	8,5	9
			Bl. de betão	14,7	20,8	20	7,7	10
			Laje maciça	16,0	22,4	19	5,2	9
de forma	SIM	NÃO	Bl. cerâmicos	18,4	25,7	18	3,0	8
			Bl. de betão	16,9	25,3	19	3,5	9
			Laje maciça	18,6	27,6	18	1,2	8

Tipo de Cobertura	Tecto Falso	Isolante	q/K (°C)	Máx. (°C)	Hr Máx	Mín. (°C)	Hr Min
Inclinada de Estrutura Descontínua	NÃO	SIM	29,7	51,5	13	-9,5	5
	NÃO	NÃO	30,4	51,1	13	-9,5	5
	SIM	SIM	31,9	49,5	14	-9,2	5
	SIM	NÃO	31,4	50,2	14	-9,3	5

Tipo de Cobertura	q/K (°C)	Máx. (°C)	Hr Máx	Mín. (°C)	Hr Min
Chapa	29,9	43,5	16	-7,9	6
Metálica ou de Fibrocimento	30,5	44,6	15	-8,2	6
	30,2	43,9	16	-8,0	6
	31,1	47,5	14	-8,9	5

Tipo de Cobertura	Tecto Falso	Isolante	q/K (°C)	Máx. (°C)	Hr Máx	Mín. (°C)	Hr Min
Desvão Não Ventilado	NÃO	SIM	17,0	24,9	14	-0,4	5
com Esteira Leve	NÃO	NÃO	17,2	24,8	14	-0,3	5
	SIM	SIM	17,3	24,2	15	-0,2	6
	SIM	NÃO	17,2	24,7	14	-0,3	5

Tipo de Cobertura	q/K (°C)	Máx. (°C)	Hr Máx	Mín. (°C)	Hr Min
Desvão Ventilado	13,3	19,9	14	-2,2	5
com Esteira Leve	13,4	19,8	14	-2,2	5
	13,5	19,3	15	-2,1	6
	13,3	19,9	14	-2,2	5

a coluna [q/K] é a média dos respectivos valores das 10 às 22 horas, conforme especificado no RCCTE [1], as colunas [Hr Min] e [Hr Max] são, a hora de ocorrência do valor mínimo e máximo de q/K, respectivamente, e as colunas [Min] e [Max] são, respectivamente, o valor mínimo e máximo de q/K.

O erro cometido com este agrupamento é praticamente nulo nas coberturas correntes, conforme se mostra nas Figuras 4 e 5.

Nas coberturas de estrutura descontínua e nas coberturas em desvão ventilado e não ventilado com esteira leve, em chapa metálica ou de fibrocimento, o erro é maior, conforme se mostra na Figura 6, dada a maior gama de soluções que englobam. Os desvios, no entanto, são sempre relativamente pequenos e, portanto, aceitáveis face ao fim a que se destinam.

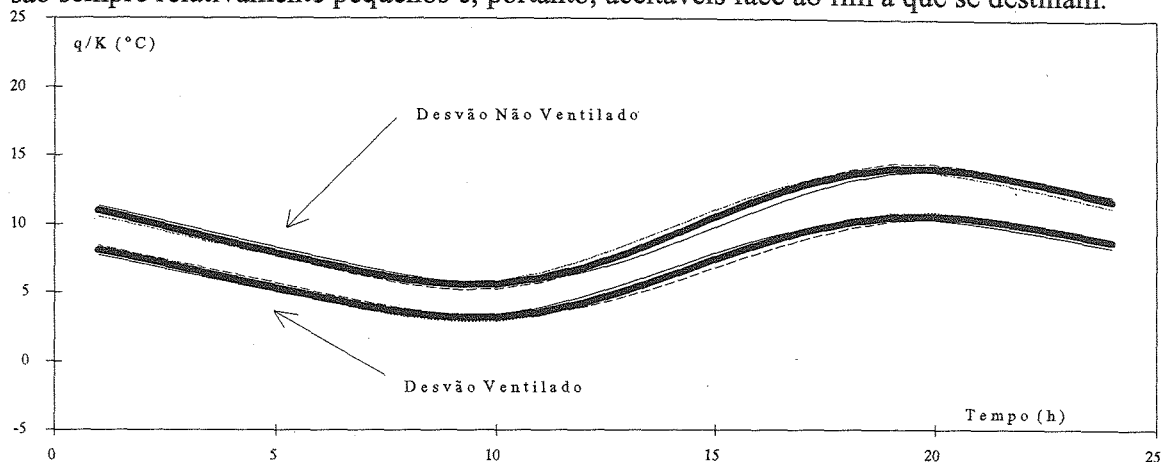


Figura 1 - Coberturas em Desvão sem Tecto Falso e com Isolante

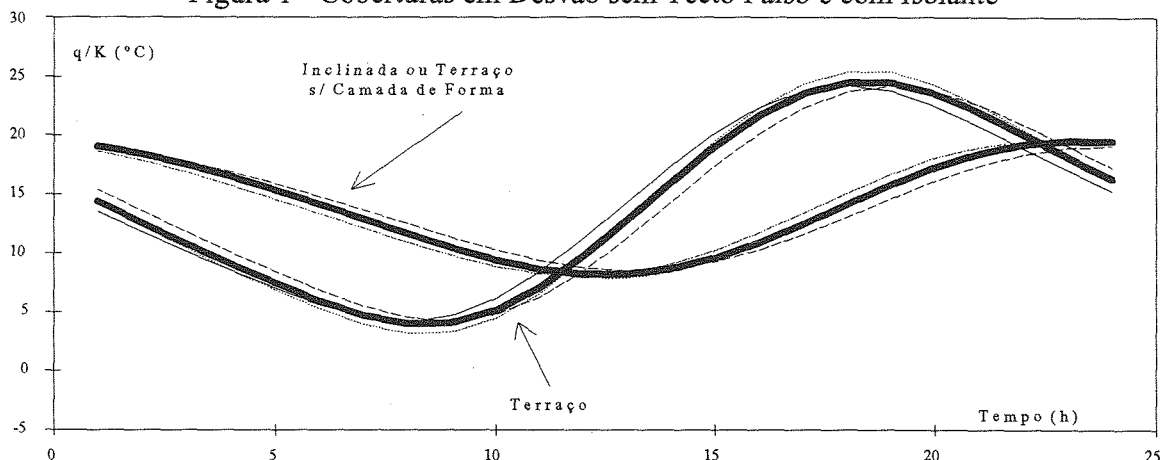


Figura 5 - Coberturas em Terraço e Cobertura Inclinada sem Tecto Falso e com Isolante

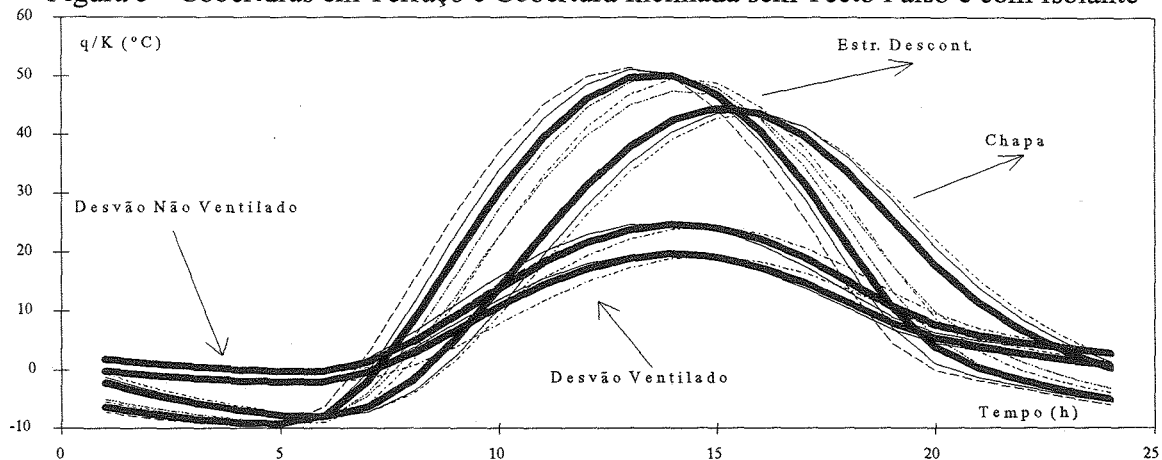


Figura 6 - Casos especiais de coberturas com ou sem Tecto Falso e com ou sem Isolante

4. - INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica dos edifícios é classificada no RCCTE em fraca, média ou forte consoante a massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento (I_t) é, respectivamente, inferior a 150 Kg/m^2 , entre 150 Kg/m^2 e 400 Kg/m^2 , e superior a 400 Kg/m^2 . Para se obterem os Factores de Ponderação correspondentes a estas classes de inércia foram feitas diversas simulações de edifícios para as quais I_t era aproximadamente igual aos valores médios de cada classe de inércia.

Com base nos valores dos Factores de Ponderação assim obtidos e nos valores horários do fluxo de calor (\dot{q}) obtidos na análise detalhada exposta na secção anterior foram calculados, através da equação 3, os valores médios da Diferença Efectiva de Temperatura [$\Delta T_e(t)$] para cada tipo de parede e de cobertura e para as três classes de inércia, segundo a hipótese de base do RCCTE [1].

Na Figura 7 mostram-se os valores de \dot{q}/K para uma cobertura em desvão não ventilado sem tecto falso e sem isolante térmico e os correspondentes valores de $\Delta T_e(t)$ para as várias classes de inércia. Como se pode verificar, o efeito da inércia térmica é significativo quando comparados os valores instantâneos de $\dot{q}(t)/K$ com os valores $\Delta T_e(t)$ para cada classe de inércia, sendo portanto necessário contabilizar o efeito da inércia térmica quando se pretende precisão no cálculo das cargas térmicas de arrefecimento.

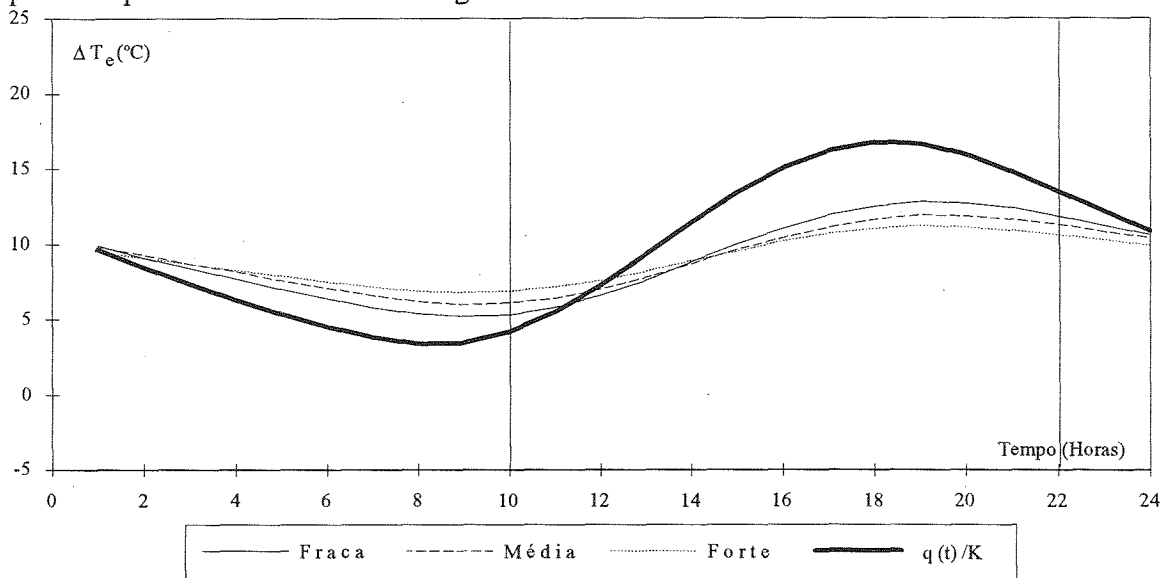


Figura 7 - Cobertura em Desvão Não Ventilado sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico

5. - PROPOSTA DE NOVOS VALORES DE ΔT_e PARA O RCCTE

No Verão os ocupantes dos edifícios recorrem à ventilação natural como meio para diminuírem a temperatura interior do edifício. Esta ventilação só faz sentido quando a temperatura exterior é inferior à interior, o que em geral acontece das 22 às 10 horas (Tempo Solar Verdadeiro). Deste modo, na análise do comportamento térmico dos edifícios pelo RCCTE, apenas se considera o valor médio da carga térmica no período compreendido entre as 10 e as 22 horas [6]. No resto do período, as cargas térmicas são removidas naturalmente

pela ventilação natural sem que daí resultem, portanto, consumos de energia. Assim os valores médios de ΔT_e no período referido são calculados pela expressão:

$$\Delta T_e = \frac{\dot{Q}(10) + \dot{Q}(11) + \dots + \dot{Q}(21)}{12} \quad (6)$$

Os novos valores de ΔT_e propostos para as paredes constam da Tabela 3, bem como os actualmente usados, para comparação. Em geral a maioria dos edifícios portugueses é classificada como tendo inércia térmica forte e, portanto, conforme se pode observar na Tabela 3, os valores propostos de ΔT_e , qualquer que seja o tipo de parede, são menores que os actuais. Para outros níveis mais baixos de inércia térmica, que se aproximem mais dos níveis habituais nos países de onde provêm as tabelas da ASHRAE, os valores são da mesma ordem de grandeza.

Tabela 3 - Valores propostos e existentes de ΔT_e no RCCTE (na zona V2)

Orientação	Inércia	Valores Propostos				Valores do RCCTE		
		Grupos				Grupos		
		0	1	2	3	1	2	3
Norte	Forte	-0,1	1,3	1,6	2,4	1,8	2,3	5,0
	Média	0,0	3,2	3,4	4,5	2,0	2,5	5,5
	Fraca	-0,1	2,9	3,3	4,9	2,4	3,0	6,6
Nordeste	Forte	1,4	3,4	4,0	4,9	5,0	6,3	9,5
	Média	3,1	7,2	8,0	9,4	5,5	7,0	10,5
	Fraca	3,1	7,4	8,5	10,4	6,6	8,4	12,6
Este	Forte	2,6	5,0	5,8	7,0	7,2	9,5	11,3
	Média	5,8	10,4	11,5	13,4	8,0	10,5	12,5
	Fraca	5,8	10,7	12,4	14,9	9,6	12,6	15,0
Sudeste	Forte	2,1	4,3	5,0	6,3	6,8	8,6	10,4
	Média	4,8	8,9	10,0	11,9	7,5	9,5	11,5
	Fraca	4,7	9,2	10,6	13,3	9,0	11,4	13,8
Sul	Forte	0,8	2,3	2,8	4,0	5,0	5,4	7,2
	Média	1,9	5,1	5,6	7,3	5,5	6,0	8,0
	Fraca	1,7	5,0	5,7	8,1	6,6	7,2	9,6
Sudoeste	Forte	1,8	2,9	3,3	4,9	5,9	5,9	10,4
	Média	4,4	7,0	7,2	9,4	6,5	6,5	11,5
	Fraca	4,2	6,4	6,8	10,0	7,8	7,8	13,8
Oeste	Forte	2,2	3,0	3,3	5,0	6,3	6,3	9,0
	Média	5,2	7,5	7,5	9,7	7,0	7,0	10,0
	Fraca	5,0	6,7	6,9	10,2	8,4	8,4	12,0
Noroeste	Forte	1,1	2,1	2,3	3,6	4,1	4,1	4,5
	Média	2,8	5,4	5,3	7,0	4,5	4,5	5,0
	Fraca	2,6	4,8	4,9	7,3	5,4	5,4	6,0

Em resultado da análise do comportamento térmico das coberturas, propõem-se na Tabela 4 novos valores de ΔT_e para adopção no RCCTE. Só se considera um valor de ΔT_e para cada tipo de cobertura porque, embora haja diferenças marcadas no comportamento dinâmico das coberturas (ver Figura 7), o seu valor médio no período das 10 às 22 horas, que é o adoptado pelo RCCTE, é sensivelmente o mesmo em todas as situações. Pela mesma razão, a dependência da inércia térmica do edifício acaba também por ser desprezável. Tomando como exemplo um dos casos que apresentam maiores variações [7], como as coberturas inclinadas de cor escura sem tecto falso e sem isolante, tem-se que ΔT_e toma valores de 17,6°C, 16,4°C e 16,0°C para, respectivamente, inércia fraca, média e forte. Para outros tipos de coberturas correntes, as diferenças são sempre inferiores a 0,5 °C; pelo que os valores de ΔT_e apresentados na Tabela 4 são independentes da classe de inércia do edifício. Na Tabela 4

também se apresentam os actuais valores de ΔT_e publicados no RCCTE para efeitos de comparação com os agora propostos. Como excepção à situação exposta aparecem as coberturas leves de chapa metálica ou de fibrocimento, as coberturas inclinadas de estrutura descontínua e as coberturas em desvão com esteira leve, sendo portanto necessário definir valores adequados para estes tipos de cobertura, em função do nível de inércia térmica do edifício, conforme se apresenta na Tabela 5.

Tabela 4 - Valores propostos e existentes de ΔT_e para coberturas correntes (na zona V2)

	Cor	Coberturas (°C)			
		Terraço	Incl. ou Terr. s/ cam. Forma	Desvão Ventilado	Desvão Não Ventilado
Proposta	Clara	4,1	5,8	2,6	3,5
	Escura	12,2	15,2	6,5	9,0
RCCTE	Clara	4,0	-	2,0	3,0
	Escura	11,5	-	7,5	10,0

Tabela 5 - Valores propostos de ΔT_e para coberturas leves (na zona V2)

Tipo de Cobertura	Cor	Inércia Térmica		
		Fraca	Média	Forte
Chapa metálica ou de fibrocimento	Clara	12,8	11,0	9,6
	Escura	27,1	24,0	21,5
Inclinada com estrutura descontínua	Clara	14,2	12,2	10,4
	Escura	28,8	25,5	22,5
Desvão Ventilado com esteira leve	Clara	5,2	4,6	4,1
	Escura	10,5	9,6	8,8
Desvão Não Ventilado com esteira leve	Clara	6,1	5,5	5,0
	Escura	13,3	12,3	11,4

6. - CONCLUSÃO

Os valores de ΔT_e propostos para paredes mostram claramente que, nos edifícios com inércia térmica forte, que são a regra quase geral em Portugal e em todos os países da orla mediterrânica, os valores de ΔT_e até agora disponíveis introduzem um erro superior a 30 % no cálculo das cargas térmicas.

O comportamento dinâmico das coberturas estudadas, típicas em Portugal e nos países da orla mediterrânica, é caracterizado por valores de ΔT_e não compatíveis com os até aqui disponíveis. Os valores que podem ser derivados das curvas apresentadas (Figuras 4 a 6), que não são aqui incluídos devido à sua extensão [7], permitirão um dimensionamento mais correcto de sistemas de climatização, evitando sobredimensionamentos sempre penalizadores da respectiva eficiência de funcionamento. Estes valores permitirão também um estudo mais preciso do comportamento térmico de edifícios não climatizados no verão, sendo um potencial auxiliar precioso para os projectistas adoptarem soluções que permitam naturalmente um grau de conforto térmico aceitável para os utentes desses edifícios.

Relativamente à regulamentação portuguesa (RCCTE), os valores agora propostos contribuem para o refinamento do processo de cálculo das necessidades nominais de arrefecimento e permitem também a consideração de um maior número de soluções construtivas comuns até aqui englobadas noutras tipologias mais latas, conduzindo, portanto, a erros importantes.

Uma classificação completa do comportamento térmico das paredes e das coberturas, será publicada brevemente [7], com o intuito de contribuir para o cálculo mais preciso das cargas térmicas de arrefecimento dos edifícios em Portugal. Desta forma, será possível evitar, na maioria das vezes, o recurso a sistemas de ar condicionado e, noutros casos, reduzir substancialmente a potencia instalada, aumentando a sua eficiencia. É dada, assim, uma contribuição positiva para o aproveitamento passivo da energia solar nos edifícios durante o Verão, e, dum modo geral, para a utilização racional de energia nos edifícios.

REFERÊNCIAS

- [1] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro (1990)
- [2] ASHRAE: Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, USA (1989)
- [3] Stephenson, D.G. and Mitalas, G.P.: "Cooling Load Calculation by Thermal Response Factor Method", ASHRAE Transactions 73(2):III.1.1. (1967)
- [4] York, D.A. and Capiello, C. (editores): DOE-2 Engineers Manual, Technical Information Center United States Department of Energy, USA (1982)
- [5] Santos, C.A.P. e Paiva, J.A.V.: Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envoltura dos Edifícios, LNEC (1990)
- [6] Oliveira Fernandes, E. e Maldonado, E.: Manual de Apoio ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Direcção Geral de Energia, Lisboa (1992)
- [7] Bragança, L.: Caracterização das Cargas Térmicas de Arrefecimento em Edifícios, Tese de doutoramento a submeter à FEUP (a publicar em 1995)