

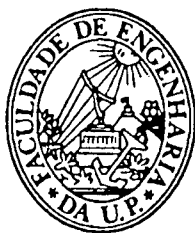
Luís Manuel B. de M. e Lopes

Caracterização das Cargas
Térmicas de A. em
Edifícios Pesados

DEMEGI
FEUP
1995

LUÍS MANUEL BRAGANÇA DE MIRANDA E LOPES

**CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS
TÉRMICAS DE ARREFECIMENTO EM
EDIFÍCIOS PESADOS**



FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

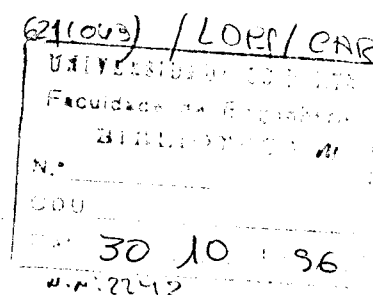
1995

LUÍS MANUEL BRAGANÇA DE MIRANDA E LOPES

DETECTOR

ALP

**CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS
TÉRMICAS DE ARREFECIMENTO EM
EDIFÍCIOS PESADOS**



Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica

Porto
1995

Publicação financiada pela
Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica

ÍNDICE	I
AGRADECIMENTOS	V
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
I.1. - Enquadramento do Tema	1
I.2. - Métodos de Cálculo de Cargas Térmicas	3
I.2.1. - Cargas Térmicas Provenientes da Envolvente Opaca	3
I.2.2. - Cargas Térmicas Provenientes dos Envidraçados	11
I.2.3. - Cargas Térmicas Provenientes dos Ganhos Internos	13
I.3. - Objectivo e Metodologia do Trabalho	13
CAPÍTULO II - MODELO MATEMÁTICO	17
II.1. - Introdução	17
II.2. - Factores de Resposta Térmica de Paredes	18
II.2.1. - Método das Transformadas de Laplace	19
II.2.2. - Resposta a um Degrau Unitário	23
II.2.2.1. - Solução para Paredes com uma Única Camada	23
II.2.2.2. - Solução para Paredes com Várias Camadas	26
II.2.3. - Resposta a Impulsos Triangulares	28
II.3. - Factores de Ponderação	30
II.3.1. - Balanço Térmico de um Compartmento	31
II.3.1.1. - Componentes do Balanço Térmico	31
II.3.1.1.1. - Condução de Calor na Superfície Interior das Paredes	32
II.3.1.1.2. - Convecção entre as Superfícies das Paredes e o Ar	33
II.3.1.1.3. - Radiação entre Duas Superfícies Interiores do Compartmento	33
II.3.1.1.4. - Trocas de Calor Associadas à Renovação do Ar	34
II.3.1.1.5. - Radiação Incidente nas Superfícies Interiores	35
II.3.1.2. - Balanço Térmico	35
II.3.1.3. - Resposta a Um Impulso Unitário	37
II.3.2. - Forma Final dos Factores de Ponderação	42
CAPÍTULO III - COMPORTAMENTO DE PAREDES E COBERTURAS	45
III.1. - Introdução	45
III.2. - Condições de Cálculo	45
III.2.1. - Temperatura Interior	48
III.2.2. - Temperatura Exterior	48
III.2.3. - Radiação Solar	51
III.2.4. - Temperatura Ar-sol	52
III.2.5. - Coeficiente de Absorção	52
III.2.6. - Coeficiente de Convecção	53
III.2.7. - Diferenças Efectivas de Temperatura	54
III.2.8. - Temperatura do Ar do Desvão das Coberturas	55
III.3. - Classificação das Soluções Construtivas	66

III.3.1. - Identificação das Soluções Construtivas	66
III.3.2. - Critério de Classificação	66
III.3.3. - Paredes	67
III.3.3.1. - Tipos de Paredes	67
III.3.3.2. - Discussão de Resultados e Análise de Erros	71
III.3.3.2.1. - Grupo 1	73
III.3.3.2.2. - Grupo 2	74
III.3.3.2.3. - Grupo 3	75
III.3.3.2.4. - Grupo 4	76
III.3.3.2.5. - Grupo 5	77
III.3.3.2.6. - Grupo 6	78
III.3.3.2.7. - Grupo 7	79
III.3.3.3. - Classificação de Paredes - Conclusão	79
III.3.4. - Coberturas	81
III.3.4.1. - Tipos de Coberturas	81
III.3.4.2. - Discussão de Resultados e Análise de Erros	88
III.3.4.2.1. - Grupo 1 - Coberturas em Terraço	90
III.3.4.2.1.1. - Com Isolante e Sem Tecto Falso	90
III.3.4.2.1.2. - Sem Isolante e Sem Tecto Falso	91
III.3.4.2.1.3. - Com Isolante e Com Tecto Falso	92
III.3.4.2.1.4. - Sem Isolante e Com Tecto Falso	93
III.3.4.2.1.5. - Chapa Metálica ou Fibrocimento Com Isolante Com ou Sem Tecto Falso e Sem Isolante Com Tecto Falso	94
III.3.4.2.1.6. - Chapa Metálica ou Fibrocimento Sem Isolante e Sem Tecto Falso	95
III.3.4.2.2. - Coberturas Inclinadas	96
III.3.4.2.2.1. - Com Isolante e Sem Tecto Falso	96
III.3.4.2.2.2. - Sem Isolante e Sem Tecto Falso	97
III.3.4.2.2.3. - Com Isolante e Com Tecto Falso	98
III.3.4.2.2.4. - Sem Isolante e Com Tecto Falso	99
III.3.4.2.2.5. - Estrutura Descontínua Sem Tecto Falso e Com ou Sem Isolante	100
III.3.4.2.2.6. - Estrutura Descontínua Com Tecto Falso e Com ou Sem Isolante	101
III.3.4.2.3. - Coberturas em Desvão	102
III.3.4.2.3.1. - Com Isolante e Sem Tecto Falso	102
III.3.4.2.3.2. - Sem Isolante e Sem Tecto Falso	103
III.3.4.2.3.3. - Com Isolante e Com Tecto Falso	104
III.3.4.2.3.4. - Sem Isolante e Com Tecto Falso	105
III.3.4.2.3.5. - Esteira Leve Com ou Sem Tecto Falso e Com Isolante	106
III.3.4.2.3.6. - Esteira Leve Com ou Sem Tecto Falso e Sem Isolante	107
III.3.4.3. - Classificação de Coberturas - Conclusão	108
 CAPITULO IV - CARACTERIZAÇÃO DA INÉRCIA TÉRMICA	 109
IV.1. - Introdução	109
IV.2. - Cálculo dos Factores de Ponderação	110
IV.3. - Caracterização dos Factores de Ponderação	114
IV.4. - Comportamento Térmico de Espaços Típicos	115
IV.4.1. - Estudo Prévio	116

IV.4.2. - Variações Paramétricas dos Espaços	122
IV.4.2.1. - Volumetria do Espaço	122
IV.4.2.2. - Dimensão do Vão Envidraçado na Parede Exterior	123
IV.4.2.3. - Tipo de Estrutura Horizontal	123
IV.4.2.4. - Acabamento do Pavimento	123
IV.4.2.5. - Acabamento do Tecto	124
IV.4.2.6. - Tipo de parede exterior	124
IV.5. - Classificação de Espaços Baseada na Amplitude e Atraso	125
IV.6. - Análise de Resultados	131
IV.7. - Proposta de Novos Valores de CLTD/CLF	133
IV.7.1. - Relação entre a Amplitude e a Inércia Térmica	134
IV.7.2. - Factores de Ponderação para cada Classe de Inércia	137
IV.7.3. - Valores de CLTD e CLF para cada Classe de Inércia	138
IV.7.4. - Valores Propostos de ΔT_e para adopção pelo RCCTE	139
IV.7.5. - Factores de Ponderação em Função da Massa Superficial Útil	140
IV.8. - Utilização e Extrapolação dos Resultados	142
IV.9. - Conclusões	143
 CAPÍTULO V - VALIDAÇÃO DOS NOVOS VALORES PROPOSTOS PARA O CÁLCULO DAS CARGAS TÉRMICAS DE ARREFECIMENTO	 145
V.1. - Introdução	145
V.2. - Instalação Experimental	145
V.2.1. - Descrição das Células de Teste	145
V.2.2. - Renovação do Ar nas Células de Teste	152
V.2.3. - Controlo da Temperatura nas Células de Teste	153
V.2.4. - Instrumentação das Células de Teste	153
V.2.5. - Cálculo da Potência de Refrigeração	154
V.2.6. - Experiências Realizadas	155
V.3. - Cálculo das Cargas Térmicas	156
V.4. - Resultados do Cálculo das Cargas Térmicas	157
V.4.1. - Cargas Térmicas da Célula Isolada (1ª experiência)	159
V.4.2. - Cargas Térmicas da Célula Não Isolada (1ª experiência)	160
V.4.3. - Cargas Térmicas da Célula Isolada (2ª experiência)	162
V.4.4. - Cargas Térmicas da Célula Não Isolada (2ª experiência)	163
V.4.5. - Cargas Térmicas da Célula Isolada (3ª experiência)	165
V.4.6. - Cargas Térmicas da Célula Não Isolada (3ª experiência)	166
V.5. - Conclusões	167
 CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO	 171
VI.1. - Conclusões	171
VI.2. - Perspectivas de Trabalho Futuro	172
 REFERÊNCIAS	 175

ANEXOS	
Anexo A - Inversão da Transformada de Laplace	181
Anexo B - Equivalência entre Transformadas	185
Anexo C - Programa para o Cálculo de Fluxos de Calor e Cargas Térmicas	187
Anexo D - Temperatura dos Diversos Tipos de Desvãos de Coberturas	195
Anexo E - Propriedades Térmicas dos Materiais	197
Anexo F - Factores de Resposta Térmica de Paredes	199
Anexo G - Factores de Resposta Térmica de Coberturas	207
Anexo H - Valores Instantâneos de CLTD para Paredes	225
Anexo I - Valores Instantâneos de CLTD para Coberturas	247
Anexo J - Valores Instantâneos de CLTD para Envidraçados	277
Anexo L - Valores Instantâneos CLF para Envidraçados	279
Anexo M - Valores Instantâneos de CLF para Iluminação, Ocupantes e Equipamentos	281
Anexo N - Guia para o Cálculo das Cargas Térmicas	283
Anexo O - Cálculo das Cargas Térmicas Utilizando os Novos Valores Propostos	293

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar o meu agradecimento ao Professor Eduardo Maldonado, orientador desta tese, pela sua sempre pronta colaboração, interesse manifestado, apoio, incentivo e grande disponibilidade demonstrada.

O meu agradecimento é também dirigido ao Professor Paulo Pereira, Director do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho por todo o apoio, incentivo e compreensão demonstrado durante a realização deste trabalho.

Quero ainda expressar o meu agradecimento às seguintes instituições:

- INIC - Instituto Nacional de Investigação Científica - pela concessão de uma bolsa de estudos sem a qual teria sido impossível a realização deste trabalho.
- FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - pelo apoio e colaboração prestados e pelos meios indispensáveis que pôs à disposição para a realização deste trabalho, nomeadamente o LECTE (Laboratório de Ensaios sobre o Comportamento Térmico de Edifícios), da responsabilidade conjunta do Professor Oliveira Fernandes e do Professor Eduardo Maldonado.
- UM - Universidade do Minho - por todas as facilidades concedidas.
- INETI - Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial - por todas as facilidades concedidas para a obtenção de dados indispensáveis à realização deste trabalho. Agradeço em especial ao Doutor Hélder Gonçalves, director do Projecto de Energia Solar Passiva.
- JNICT - Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica - pelo apoio financeiro fornecido para a publicação desta tese.

Agradeço também ao Eng^o Rocha e Silva pela ajuda dada na obtenção dos dados climáticos provenientes da estação meteorológica do LECTE da FEUP.

O meu apreço ainda por todos os colegas, quer do Departamento de Engenharia Civil da UM, quer da Secção de Fluidos e Calor do Departamento de Mecânica da FEUP, por todo o apoio e compreensão manifestados, e por todos aqueles que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

Finalmente o meu agradecimento a todos aqueles que em casa me ajudaram na realização desta tese.

CAPÍTULO I - Introdução

I.1. - Enquadramento do Tema

Desde sempre o Homem sentiu necessidade de se abrigar, quer por razões de segurança e privacidade, quer por motivos relacionados com o seu bem-estar. Durante uma grande parte do tempo, e dependendo do tipo de clima local, as condições climáticas externas diferem das que o Homem deseja ter para realizar confortavelmente as suas tarefas, daí a necessidade que sentiu em modificar o ambiente do espaço habitável. As construções protegem os ocupantes dos elementos agressivos da natureza, como a chuva, o vento, as tempestades e o Sol, entre outros, proporcionando um grau de conforto que inicialmente foi aumentando à medida que as técnicas construtivas foram evoluindo. Ainda hoje se pode verificar, através da simples observação das construções mais antigas, que a arquitectura tradicional esteve sempre ligada às especificidades locais do clima. Mais recentemente esta tendência deteriorou-se com a adopção de um novo estilo "mundial" de arquitectura, completamente desligado do clima [1].

Com o desenvolvimento da tecnologia, os métodos e mecanismos activos de condicionamento do ar nos edifícios, que existem desde a descoberta do fogo, têm vindo a ser gradualmente melhorados, proporcionando aos utilizadores mais e melhores condições de conforto. Mas este desenvolvimento também acarretou consigo um acréscimo dos consumos energéticos relacionados com a manutenção do conforto térmico. Nos anos mais recentes, a comunidade Mundial apercebeu-se que as fontes de energia não são inesgotáveis e ainda mais recentemente apercebeu-se também das gravíssimas consequências ambientais que os desregrados consumos energéticos provocam. Esta consciencialização provocou um esforço de investigação no sentido de determinar as condições térmicas preferidas pelo Homem, compreender a influência das tipologias dos edifícios na modificação das condições exteriores e aprender a dimensionar sistemas de condicionamento do ar que funcionem com menores consumos energéticos e consequentemente menores custos.

Como consequência resultou, ao nível dos países desenvolvidos, a publicação de normas e legislação que tentam impedir a construção de edifícios com mau comportamento térmico, em que o conforto é atingido artificialmente através de sistemas de climatização altamente consumidores de energia, nomeadamente sistemas com componentes pouco eficientes ou muito sobredimensionados.

Em Portugal só recentemente foi publicada a legislação referente a estas matérias. Assim, o Regulamento da Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [2] foi publicado em 1990 e o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE) [3] foi publicado em 1992. O atraso na publicação destas leis em relação aos restantes países industrializados foi motivado por uma falta de tradição de aquecimento ou refrigeração, quer devido às deficientes condições económicas que o país atravessou no passado, quer devido à existência de um clima relativamente moderado. Assim, só recentemente, após terem sido satisfeitas as necessidades e exigências funcionais mais básicas [4], se começou a verificar por parte da população em geral uma maior procura do conforto térmico dentro dos edifícios [5].

Atendendo ao exposto, torna-se pois necessário que se dimensionem correctamente os sistemas de aquecimento ou de refrigeração para reduzir os consumos ao mínimo estritamente necessário. Para tal é necessário saber com precisão qual a quantidade de energia a fornecer ou a retirar do ar ambiente. Esta quantificação conduz à definição de carga térmica como sendo a potência calorífica que é necessário fornecer ou retirar de um dado espaço para que as condições de conforto, como a temperatura e, nalguns casos, a humidade relativa, se mantenham constantes [6].

A carga térmica obtém-se fazendo o balanço energético do espaço considerado. Neste balanço distinguem-se quatro tipo de componentes distintas:

- Condução através da envolvente opaca, constituída por coberturas, pavimentos e paredes;
- Radiação solar através dos vãos envidraçados;
- Calor associado à renovação do ar interior, a qual pode ser motivada pela ventilação forçada, pela ventilação natural ou ainda pelas infiltrações;
- Calor libertado pelas fontes de calor internas, tais como equipamentos, iluminação e ocupantes.

Nos últimos anos, tem havido uma procura intensa de soluções rigorosas no cálculo de cargas térmicas, existindo actualmente métodos adequados de tratamento das diferentes componentes.

Actualmente, apesar de existirem ferramentas de cálculo muito poderosas, a maior parte dos projectistas portugueses de ar-condicionado ainda recorre ao cálculo manual ou semi-automático das cargas térmicas, quer por razões de facilidade deste cálculo quando comparado com a complexidade da entrada de dados em programas de cálculo rigorosos baseados em simulação ao longo de um ano, quer por razões de maior sensibilidade para os erros que muitas vezes se cometem e que não transparecem imediatamente quando se utiliza o cálculo automático. O cálculo manual das cargas térmicas faz-se com recurso ao método CLTD/CLF que tem vindo a ser sucessivamente publicado nos Handbooks of Fundamentals da ASHRAE desde 1977 [7 e 8]. Como os valores de CLTD e CLF tabelados foram calculados para envolventes e tipologias construtivas características dos E.U.A., as cargas térmicas calculadas com recurso a essas tabelas são normalmente muito superiores aos valores adequados aos edifícios portugueses de inércia elevada. Como prova desta afirmação basta ver que, mesmo para um edifício de granito que tem um comportamento de Verão muito favorável e que nunca necessita de ar-condicionado para manter condições de conforto, o método CLTD/CLF indica que há uma carga térmica positiva. A acrescentar a este erro, o projectista, por razões de segurança, majora habitualmente o resultado dos cálculos, tipicamente da ordem dos 25%, ou mais em certos casos, pelo que a potência instalada é normalmente bastante superior ao valor real das necessidades térmicas do edifício.

O objectivo deste trabalho é caracterizar as cargas térmicas dos edifícios típicos portugueses de tal forma que os projectistas possam reduzir a margem de segurança e determinar cargas térmicas que nos casos mais desfavoráveis terão o erro máximo

resultante da caracterização simplificada realizada, ou seja, da ordem dos 10%, um valor difícil de melhorar sem recorrer a modelos detalhados de simulação do comportamento térmico de edifícios e dos seus sistemas.

I.2. - Métodos de Cálculo de Cargas Térmicas

I.2.1. - Cargas Térmicas Provenientes da Envolvente Opaca

O cálculo de cargas térmicas provenientes da envolvente opaca dos edifícios tem vindo a evoluir desde os fins do século passado, altura em que se começaram a revelar importantes as técnicas de condicionamento do ar nas indústrias cujos produtos eram afectados pela temperatura e pela humidade [9]. Esta evolução tornou-se mais imperiosa a partir de 1920 com o aparecimento e generalização do uso de instalações de ar-condicionado destinadas a manter o conforto em edifícios públicos, tais como teatros, grandes armazéns e escritórios [9].

Inicialmente, o cálculo da quantidade de energia a remover ou a fornecer a um compartimento, de modo a manter o conforto ambiente, foi dificultado pela inexistência de dados climáticos fidedignos [10]. Este motivo, acrescido do facto de os cálculos terem de ser executados manualmente, foi determinante na escolha do método de cálculo da carga térmica baseado em condições climáticas constantes durante todo o período de tempo em estudo [11]. A carga térmica era igualada ao fluxo de calor através da envolvente, o qual era calculado em regime permanente por:

$$\dot{Q} = K A (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \quad (\text{I.1})$$

Este método não podia conduzir a resultados rigorosos uma vez que tanto a temperatura como a radiação solar variam continuamente com o tempo. Portanto, para encontrar maneira de superar estas dificuldades, realizou-se em 1895 a 1ª reunião anual da ASHVE (American Society of Heating and Ventilation Engineers) e em 1904 foi fundada a ASRE (American Society of Refrigeration Engineers). Estas duas organizações colaboraram activamente na formulação de "standards" e na publicação dos relatórios das experiências e investigações realizadas [10]. Em 1922 a ASHVE publicou o seu primeiro manual técnico, "Guide" [12], sobre a prática corrente em aquecimento e ventilação, e em 1932 a ASRE publicou a sua primeira colectânea de dados climáticos "Data Book" [13]. Estes manuais passaram a ser publicados anualmente, sendo as suas edições actualizadas e revistas, de modo a que os técnicos e investigadores pudessem dispôr das mais recentes informações para os seus projectos. Os ganhos de calor através da envolvente opaca continuavam, no entanto, a ser calculados pela equação I.1, e os valores das temperaturas de cálculo para as várias localidades e do coeficiente global de transferência de calor de algumas paredes e coberturas podiam ser consultados nos "Guide" e "Data Book". Quando a constituição das paredes ou coberturas em estudo fosse diferente da constituição dos elementos tabelados, o coeficiente global de transferência de calor podia ser calculado com base nos valores da conductibilidade térmica dos materiais constituintes:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_{\text{ext}}} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{1}{h_{\text{int}}} \quad (\text{I.2})$$

As duas principais limitações deste método eram, portanto:

- Desprezar a contribuição da radiação solar incidente na superfície exterior;
- Considerar o regime permanente.

Devido a esta última hipótese, este método considerava que toda a energia captada pela superfície exterior era transferida para a superfície interior, e, adicionalmente, por desprezar a capacidade de armazenamento térmico das paredes, não reproduzia o desfasamento no tempo entre o ganho máximo na superfície exterior e o ganho máximo na superfície interior. Mas, na realidade, a inércia térmica dos materiais constituintes dos elementos opacos da envolvente cria um desfasamento entre a absorção de calor periódica pela face exterior e a libertação de calor pela face interna. A inércia térmica do espaço, para o qual a envolvente contribui, provoca também um amortecimento das variações internas da temperatura. Este amortecimento é crescente, até certo ponto, com a espessura da parede [14].

O desejo de corrigir as limitações apontadas e entrar em consideração com a inércia térmica implicou abandonar o estudo em regime permanente, e obter uma solução exacta da equação de difusão de calor aplicada a elementos homogêneos e com uma variação periódica da temperatura exterior. A solução da equação de condução de calor para uma situação monodimensional:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (\text{I.3})$$

com as referidas condições de fronteira periódicas foi publicada em 1932 [15]:

$$\dot{Q}(t) = K A \left[f(T(t - t_i) - \bar{T}_{\text{ext}}) + \bar{T}_{\text{ext}} - T_{\text{int}} \right] \quad (\text{I.4})$$

Os valores de " t_i " e " f " para cada tipo de elemento e de condições climáticas, contudo, só foram publicados em 1939 [16] e em 1944 [17], sendo expressos em função dos parâmetros "inércia térmica" e "coeficiente de penetração de calor" ($\sqrt{k\rho c_p}$).

Esta solução corrigia os aspectos ligados ao regime permanente, mas continuavam ainda a ser ignorados os aspectos ligados à incidência da radiação solar. Para ultrapassar esta deficiência, surgiu em 1944 a ideia de substituir a temperatura ambiente exterior, T_{ext} , por uma temperatura fictícia, a temperatura ar-sol [17], que contabilizasse o efeito da incidência da radiação solar na superfície exterior. Com este artifício, podia obter-se directamente, como resultado, o fluxo de calor devido às duas variáveis climáticas exteriores, a temperatura e a radiação solar.

Mackey e Right [17] definiram a temperatura ar-sol como sendo a temperatura do ar exterior que, na ausência de trocas de calor por radiação, produz exclusivamente por convecção, na superfície exterior, o mesmo fluxo de calor que existe nas condições reais, devido às trocas de calor por absorção da radiação solar, emissão de energia de grande comprimento de onda e convecção para o ar exterior. A equação que define a temperatura ar-sol resulta então do balanço de energia fornecida à superfície exterior:

$$\dot{Q} = A \left[\alpha G_t + h_{\text{ext}}(T_{\text{ext}} - T_{\text{sup}}) - \varepsilon \Delta R \right] \quad (\text{I.5})$$

Recorrendo à definição de temperatura ar-sol, o calor fornecido à superfície exterior podia então calcular-se por uma equação do tipo:

$$\dot{Q} = h_{\text{ext}} A (T_{\text{as}} - T_{\text{sup}}) \quad (\text{I.6})$$

Igualando estas duas equações e resolvendo em ordem a T_{as} resulta:

$$T_{\text{as}} = T_{\text{ext}} + \frac{\alpha}{h_{\text{ext}}} G_t - \varepsilon \frac{\Delta R}{h_{\text{ext}}} \quad (\text{I.7})$$

Embora a solução apresentada seja genérica, era normalmente feita uma simplificação que consistia em atribuir valores fixos a ΔR , conforme a orientação da superfície em estudo. Esta simplificação baseava-se no facto de, nas superfícies horizontais, o valor de ΔR ser praticamente constante e igual a 63 W/m^2 [18], uma vez que essas superfícies apenas recebem a radiação de grande comprimento de onda emitida pelo céu.

As superfícies verticais recebem a radiação de grande comprimento de onda emitida pelo solo, pelos edificios vizinhos e pelo céu, o que dificulta o cálculo rigoroso de ΔR . No entanto, quando a radiação directa incidente é elevada, como é o caso que importa considerar quando se calculam as cargas térmicas de projecto, as superfícies a ela expostas têm uma temperatura superior à do ar exterior. Portanto, a energia emitida por estas superfícies compensa de certa forma a energia captada do solo, dos edificios vizinhos e do céu, o que permite considerar ΔR igual a zero para as superfícies verticais [18].

Com base nos registos de temperatura e de radiação existentes, poderiam pois ser organizadas tabelas de temperaturas ar-sol para as diversas localidades, para orientações distintas e para os vários quocientes de α/h_{ext} .

A equação I.4 foi posteriormente reescrita em 1948 por Stewart [19], que introduziu a noção de "diferença de temperaturas equivalentes":

$$\dot{Q}(t) = K A \left[f(T_{\text{as}}(t - t_i) - \bar{T}_{\text{as}}) + \bar{T}_{\text{as}} - T_{\text{int}} \right] = K A \Delta T_{\text{equiv.}} \quad (\text{I.8})$$

Esta noção, $\Delta T_{\text{equiv.}}$, possibilitou a organização de tabelas de diferenças de temperaturas equivalentes para vários tipos de elementos em função da orientação e

da hora do dia. Desta forma, para obter o ganho de calor através de um elemento da envolvente com uma dada orientação, bastava executar o produto:

$$\dot{Q}(t) = K A \Delta T_{\text{equiv.}} \quad (\text{I.9})$$

simplificando, assim, ainda mais o processo de cálculo.

As tabelas elaboradas por Stewart continham já valores para paredes constituídas por várias camadas homogêneas, o que era omitido até então. Para as paredes compostas, os valores obtidos representavam uma parede com uma única camada que sob o ponto de vista de fluxo de calor, se comportava de forma equivalente à parede composta de camadas múltiplas [20].

À medida que as capacidades de cálculo foram aumentando, começaram a surgir métodos mais sofisticados de resolução numérica [21 e 22] das equações diferenciais que regem os fenómenos de transferência de calor através dos vários elementos que constituem um edifício. No entanto, apesar da investigação ter permitido obter métodos de cálculo do ganho de calor mais precisos do que o simples cálculo em regime permanente, como descrito nos parágrafos precedentes, nem sempre os métodos de cálculo mais avançados foram adoptados por todos. Assim, cálculos em regime permanente continuaram a ser propostos até muito tarde. Até livros publicados em 1957 recomendavam ainda este método [10], vinte e cinco anos depois de já existirem métodos mais avançados.

A partir do início dos anos 50 começou a reconhecer-se que o ganho de calor instantâneo não é igual à potência calorífica a remover. No entanto, os cálculos continuaram a ser executados como até então e só em 1967 a ASHRAE, associação resultante da fusão da ASVE com a ASHRE, sugeriu, através do Handbook of Fundamentals, um procedimento claro e explícito para o cálculo de cargas térmicas, sendo dado um novo e significativo passo qualitativo no cálculo das cargas térmicas de arrefecimento [23]. Após ser calculado o ganho de calor instantâneo com recurso às diferenças de temperatura equivalentes (TETD - Total Equivalent Temperature Difference), a sua conversão em carga térmica era feita do seguinte modo:

- Separava-se o ganho de calor em duas partes: a parte convectiva e a parte radiante;
- A energia transferida por convecção constituía desde logo uma parcela da carga térmica;
- A energia transferida por radiação era ponderada durante 2 ou 3 horas, se se tratasse de uma construção de inércia leve, ou durante 6 a 8 se a inércia fosse pesada. Em ambos os casos, estes períodos começavam na hora em que ocorria o ganho de calor respectivo;
- A carga térmica instantânea era obtida pela soma da parcela convectiva com o integral ponderado da parcela radiante.

Este método, embora permitisse que o projectista fizesse juízos próprios na transformação de ganhos de calor instantâneos em cargas térmicas, requeria bastantes

cálculos que, apesar de serem simples, mecânicos e repetitivos, não deixavam de consumir bastante tempo. Por estas razões, alguns engenheiros organizaram, para seu uso pessoal [24], tabelas em que o ganho de calor horário dos elementos mais frequentemente usados já estava separado nas suas componentes convectiva e radiante.

Na busca de uma maior precisão os investigadores têm desenvolvido métodos para resolução numérica das equações diferenciais que exprimem o comportamento térmico dos edifícios, sendo estes métodos classificados [25], conforme as técnicas de resolução utilizadas, em:

- Diferenças Finitas;
- Elementos Finitos;
- Funções de Transferência.

Estes métodos permitem uma análise bastante mais detalhada e precisa do que os usados anteriormente, caracterizando-se pelo facto de utilizarem dados instantâneos para realizarem as simulações e apresentando-se cada um deles com diversas formulações [26, 27, 28 e 29]. No entanto, qualquer que seja a variante utilizada, nos métodos de Diferenças Finitas ou de Elementos Finitos, é sempre necessário resolver um sistema de equações em todos os instantes em que é necessário determinar uma temperatura ou um fluxo de calor, de modo que a aplicação destes métodos requer meios de computação poderosos, quer em termos de velocidade de cálculo, quer de memória.

O Método das Funções de Transferência evita a resolução instantânea das equações de balanço, utilizando uma técnica de substituição na qual, para cada elemento constituinte do edifício e para os espaços nele definidos, são calculados previamente e apenas uma única vez os coeficientes das respectivas funções de transferência que são utilizados durante toda simulação. Esta técnica tem a vantagem de tornar os programas bastante mais rápidos comparativamente com os métodos numéricos de diferenças finitas, em que, para cada passo de simulação o sistema das equações de balanço têm de ser resolvido.

Continuando a sua marcha no sentido da maior precisão dos cálculos, o Handbook of Fundamentals publicado em 1972 [30], descreve então dois métodos para o cálculo da carga térmica. Um continuava a ser o método TETD acabado de referir, mas juntamente com ele, é avançado um novo processo de cálculo, mais trabalhoso mas mais preciso do que o método TETD, designado pelo Método das Funções de Transferência [31 e 32], e onde o ganho de calor era calculado da seguinte forma:

$$\dot{q}(t) = A \left[\sum_{n=0} b_n (T_{as}(t - n\Delta)) - \sum_{n=1} d_n \left(\frac{\dot{q}(t - n\Delta)}{A} \right) - T_{int} \sum_{n=0} c_n \right] \quad (I.10)$$

Esta função de transferência traduz uma solução numérica precisa da equação básica da condução. Os coeficientes b_n , c_n e d_n obtêm-se, em transformada Z, pela razão entre a resposta a uma dada excitação e a própria excitação, relacionando portanto o

fluxo de calor na superfície interior do elemento opaco com a sua temperatura na superfície exterior [31].

Os coeficientes desta função de transferência foram calculados para uma temperatura interior constante, uma vez que a definição de carga térmica a isso obrigava. Hoje, no entanto, há outras versões de funções de transferência que permitem o uso de temperaturas interiores variáveis [33].

A utilização do método da função de transferência para a determinação do ganho instantâneo de calor através de uma parede ou cobertura obrigava então ao procedimento seguinte:

1. Identificar qual o elemento que se assemelhava mais com aquele que se pretendia estudar.
2. Usar os valores de b_n , c_n e d_n do elemento identificado em 1.
3. a) Para determinar o ganho de calor correspondente ao dia de projecto: usar os valores da temperatura ar-sol para um ciclo de vinte e quatro horas correspondentes à orientação, ao local e à época do ano.
b) Para proceder à análise do comportamento térmico do edifício ao longo de um determinado período: usar os valores da temperatura ar-sol correspondentes ao período de análise, à orientação e ao local.
4. Calcular, pela equação I.10, os sucessivos valores horários dos ganhos. No caso da determinação da carga térmica de projecto este processo é iterativo, mas de relativamente rápida convergência, já que bastam quatro ou cinco ciclos para que os resultados do último sejam idênticos aos do ciclo anterior.

Para transformar o ganho instantâneo de calor de um elemento em carga térmica do espaço aplicava-se depois a Função de Transferência do Espaço, que tinha a seguinte forma:

$$\dot{Q}(t) = A \left[\sum_{n=0} v_n \dot{q}(t) - \sum_{n=1} \omega_n \left(\frac{\dot{Q}(t)}{A} \right) \right] \quad (I.11)$$

Os coeficientes desta função de transferência são designados por Factores de Ponderação e estão tabelados [7 e 8] para três tipos de construção americana caracterizados por terem inércia leve, média ou forte. Tal como para a determinação do ganho de calor de projecto este é também um cálculo iterativo, em que a convergência se obtém com o mesmo critério exposto anteriormente, obrigando normalmente a quatro ou cinco ciclos de simulação.

A determinação das cargas térmicas pelo Método das Funções de Transferência, embora seja mais rigorosa que pelos métodos anteriores, necessita de muitos dados e obriga a processos iterativos, pelo que a sua utilização só é praticável com o recurso a um pequeno computador.

Invocando as razões apontadas, os projectistas continuaram a utilizar o método TETD até ser publicado em 1977 o método CLTD (Cooling Load Temperature Difference) [7]. Este método resultou de um projecto de investigação da ASRHAE [34] que tinha por objectivo eliminar as discrepâncias entre os valores calculados pelo método TETD e os valores que se podiam calcular pelo Método das Funções de Transferência.

Neste novo método, a carga térmica é calculada directamente pelo produto da área pelo coeficiente global de transferência de calor do elemento e pelos valores horários de CLTD que se encontram tabelados para alguns tipos de paredes e coberturas [7 e 8]:

$$\dot{Q} = K A \text{ CLTD} \quad (\text{I.12})$$

Este método retoma a forma simples da equação I.1 e é uma variante do método das funções de transferência, em que são eliminados os processos iterativos que tornavam o método de cálculo laborioso. Assim, os valores de CLTD resultam simplesmente do cálculo das cargas térmicas de um elemento pelo seguinte processo:

1. Cálculo do fluxo de calor não estacionário e monodimensional pelo Método das Funções de Transferência [31 e 32], em condições "standard":
 - Radiação solar incidente característica do dia 21 de Julho nos lugares situados a 40° de latitude Norte em condições de céu limpo, contabilizando o efeito da reflexão do solo (coeficiente de reflexão de 0,2).
 - Temperatura interior constante e igual a 25,5 °C.
 - Temperatura exterior variável com o valor máximo de 35 °C, ocorrendo às 15 horas TSV, e uma amplitude diária de 11,7 °C, ocorrendo a temperatura mínima às 5 horas TSV.
2. Conversão do ganho de calor calculado em carga térmica, através das Funções de Transferência do Espaço, sob condições de temperatura fixa.
3. Divisão dos valores horários da carga térmica assim calculados pelo coeficiente global de transferência de calor de cada elemento, resulta na quantidade que recebeu a designação de CLTD:

$$\text{CLTD} = \frac{\dot{Q}}{K A} \quad (\text{I.13})$$

4. Para situações diferentes das condições "standard", os valores de CLTD são corrigidos através de factores de correcção apropriados. O cálculo destes factores [7] baseia-se nas diferenças entre os valores reais e os valores "standard" de radiação e temperatura.

Para efectuar o cálculo de cargas térmicas em situações concretas, os utilizadores não têm mais do que inverter o processo, recorrendo à equação I.12, em que os valores de

CLTD são os tabelados em [7]. Existem valores de CLTD tabelados para quarenta e uma paredes, que foram catalogadas segundo sete comportamentos distintos designados por tipos: A, B, C, D, E, F e G. Quanto às coberturas, elas encontram-se classificadas em 13 tipos diferentes, designados numericamente por: 1, 2, ..., 13. Há ainda que considerar se as coberturas possuem ou não tecto falso suspenso, ou seja, na totalidade podem-se dispôr de 26 tipos diferentes de coberturas. A principal característica comum a cada tipo de elemento construtivo é a sua inércia térmica, não sendo especificamente contabilizada a inércia térmica do espaço ao qual pertence o elemento.

No Handbook of Fundamentals da ASHRAE de 1993 [8] o número de paredes foi substancialmente aumentado, tendo sido classificadas em 16 tipos. No entanto, agora, a descrição das paredes que pertencem a cada grupo é mais difícil de interpretar porque elas estão classificadas em função dos dois principais materiais constituintes, não se sabendo exactamente, para uma dada parede, quantas camadas possui, qual o material das camadas secundárias e a respectiva espessura. Em relação às coberturas, o Handbook of Fundamentals da ASHRAE de 1993 [8], reduziu o número de tipos de 26 para 10, e a sua descrição é similar à das paredes, e como tal, menos transparente em relação à constituição exacta e detalhada de cada cobertura.

De qualquer forma, para cada grupo, os valores de CLTD são iguais para todos os elementos lá incluídos, variando apenas com a orientação no caso das paredes. Para cada grupo de paredes estão discriminadas nos Handbooks of Fundamentals da ASHRAE [7 e 8] oito orientações: N, NE, E, SE, S, SW, W, e NW. No caso das coberturas, as grandes diferenças dizem respeito à cor da cobertura e à existência ou inexistência de tecto falso.

Para os elementos que não se encontram tabelados, os Handbooks of Fundamentals da ASHRAE [7 e 8] recomendam que a carga térmica por eles gerada seja calculada com recurso aos CLTD dos elementos que lhes são semelhantes em massa (inércia térmica) e coeficiente global de transferência de calor.

O método CLTD, que é correntemente o mais avançado método prático recomendado para o cálculo das cargas térmicas provenientes dos elementos opacos da envolvente, comporta algumas vantagens e desvantagens, como se passa a apresentar:

Vantagens:

- 1ª. A principal vantagem consiste em ser um processo de cálculo directo, não sendo necessário calcular ganhos de calor e posteriormente convertê-los em cargas térmicas. Estas são calculadas directamente com uma única operação de multiplicação.
- 2ª. A simplicidade das operações a efectuar possibilita a sua execução manual ou com o auxílio de uma calculadora de bolso sem grande dispêndio de tempo.

Desvantagens:

- 1ª. Tem-se em consideração um regime quasi-permanente, em que a variação da temperatura e radiação exteriores é periódica, de período igual a vinte e quatro horas. Assim, a quantidade total de energia transferida durante um dado período,

por exemplo um período de vinte e quatro horas, é igual à que se obteria em regime permanente se se considerasse a média das temperaturas ar-sol no mesmo período, ignorando, portanto, os efeitos da inércia térmica do espaço em situações reais em que dois dias seguidos não são iguais.

- 2ª Este método dá resultados correctos quando aplicado a elementos constituídos por materiais de construção típicos nos E.U.A. e quando a transferência de calor possa ser considerada monodimensional [35]. Nos demais casos, há que fazer algumas aproximações.

Hoje em dia, embora se reconheça que os Factores de Ponderação usados nas Funções de Transferência do Espaço que permitiram determinar os CLTD não cobrem todos os casos práticos [36], os últimos valores disponíveis, publicados em 1993, continuam a ser os mesmos que foram publicados nos Handbooks of Fundamentals da ASHRAE de 1977 a 1989.

1.2.2. - Cargas Térmicas Provenientes dos Envidraçados

A evolução dos métodos de cálculo das cargas térmicas provenientes dos envidraçados tem sido relativamente reduzida, ao contrário do que se passa com as cargas térmicas da envolvente opaca, conforme se viu na secção anterior. Desde os primórdios da civilização que o homem observa e estuda o Sol, conhecendo a sua trajectória aparente e a energia que atinge a superfície terrestre ao longo do ano. Por esta razão os ganhos de calor através do envidraçados foram sempre calculados com razoável precisão.

Os primeiros instrumentos capazes de medir, com precisão, a radiação solar foram construídos no final do século passado e início deste [37]. Assim, em 1893, Angstrom construiu o primeiro pireliómetro e, em 1902, Abbot construiu o segundo [37]. Estes instrumentos, em virtude da sua elevada precisão, foram também utilizados como referências para a calibração de outros aparelhos destinados a medir a radiação solar. Em 1905 foi estabelecida a primeira escala de medida de radiação, tendo sido designada por AS05 e baseava-se nas medições efectuadas pelo instrumento de Angstrom. Em 1913 foi estabelecida outra escala, designada por SS13 (Smithsonian Scale) e foi baseada no instrumento desenvolvido por Abbot.

Em 1956 foi estabelecida uma nova escala para as medições de radiação solar, IPS56 (International Pyrheliometric Scale), resultando por aplicação desta última que os valores de radiação medidos com base na AS05 eram 1,5 % mais baixos que os valores considerados reais. Por outro lado, os valores medidos com a escala SS13 quando foram comparados com os valores medidos com a escala IPS56, eram 2% mais elevados que os valores considerados reais em 1956. Em 1975 a WMO (World Meteorological Organization) adoptou uma nova escala, designada por SCRS (Solar Constant Reference Scale), que é cerca de 2% mais elevada que a IPS56, ou seja, os valores agora medidos são praticamente iguais aos medidos desde 1913 com a escala SS13 [37].

Para as localidades onde não houvesse dados medidos da radiação solar a estimativa dos seus valores de projecto podia ser feita com recurso ao manual técnico

"Guide" [12]. É de referir, a título de exemplo, que, segundo Kimura [38], a precisão do cálculo da radiação difusa em 1928 [39] era semelhante à de cálculos efectuados em 1962 [40] e em 1975 [41].

No final da década de 30 e início da de 40 surgiram publicações que continham tabelados valores da altitude, azimuth solar e ângulos de incidência da radiação directa sobre superfícies planas com diversas orientações [42 e 43].

A partir de 1942 surgiram as primeiras cartas solares, as quais vieram facilitar o cálculo da altitude e azimuth solar bem como dos ângulos de incidência dos raios solares sobre superfícies planas [44]. Na actualidade, estas cartas têm ainda utilidade, uma vez que representam visualmente o movimento do Sol, servindo para determinar os sombreamentos provocados por obstáculos que se situem entre o Sol e a superfície a estudar.

Inicialmente, o cálculo da componente da carga térmica devida aos envidraçados era igualada à soma dos fluxos de calor por radiação e por condução através do vidro, a qual era calculada por [10]:

$$Q = A \tau G_t + K A [T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}] \quad (\text{I.14})$$

A grande diferença desta expressão em relação ao cálculo de cargas térmicas praticado actualmente consiste na não contabilização do efeito de armazenamento térmico associado à inércia térmica do edifício.

A partir de 1965 é publicada pela primeira vez no Handbook of Air Conditioning da Carrier [45] uma metodologia que contabiliza o efeito do armazenamento térmico no cálculo das cargas térmicas. Neste manual, apesar de se publicar esta metodologia que representa um grande salto qualitativo no cálculo de cargas térmicas, continua a ser publicado o método tradicional onde os ganhos através dos envidraçados não são reduzidos por efeito da inércia térmica do edifício. Só a partir de 1967, com a publicação do método TETD no Handbook of Fundamentals da ASHRAE [23] é que passou a ser generalizadamente aceite a adopção de factores de redução dos ganhos solares do tipo dos actualmente utilizados [24, 46, 47 e 48]. Estes factores de redução dos ganhos solares e dos ganhos de condução têm variado ao longo dos últimos anos, variando também de autor para autor. No entanto, até ao presente, ainda se mantém a metodologia proposta em 1965, embora com uma formulação diferente [8]:

$$\dot{Q} = A S_v \text{SHGF CLF} + K A \text{CLTD} \quad (\text{I.15})$$

O recurso a valores de CLTD e CLF para o cálculo das cargas térmicas resultantes da penetração da radiação solar através dos envidraçados apresenta vantagens e desvantagens idênticas às enunciadas para as cargas térmicas provenientes da envolvente opaca. A principal limitação do método CLTD/CLF é a impossibilidade de contabilizar integralmente o efeito da inércia térmica do espaço. Na realidade os dias não são todos iguais, quer em termos de temperatura como de radiação, havendo sempre um armazenamento (ou dissipação) de energia de dia para dia nos diversos elementos construtivos constituintes do espaço que contribui para a carga térmica.

I.2.3. - Cargas Térmicas Provenientes dos Ganhos Internos

Os ganhos internos são constituídos pelo calor libertado pelos ocupantes, pelos equipamentos e pela iluminação. As correspondentes cargas térmicas são uma função directa da quantidade de calor produzido por essas fontes e da capacidade de armazenamento térmico do espaço, podendo as cargas térmicas, $(\dot{Q})$ em W/m^2 , ser calculadas pela seguinte expressão:

$$\dot{Q}(t) = GC \times CLF(t) \quad (I.16)$$

em que GC é o ganho instantâneo de calor da respectiva fonte, quer se trate de ocupantes ou de equipamentos ou de iluminação, cujas grandezas são conhecidas. CLF(t) são os valores instantâneos de CLF para Ocupantes, Iluminação e Equipamentos (CLF_{ocup}). Tal como para as cargas térmicas resultantes da penetração da radiação solar através dos envidraçados, só em 1965 [45] é que surge uma metodologia que contabiliza o efeito do armazenamento térmico no cálculo das cargas térmicas. No entanto, os factores de redução dos ganhos internos (CLF's) só passaram a ser utilizados generalizadamente partir de 1967 [23].

De notar que a expressão I.16 só se aplica às componentes sensíveis dos ganhos. As componentes latentes, derivadas, por exemplo, dos ocupantes e de alguns equipamentos, são sempre contabilizadas como cargas térmicas, não sendo afectadas pela inércia dos espaços.

I.3 - Objectivo e Metodologia do Trabalho

O trabalho desenvolvido tem como objectivo final caracterizar a carga térmica nas construções típicas portuguesas e dos países mediterrânicos, ultrapassando as limitações apontadas na secção anterior.

Essa caracterização será feita por meio de funções de transferência que, conforme exposto no Capítulo II, permitem calcular o fluxo de calor que atravessa a superfície interior das paredes e coberturas e convertê-lo em carga térmica do espaço. No Anexo C encontra-se a listagem de um programa, que apesar de ser muito simples, foi especialmente concebido para calcular os fluxos de calor e as respectivas cargas térmicas.

O fluxo de calor que atravessa um elemento opaco da envolvente é determinado com base no conhecimento dos elementos climáticos e das propriedades térmicas dos materiais que constituem esse elemento.

A carga térmica correspondente a um determinado elemento depende não só do fluxo de calor que atravessa o elemento como também da capacidade térmica de armazenamento do compartimento a que esse elemento pertence. A capacidade de armazenamento térmico dos espaços é variável e depende das inúmeras combinações possíveis de pavimentos com paredes interiores, coberturas e paredes exteriores, e das respectivas propriedades térmicas dos materiais constituintes.

Na construção civil portuguesa existe uma grande variedade de elementos opacos exteriores (paredes e coberturas) que limitam espaços com diferentes capacidades térmicas de armazenamento, o que torna inviável estudar caso a caso cada solução.

No sentido de viabilizar o estudo por forma a chegar à determinação de valores com interesse prático adoptou-se a seguinte metodologia:

- 1º Identificar tipologias para o comportamento térmico das paredes e coberturas (Capítulo III).
- 2º Identificar tipologias de comportamento térmico dos compartimentos (Capítulo IV), apresentando-se os factores de ponderação de cada uma das fontes de calor (radiação solar, iluminação, ocupantes e equipamentos, paredes e coberturas) adequados às diferentes tipologias.
- 3º Combinar os elementos opacos tipo com compartimentos tipo e determinar valores de ΔT_e adequados ao cálculo das cargas térmicas das construções típicas portuguesas. As cargas térmicas determinadas com recurso a estes valores de ΔT_e propostos são comparadas com os valores medidos em duas células de teste (Capítulo V). Desta comparação verifica-se que a adopção dos novos valores de ΔT_e propostos, em virtude de contabilizarem o efeito da inércia térmica do espaço, conduzem a cargas térmicas mais próximas das reais que os valores de CLTD publicados pela ASHRAE.

A aplicação dos resultados agora obtidos ao cálculo das cargas térmicas para o dimensionamento dos equipamentos de climatização terá diversas consequências, sendo de destacar as seguintes:

- menores potências instaladas: os equipamentos de climatização a escolher poderão ter dimensões e potências menores do que aqueles que são seleccionados através da metodologia actual;
- maiores rendimentos: como esses equipamentos têm menor potência, o seu funcionamento será, durante uma maior fracção do tempo, em regime de potência mais próxima da máxima, a que correspondem maiores rendimentos de funcionamento;
- menores consumos energéticos: os equipamentos assim projectados consumirão menos energia uma vez que as suas potências são menores e os rendimentos maiores;
- menores custos: uma vez que se podem climatizar os espaços com menores consumos de energia, os custos económicos serão consequentemente menores, quer ao nível do consumidor, quer ao nível nacional pela redução da quantidade de energia a importar.
- utilização racional da energia: uma vez que as ferramentas de cálculo agora ao dispôr conduzem à possibilidade de climatizar com menor dispêndio de energia resulta, num balanço global, uma quantidade de energia à qual se poderá dar uma utilização mais útil para a comunidade.

- preservação dos recursos energéticos: atendendo a que a maior parte da energia consumida provém de fontes com grandeza finita, a sua economia torna-se vital para o prolongamento do bem-estar do Homem tal qual ele é actualmente concebido.
- defesa do ambiente: às transformações energéticas estão associadas combustões e reacções químicas que emanam produtos agressivos para meio ambiente em grandes quantidades, desequilibrando negativamente os processos naturais de purificação do ar, da água e do solo. É, portanto, necessário projectar e construir edifícios com menores necessidades energéticas para a manutenção do conforto contribuindo, deste modo, para evitar que o excesso de poluição torne impossível a sua reciclagem natural por falta de capacidade do eco-sistema.

CAPÍTULO II - Modelo Matemático

II.1. - Introdução

O objectivo final deste trabalho é a caracterização das cargas térmicas de arrefecimento dos edificios portugueses. A carga térmica total de um espaço resulta do somatório de diversas parcelas, constituindo cada uma delas a contribuição dos elementos que libertam ou produzem calor para o espaço. Alguns destes elementos, como, por exemplo, os ocupantes e os equipamentos, produzem calor sob as formas de calor sensível e latente. Outros elementos, como as paredes e as coberturas, quando sujeitas a um diferencial de temperaturas entre o exterior e o interior, transmitem por condução calor sensível para as superfícies interiores onde ele é libertado parcialmente por convecção para o ar e por radiação para outras superfícies a menor temperatura. Por último, os vãos envidraçados transparentes permitem a penetração da radiação solar para o interior do espaço, a qual é absorvida pelas superfícies interiores opacas, sendo este calor posteriormente libertado por convecção para o ar e por radiação para outras superfícies interiores a menor temperatura.

Como ao calor latente está associada uma variação instantânea da humidade do ar, esta parcela contribui de imediato para a carga térmica.

Ao contrário do que se passa com o calor latente, nem todo o calor sensível contribui de imediato para a carga térmica. Uma parte deste calor é transmitida por radiação e absorvida pelos elementos construtivos com capacidade de armazenamento térmico, como as paredes, o pavimento e o tecto, e apenas posteriormente libertado por convecção para o ar.

Tradicionalmente, as construções portuguesas possuem uma elevada massa e, portanto, uma grande capacidade de armazenamento térmico, o que tem como consequência que os valores característicos de outras tipologias construtivas correntemente utilizados nas metodologias usuais de avaliação das cargas térmicas não sejam directamente aplicáveis, especialmente no que diz respeito ao armazenamento de calor, ou seja, à inércia térmica. Por isso, e na impossibilidade de fazer medições experimentais em todos os tipos de construções, torna-se necessário desenvolver um método de cálculo eficaz, em termos de precisão e rapidez, de forma a se poderem avaliar as cargas térmicas da multiplicidade dos edificios existentes. Foi escolhido o método das Funções de Transferência por reunir as duas condições acima enunciadas. O cálculo das cargas térmicas através do método das funções de transferência faz-se por duas fases, cada uma delas recorrendo a uma formulação diferente das referidas funções, designadas por método dos Factores de Resposta Térmica e método dos Factores de Ponderação.

A primeira fase do cálculo da carga térmica consiste na determinação dos ganhos de calor instantâneos provenientes das diversas fontes. A avaliação dos ganhos de calor relativos à radiação solar, iluminação, ocupantes e equipamentos pode ser feita de forma semelhante à de outras metodologias estrangeiras uma vez que eles não dependem da especificidade da construção portuguesa. No entanto, o mesmo já não acontece para os ganhos de calor que atravessam os elementos da envolvente opaca, tendo de se recorrer aos Factores de Resposta dos respectivos elementos para a sua avaliação.

A segunda fase consiste na determinação da parcela do ganho de calor que dá origem a carga térmica do espaço. Esta depende não só dos ganhos ou fluxos de calor determinados na primeira fase mas também da própria constituição do espaço, ou seja, da capacidade de armazenamento térmico dos diversos elementos construtivos que o constituem. Nesta segunda fase recorre-se aos Factores de Ponderação dos espaços.

A determinação do fluxo de calor que chega à superfície interior dos elementos da envolvente opaca também se pode fazer através do uso de factores de ponderação [7 e 8]. No entanto, o ganho de calor que atravessa os elementos da envolvente opaca foi calculado através do método dos factores de resposta térmica uma vez que durante o cálculo dos factores de ponderação dos espaços se torna necessário avaliar a capacidade de armazenamento térmico desses espaços, tendo para isso que se recorrer aos factores de resposta térmica dos elementos que delimitam esses espaços. Como os factores de resposta térmica, ao contrário dos factores de ponderação, permitem avaliar os fluxos de calor que atravessam ambas as superfícies da envolvente sob quaisquer condições de temperatura interior e exterior, os resultados obtidos neste trabalho servirão não só para estudar a situação de regime de temperatura interior termostatzada mas também para o estudo dos ganhos de calor em regime de temperatura interior flutuante.

Nas secções seguintes pretende-se apresentar de forma elucidativa e organizada, uma síntese dos fundamentos matemáticos necessários à determinação quer dos factores de resposta, quer dos factores de ponderação dos diversos ganhos de calor. Estas informações até agora encontravam-se dispersas pela literatura da especialidade e não abordavam a determinação dos factores de resposta e dos factores de ponderação com a clareza suficiente.

II.2. - Factores de Resposta Térmica de Paredes

As paredes comuns dos edifícios são compostas por várias camadas justapostas com um aspecto idêntico ao representado na Figura II.1, podendo uma ou mais camadas ser ou não um espaço de ar.

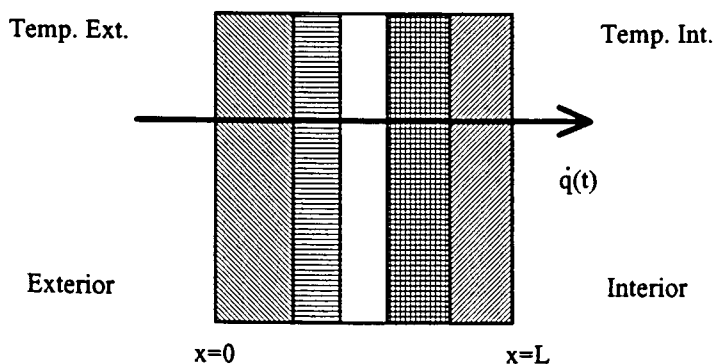


Figura II.1 - Fluxo de calor através de uma parede com várias camadas

A questão fundamental consiste em determinar o fluxo de calor que atravessa as superfícies interior e exterior de uma parede, a partir do conhecimento da temperatura

do ar interior e exterior. Nos elementos opacos há normalmente descontinuidades como os vãos destinados a portas ou janelas e junções com outras paredes ou lajes. No entanto, a área afectada é relativamente pequena quando comparada com a totalidade da área desses elementos, e os seus efeitos podem ser quantificados por métodos "standard", tal como o factor de concentração de perdas - f_c - adoptado na regulamentação portuguesa [2 e 3]. Assim, para este trabalho, interessa essencialmente estudar a zona do elemento com características predominantes, ou seja, a secção corrente do elemento, para a qual se pode admitir que a transferência de calor é monodimensional, passando então a resolução do problema pela solução da equação geral da condução de calor na sua forma transiente monodimensional:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{II.1})$$

A estratégia que se vai seguir é resolver a equação II.1 para um caso simples e depois construir a solução para casos sucessivamente mais complicados a partir da solução encontrada para o caso simples.

Usualmente, a resolução analítica da equação geral da condução é feita através do método de separação de variáveis. No entanto, este só conduz a equações com solução analítica em casos particulares para os quais as condições de fronteira são simples [29, 49, 50 e 51]. O método das transformadas de Laplace é uma técnica operacional de resolução de equações diferenciais mais poderosa no qual é muito mais simples a manipulação de equações diferenciais lineares ordinárias e de derivadas parciais para casos mais complexos que os referidos atrás.

II.2.1. - Método das Transformadas de Laplace

A transformação de Laplace de uma função do tempo, $f(t)$, definida para qualquer valor de t maior do que zero, é, por definição [52]:

$$f(s) = L[f(t)] = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad (\text{II.2})$$

onde s é uma variável complexa e $f(s)$ é a imagem ou transformada de $f(t)$. A correspondência entre $f(t)$, para $t > 0$, e $f(s)$ é biunívoca. Diz-se que $f(t)$ é a original ou a transformada inversa de $f(s)$. Uma função $f(t)$ tem uma transformada de Laplace se o integral da equação II.2 se puder determinar, o que é o mesmo que dizer se $f(t)$ crescer mais lentamente que uma exponencial.

A propriedade fundamental da transformação de Laplace, conhecida como o teorema da derivação, é permitir substituir a derivada de uma função $f(t)$ por uma operação algébrica efectuada sobre a sua transformada $f(s)$.

$$L[f'(t)] = s f(s) - f(0) \quad (\text{II.3})$$

Assim, a transformação de Laplace é de uma grande utilidade na resolução de equações diferenciais que descrevem o comportamento em regime dinâmico de sistemas lineares invariantes, como é o caso da transferência de calor em elementos opacos. Ela permite, em certos casos, transformar a integração de uma equação diferencial ordinária na resolução de uma equação algébrica. No entanto, relativamente a este trabalho, a utilidade da transformação de Laplace provém sobretudo do facto que ela permite determinar, para um sistema linear invariante, inicialmente em repouso, uma função que caracteriza a sua evolução no tempo, como se verá na secção seguinte.

Uma outra propriedade da transformação de Laplace, de grande importância nas aplicações a este trabalho, é o Teorema do Atraso [52]: se uma função do tempo $f(t)$, nula para $t < 0$, possui uma transformada de Laplace, a transformada da função resultante de uma translação no tempo de valor T , positivo, é obtida pela multiplicação da transformada de $f(t)$ por e^{-Ts} :

$$L[f(t - T)] = e^{-Ts} L[f(t)] \quad (\text{II.4})$$

onde o factor e^{-Ts} é designado por operador de atraso. Este teorema é útil para calcular a transformada de Laplace de uma função formada pela sobreposição linear de funções simples como, por exemplo, a função degrau unitário ou rampa unitária.

Passando agora à análise física da questão, suponha-se que se possui um sistema físico dinâmico, Figura II.2, sobre o qual se pode estabelecer um modelo linear e invariante.

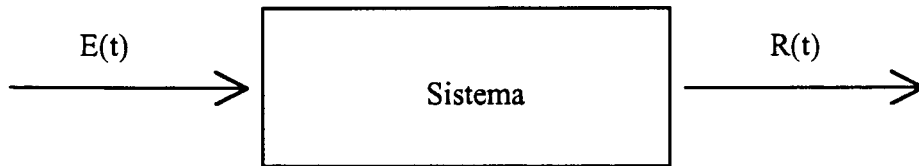


Figura II.2. - Representação da excitação e resposta de um sistema

A resposta $R(t)$ a uma entrada ou excitação $E(t)$, função contínua de t , pode ser determinada a partir da equação diferencial ordinária, linear, com coeficientes constantes, que relaciona a resposta com a excitação [53]. A relação entre a resposta e a excitação pode ser desenvolvida em série de Taylor e escrever-se sob a forma:

$$B_n \frac{d^n R(t)}{dt^n} + \dots + B_1 \frac{dR(t)}{dt} + B_0 R(t) = A_m \frac{d^m E(t)}{dt^m} + \dots + A_1 \frac{dE(t)}{dt} + A_0 E(t) \quad (\text{II.5})$$

Se o sistema estiver inicialmente em repouso e for submetido a uma dada excitação $E(t)$ para $t \geq 0$, então, para todos os valores de $t < 0$, a excitação $E(t)$ e as suas derivadas são nulas, assim como a resposta $R(t)$ e as suas derivadas. Aplicando as transformadas

de Laplace aos dois membros de II.5 e aplicando o teorema da derivação da transformação de Laplace (II.3), obtém-se uma equação algébrica em s:

$$(B_n s^n + \dots + B_1 s + B_0) R(s) = (A_m s^m + \dots + A_1 s + A_0) E(s) \quad (II.6)$$

onde R(s) e E(s) são as transformadas de R(t) e E(t). A resposta do sistema pode então exprimir-se da seguinte forma:

$$R(s) = E(s) \frac{(A_m s^m + \dots + A_1 s + A_0)}{(B_n s^n + \dots + B_1 s + B_0)} \quad (II.7)$$

Dividindo a resposta pela excitação resulta:

$$K(s) = \frac{R(s)}{E(s)} = \frac{(A_m s^m + \dots + A_1 s + A_0)}{(B_n s^n + \dots + B_1 s + B_0)} \quad (II.8)$$

Esta função algébrica, no espaço s, é característica do sistema. É designada por função de transferência ou transmitância do sistema, resulta das transformadas de Laplace da resposta e da excitação e é independente desta [53].

Assim, prosseguindo a estratégia adoptada, pode-se, por exemplo, encontrar uma solução para o caso em que a solicitação térmica, ou excitação, numa das faces da parede seja a Função Delta [degrau unitário - $f(t) = \delta(t)$] e na outra a Função Nula [$g(t) = 0$].

Como qualquer função genérica $[h(t)]$ pode ser aproximada pela soma ponderada de várias funções degrau, a solução da equação diferencial, para uma excitação $h(t)$ numa das faces e nula na outra face, poderá ser obtida pela soma ponderada de soluções iguais às obtidas para a função degrau. Esta técnica de sobreposição de casos simples para construir uma solução geral é uma das técnicas mais comuns usada na solução de equações diferenciais de derivadas parciais.

Suponha-se que $K(x, \tau)$ é a solução da equação diferencial II.1, no caso da parede representada na Figura II.1 ser constituída apenas por uma única camada com $d_1=L$, e no caso em que a excitação numa das faces é $f(t) = \delta(t)$ e na outra face é $g(t) = 0$, ou seja $K(x, \tau)$ é a função de resposta para uma solicitação igual à função delta. Se a excitação deixar de ser $f(t) = \delta(t)$ para passar a ser uma função genérica $h(t)$, mantendo-se na outra face a excitação $g(t) = 0$, a solução da equação diferencial II.1 pode ser obtida [53] de:

$$T(x, t) = \int_0^t h(t - \tau) K(x, \tau) d\tau \quad (II.9)$$

onde o integral II.9 é chamado integral convolução ou fórmula de Duhamel.

Na análise energética dos edifícios, normalmente não se dispõe de informação climática contínua. Pelo contrário, a temperatura exterior conhece-se usualmente com intervalos de tempo de uma hora. É conveniente, portanto, usar para excitação, em vez da função delta, impulsos cuja sobreposição acompanhe com mais facilidade a evolução da temperatura e da radiação solar. Quer a temperatura exterior, $[T_{\text{ext}}(t)]$, quer a radiação solar apesar de serem conhecidas com intervalos de tempo de uma hora, têm uma variação suave, o que implica que tenham derivadas contínuas. Desse modo é melhor usar a sobreposição de impulsos triangulares em vez de rectangulares, porque os impulsos triangulares podem mais facilmente aproximar uma função suave, como se mostra na Figura II.3.

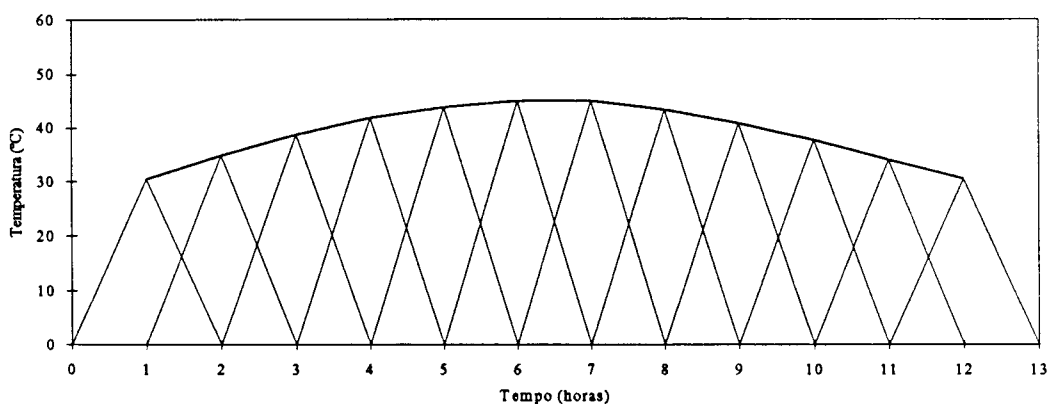


Figura II.3 - Sobreposição de impulsos triangulares definindo uma função "suave".

Os factores de resposta que caracterizam o comportamento térmico de uma parede são as respostas em fluxo de calor, em cada face da parede, à excitação de temperatura em ambas as faces da parede. Obtêm-se pela determinação das funções de resposta à excitação em cada face da parede.

Usualmente, as série de factores de resposta são designadas por X, Y e Z, representando:

- X - a resposta, em fluxo de calor que atravessa a superfície exterior ($x=0$), a uma excitação de temperatura triangular na superfície exterior ($x=0$).
- Y - a resposta, em fluxo de calor que atravessa a superfície interior ($x=L$), a uma excitação de temperatura triangular na superfície exterior ($x=0$). Esta resposta é numericamente igual, mas de sentido contrário, à resposta em fluxo de calor que atravessa a superfície exterior ($x=0$), a uma excitação de temperatura triangular na superfície interior ($x=L$).
- Z - a resposta, em fluxo de calor que atravessa a superfície interior ($x=L$), a uma excitação de temperatura triangular na superfície interior ($x=L$).

Na secção seguinte apresenta-se a dedução da solução da equação II.1 para o caso em que a excitação em cada face da parede é, alternadamente, um degrau unitário. Começa-se por estudar o caso particular de a parede ser constituída apenas por uma

única camada e seguidamente expandem-se os resultados para o caso genérico de várias camadas.

II.2.2. - Resposta a um Degrau Unitário

II.2.2.1. - Solução para Paredes com uma Única Camada

O primeiro passo na solução da situação representada na Figura II.1 é obter a solução para o caso de uma parede constituída por uma única camada ($n=1$) em que a excitação na superfície exterior é nula [$f(t)=0$] e na superfície interior é expressa por uma função degrau unitário [$g(t)=\delta(t)$]. A solução pode obter-se através do método das transformadas de Laplace. Embora tal não seja necessário para $n=1$, para os casos em que $n>1$ tal é absolutamente necessário.

A transformada de Laplace da equação de condução [29] é:

$$\frac{\partial^2 T(x,s)}{\partial x^2} = \frac{s}{\alpha} T(x,s) \quad (II.10)$$

e as condições fronteira, no espaço s , são:

$$T(0,s) = f(s) = 0 \quad T(d_1,s) = g(s) = \delta(s) = 1 \quad (II.11)$$

Fazendo $g(t) = 0$ para $t \leq 0$, a solução geral [29] é:

$$T(x,s) = C_1 e^{x\sqrt{s/\alpha}} + C_2 e^{-x\sqrt{s/\alpha}} \quad (II.12)$$

Aplicando as condições de fronteira, obtêm-se as constantes C_1 e C_2 :

$$C_1 = \frac{g(s)}{e^{d_1\sqrt{s/\alpha}} - e^{-d_1\sqrt{s/\alpha}}} = \frac{g(s)}{2 \sinh(d_1 \sqrt{s/\alpha_1})} \quad (II.14)$$

$$C_2 = -\frac{g(s)}{2 \sinh(d_1 \sqrt{s/\alpha_1})} \quad (II.15)$$

A forma final da solução pode-se apresentar como:

$$T(x,s) = g(s) \frac{\sinh(x \sqrt{s/\alpha_1})}{\sinh(d_1 \sqrt{s/\alpha_1})} \quad (II.16)$$

Pode-se reescrever esta equação do seguinte modo:

$$T(x, s) = g(s) \phi_{T1}(x, s) \quad (\text{II.17})$$

Onde:

$$\phi_{T1}(x, s) = \frac{\sinh \left(x \sqrt{s / \alpha_1} \right)}{\sinh \left(d_1 \sqrt{s / \alpha_1} \right)} \quad (\text{II.18})$$

A função $\phi_{T1}(x, s)$ é conhecida como função de transferência. Relaciona a excitação $g(s)$ com a saída ou resposta $T(x, s)$ no espaço s . Nesta expressão, o subscrito T indica que esta função de transferência relaciona a excitação de temperatura com a resposta em temperatura, e o subscrito 1 indica que a resposta é dada para uma excitação em $x=d_1$, ou seja, na superfície interior da parede.

$\phi_{T1}(x, s)$ é a resposta à entrada função degrau unitário, isto é, $g(t)=\delta(t)$ e $g(s)=1$. Uma vez que o fluxo é a derivada da temperatura em ordem ao espaço, a correspondente função de transferência em termos de fluxo de calor é:

$$\phi_{q1}(x, s) = -k_1 \frac{\partial \phi_{T1}(x, s)}{\partial x} = -k_1 \sqrt{s / \alpha_1} \frac{\cosh \left(x \sqrt{s / \alpha_1} \right)}{\sinh \left(d_1 \sqrt{s / \alpha_1} \right)} \quad (\text{II.19})$$

O segundo passo na solução da equação II.1 consiste em inverter as excitações em cada face da parede, ou seja, a excitação na superfície exterior é agora uma função degrau unitário [$f(t)=\delta(t)$] e na superfície interior é nula [$g(t)=0$]. As condições fronteira são então:

$$T(0, x) = f(t) = \delta(t) \quad \text{e} \quad T(d_1, x) = g(t) = 0 \quad (\text{II.20})$$

que no espaço s têm a correspondência:

$$T(0, s) = f(s) = 1 \quad \text{e} \quad T(d_1, s) = g(s) = 0 \quad (\text{II.21})$$

vêm então:

$$T(x, s) = f(s) \frac{\sinh \left[(d_1 - x) \sqrt{s / \alpha_1} \right]}{\sinh \left(d_1 \sqrt{s / \alpha_1} \right)} \quad (\text{II.22})$$

$$\phi_{T0}(x, s) = \frac{\sinh \left[(d_1 - x) \sqrt{s / \alpha_1} \right]}{\sinh \left(d_1 \sqrt{s / \alpha_1} \right)} \quad (\text{II.23})$$

$$\phi_{q0}(x,s) = -k_1 \frac{\partial \phi_{T0}(x,s)}{\partial x} = k_1 \sqrt{s/\alpha_1} \frac{\cosh[(d_1 - x) \sqrt{s/\alpha_1}]}{\sinh(d_1 \sqrt{s/\alpha_1})} \quad (II.24)$$

De notar que $\phi_{q0}(d_1,s) = -\phi_{q1}(0,s)$, e que $\phi_{q0}(0,s) = -\phi_{q1}(d_1,s)$, ou seja, a resposta, em fluxo de calor que atravessa a superfície interior ($x=d_1$), a uma excitação degrau unitário na superfície exterior ($x=0$) é numericamente igual, mas sentido contrário, à resposta em fluxo de calor que atravessa a superfície exterior ($x=0$), a uma excitação degrau unitário na superfície interior ($x=d_1$), e vice-versa.

No espaço s , a saída ou resposta $[R]$ é igual ao produto de uma função de transferência pela entrada ou excitação $[E]$:

$$R(s) = K(s) E(s) \quad (II.25)$$

Da equação II.19 obtém-se a resposta em fluxo de calor em $x=0$ causada pela excitação de temperatura (degrau unitário) em $x=d_1$:

$$q(0,s) = \phi_{q1}(0,s) \quad (II.26)$$

Por outro lado o fluxo de calor em $x=0$ causado pela excitação de temperatura em $x=0$ é:

$$q(0,s) = \phi_{q0}(0,s) \quad (II.27)$$

Combinando as duas equações anteriores, obtém-se o fluxo de calor em $x=0$ provocado pelas excitações de temperatura em $x=0$ e em $x=d_1$:

$$q(0,s) = \phi_{q0}(0,s) T(0,s) + \phi_{q1}(0,s) T(d_1,s) \quad (II.28)$$

Da mesma forma, o fluxo de calor em $x=d_1$ é:

$$q(d_1,s) = \phi_{q0}(d_1,s) T(0,s) + \phi_{q1}(d_1,s) T(d_1,s) \quad (II.29)$$

Como a multiplicação de duas funções no espaço s se transforma num integral de convolução no espaço t , a determinação, no espaço t , do fluxo que atravessa as superfícies exterior e interior exige a integração de II.28 e II.29, sendo respectivamente:

$$q(0,t) = \int_0^{\infty} \phi_{q0}(0,\tau) T(0,t-\tau) d\tau + \int_0^{\infty} \phi_{q1}(0,\tau) T(d_1,t-\tau) d\tau \quad (II.30)$$

e

$$q(d_1, t) = \int_0^{\infty} \phi_{q0}(d_1, \tau) T(0, t - \tau) d\tau + \int_0^{\infty} \phi_{q1}(d_1, \tau) T(d_1, t - \tau) d\tau \quad (\text{II.31})$$

De modo a facilitar as manipulações algébricas que se seguirão, as equações II.28 e II.29 passam doravante a ser escritas em notação matricial:

$$\begin{bmatrix} q(0, s) \\ q(d_1, s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{q0}(0, s) & \phi_{q1}(0, s) \\ \phi_{q0}(d_1, s) & \phi_{q1}(d_1, s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(0, s) \\ T(d_1, s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.32})$$

II.2.2.2. - Solução para Paredes com Várias Camadas

Para resolver o equação II.1 para o caso de o elemento ser constituído por n camadas, é necessário rearranjar a expressão II.32 de modo a que q e T em x=0 estejam do mesmo lado da igualdade. Pode-se então rearranjar a equação II.32 e definir uma nova matriz de transferência:

$$\begin{bmatrix} T(0, s) \\ q(0, s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(d_1, s) \\ q(d_1, s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.33})$$

A expressão II.33 dá a resposta em temperatura e em fluxo de calor para x=0, causada por uma excitação de temperatura e de fluxo de calor em x=d₁.

Resolvendo a expressão II.33 em ordem a A₁, B₁, C₁ e D₁, vem:

$$\begin{aligned} A_1(s) &= \frac{\phi_{q1}(d_1, s)}{\phi_{q0}(d_1, s)} = \cosh(d_1 \sqrt{s/d_1}) \\ B_1(s) &= \frac{1}{\phi_{q0}(d_1, s)} = \frac{\sinh(d_1 \sqrt{s/d_1})}{k_1 \sqrt{s/d_1}} \\ C_1(s) &= \frac{\phi_{q0}(0, s) \phi_{q1}(d_1, s)}{\phi_{q0}(d_1, s)} + \phi_{q1}(0, s) = k_1 \sqrt{s/d_1} \sinh(d_1 \sqrt{s/d_1}) \\ D_1(s) &= \frac{\phi_{q0}(0, s)}{\phi_{q0}(d_1, s)} = \cosh(d_1 \sqrt{s/d_1}) \end{aligned} \quad (\text{II.34})$$

A partir das equações II.34, é possível estabelecer as expressões que conduzam à solução para o caso de n camadas, como se verá de seguida.

Foi deduzida a expressão que relaciona a temperatura e o fluxo de calor na face exterior da parede com a excitação de temperatura e fluxo de calor na outra face da parede, equação II.33.

$$\begin{bmatrix} T(0,s) \\ q(0,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(d_1,s) \\ q(d_1,s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.33})$$

Nos casos em que há mais do que uma camada, por analogia, pode-se relacionar a temperatura e o fluxo de calor na face exterior da parede com a temperatura e o fluxo de calor na superfície de separação entre a primeira e a segunda camada:

$$\begin{bmatrix} T(d_1,s) \\ q(d_1,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(d_2,s) \\ q(d_2,s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.35})$$

então, substituindo na equação II.33 o resultado de II.35, obtém-se:

$$\begin{bmatrix} T(0,s) \\ q(0,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(d_2,s) \\ q(d_2,s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.36})$$

Extendendo o resultado de II.36 para n camadas virá:

$$\begin{bmatrix} T(0,s) \\ q(0,s) \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} A_i(s) & B_i(s) \\ C_i(s) & D_i(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(L,s) \\ q(L,s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.37})$$

Definindo:

$$\begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \quad (\text{II.38})$$

a expressão geral que relaciona a temperatura e o fluxo de calor na superfície exterior com a temperatura e o fluxo de calor na superfície interior toma a forma:

$$\begin{bmatrix} T(0,s) \\ q(0,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(L,s) \\ q(L,s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.39})$$

Rearranjando esta expressão e escrevendo-a na forma original (equação II.32), ou seja, os fluxos de calor expressos em função das temperaturas, obtém-se:

$$\begin{bmatrix} q(0,s) \\ q(L,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D(s)}{B(s)} & -\frac{1}{B(s)} \\ \frac{1}{B(s)} & -\frac{A(s)}{B(s)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(0,s) \\ T(L,s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.40})$$

A equação II.40 pode ser reescrita numa forma mais comum definindo $X(s) = \frac{D(s)}{B(s)}$,

$$Y(s) = \frac{1}{B(s)} \text{ e } Z(s) = \frac{A(s)}{B(s)}:$$

$$\begin{bmatrix} q(0,s) \\ q(L,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(s) & -Y(s) \\ Y(s) & -Z(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(0,s) \\ T(L,s) \end{bmatrix} \quad (\text{II.40})$$

A equação II.40 é a solução genérica da equação II.1, aplicada ao caso de uma parede constituída por várias camadas, tendo sido obtida a partir da combinação de excitações do tipo degrau unitário em cada face. Mas, conforme anteriormente demonstrado, a evolução da temperatura exterior e da radiação solar consegue-se descrever de forma mais precisa através da sobreposição de impulsos triangulares do que através de degraus unitários. Deste modo, para obter os factores de resposta, na sua forma final, é necessário reescrever a equação II.40 no espaço t , fazendo com que $T(0,t)$ e $T(L,t)$ sejam impulsos triangulares.

II.2.3. - Resposta a Impulsos Triangulares

O impulso triangular pode ser construído à custa de funções de rampa como se descreve a seguir. Designando a função de rampa por $R(t)$, pode-se escrever:

$$R(t) = T(0,t) = T(L,t) = t \quad (\text{II.41})$$

e a correspondente transformada no espaço s :

$$R(s) = T(0,s) = T(L,s) = \frac{1}{s^2} \quad (\text{II.42})$$

A largura da base da função impulso triangular pode ser igual a 2Δ . Usando a notação φ para a função triangular, tem-se:

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= 0 & \text{para } -\infty < t \leq -\Delta \\ \varphi(t) &= \frac{1}{\Delta} R(t+\Delta) & \text{para } -\Delta < t \leq 0 \\ \varphi(t) &= \frac{1}{\Delta} R(t+\Delta) - \frac{2}{\Delta} R(t) & \text{para } 0 < t \leq \Delta \\ \varphi(t) &= \frac{1}{\Delta} R(t+\Delta) - \frac{2}{\Delta} R(t) + \frac{1}{\Delta} R(t-\Delta) & \text{para } t > \Delta \end{aligned} \quad (\text{II.43})$$

Uma vez conhecida a resposta em fluxo de calor à excitação de tipo rampa, é possível obter a resposta, também em fluxo de calor, ao impulso triangular, através da combinação linear das respostas às rampas definidas nas equações precedentes.

Atendendo a que o sistema é linear, a resposta a uma excitação do tipo rampa no espaço t , pode-se obter, no espaço s , pela multiplicação dos factores de resposta a um degrau unitário ($X(s)$, $Y(s)$ e $Z(s)$) na equação II.40) pela resposta a uma rampa (equação II.42) [52]. Podem-se então definir os factores de resposta às rampas como sendo:

$$\begin{aligned} X_r(s) &= \frac{D(s)}{B(s)} \frac{1}{s^2} \\ Y_r(s) &= \frac{1}{B(s)} \frac{1}{s^2} \\ Z_r(s) &= \frac{A(s)}{B(s)} \frac{1}{s^2} \end{aligned} \quad (\text{II.44})$$

usando o subscrito r para indicar que se trata de uma rampa. $X_r(s)$ é a resposta fluxo no espaço s , em $x = 0$, para uma entrada de temperatura em rampa em $x=0$. $Y_r(s)$ é a resposta fluxo no espaço s , em $x = 0$, para uma entrada de temperatura em rampa em $x=L$ (e vice-versa) e, por fim, $Z_r(s)$ é a resposta fluxo no espaço s , em $x = L$, para uma entrada de temperatura em rampa em $x=L$.

A determinação, no espaço t , de $X_r(t)$, $Y_r(t)$ e $Z_r(t)$ obtém-se pela inversão das transformadas de Laplace de $X_r(s)$, $Y_r(s)$ e $Z_r(s)$, respectivamente. Exemplificando para $X_r(s)$, a solução para a inversão das transformadas de Laplace [52] é a seguinte:

$$X_r(t) = t \left[\frac{D(s)}{B(s)} \right]_{s=0} + \frac{d}{ds} \left[\frac{D(s)}{B(s)} \right]_{s=0} + \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\beta_k t} \frac{1}{\beta_k^2} \left[\frac{D(s)}{B'(s)} \right]_{s=-\beta_k} \quad (\text{II.45})$$

onde β_k são números reais, raízes de $B(s)$. Encontram-se no Anexo A as expressões que permitem determinar numericamente $X_r(t)$. Calculando $X_r(t)$, $Y_r(t)$ e $Z_r(t)$ para t igual a intervalos de tempo múltiplos de Δ (Δ , 2Δ , 3Δ , ...), obtêm-se os conjuntos de valores dos factores de resposta de rampa X_{ri} , Y_{ri} e Z_{ri} .

Finalmente, aplicando o princípio da sobreposição de efeitos, os factores de resposta X para uma excitação triangular, igual à descrita em II.43, são obtidos através da combinação linear dos factores de resposta X_r a uma rampa da seguinte forma:

$$\begin{aligned} X_0 &= X_r(\Delta) \\ X_1 &= X_r(2\Delta) - 2X_r(\Delta) \\ X_i &= X_r[(i+1)\Delta] - 2X_r(i\Delta) + X_r[(i-1)\Delta] \end{aligned} \quad (\text{II.46})$$

Como os dados climáticos apenas estão normalmente disponíveis para intervalos de tempo horários, deve-se tomar Δ igual a uma hora. A determinação dos factores de resposta X é obtida pela avaliação dos valores de $X_r(s)$ a intervalos de tempo Δ .

Do mesmo modo, os factores de resposta Y e Z são obtidos respectivamente de $Y_r(s)$ e $Z_r(s)$. Assim, no espaço t , as equações que permitem calcular os fluxo de calor que atravessam as superfícies exterior e interior são, respectivamente:

$$q(0, t) = \int_0^{\infty} X(\tau)T(0, t - \tau) d\tau - \int_0^{\infty} Y(\tau)T(L, t - \tau) d\tau \quad (\text{II.47})$$

$$q(L, t) = \int_0^{\infty} Y(\tau)T(0, t - \tau) d\tau - \int_0^{\infty} Z(\tau)T(L, t - \tau) d\tau \quad (\text{II.48})$$

Para intervalos de tempo discretos, as funções contínuas transformam-se em séries de tempo e o integral transforma-se numa soma infinita. As equações análogas são:

$$q(0, t) = \sum_{i=0}^{\infty} X_i T(0, t - i\Delta) - \sum_{i=0}^{\infty} Y_i T(L, t - i\Delta) \quad (\text{II.49})$$

$$q(L, t) = \sum_{i=0}^{\infty} Y_i T(0, t - i\Delta) - \sum_{i=0}^{\infty} Z_i T(L, t - i\Delta) \quad (\text{II.50})$$

que são as equações fundamentais para o uso dos factores de resposta.

Nas equações II.49 e II.50, os somatórios estendem-se de 0 a infinito. Na prática, no entanto, as séries são terminadas quando os termos se tornam suficientemente pequenos de forma a poderem ser desprezados. O critério adoptado para a truncatura das séries dos factores de resposta é igual ao adoptado para os factores de ponderação e é apresentado mais adiante, na secção II.3.1.3..

II.3. - Factores de Ponderação

A segunda fase do cálculo da carga térmica de um espaço consiste na determinação da parcela do ganho de calor instantâneo que dá origem a carga térmica do espaço. Nesta fase recorre-se aos Factores de Ponderação dos espaços para proceder a essa determinação.

Os Factores de Ponderação dos ganhos de calor representam a função de transferência que relaciona a carga térmica de um espaço com os ganhos de calor instantâneos desse espaço, e que provêm das seguintes fontes:

- Radiação Solar que entra pelos envidraçados;
- Iluminação;
- Ocupantes e Equipamentos;
- Condução através de Paredes e Coberturas.

A principal diferença entre estas fontes de energia consiste na quantidade de energia libertada por radiação relativamente aquela que é libertada por convecção. Por outro lado, os espaços não são todos iguais: além de poderem possuir diversas configurações geométricas, podem ser construídos com uma grande variedade de materiais de construção, os quais possuem diferentes capacidades de armazenamento térmico, resultando deste modo, diferentes distribuições da energia radiante pelas paredes, pavimento e tecto, de espaço para espaço. Assim, variações destas duas características (convecção/radiação e distribuição de radiação) resultam em diferentes factores de ponderação para cada uma das fontes de calor. Apresenta-se neste Capítulo o modelo matemático para o cálculo dos factores de ponderação das diversas fontes de calor. No Capítulo IV apresentam-se os factores de ponderação de cada uma das fontes de calor adequados às diferentes tipologias construtivas estudadas no âmbito deste trabalho.

Os factores de ponderação são determinados fixando-se a temperatura do ar interior no seu valor de referência, uma vez que, por definição, a carga térmica é a energia que deve ser adicionada ou removida ao ar ambiente de forma a que a temperatura do ar se mantenha constante e igual ao valor de referência.

Para se efectuar a dedução do modelo matemático para o cálculo dos factores de ponderação torna-se necessário estabelecer o balanço térmico das trocas de calor que ocorrem num compartimento.

II.3.1. - Balanço Térmico de um Compartimento

II.3.1.1. - Componentes do Balanço Térmico

Um compartimento pode ser descrito como um sistema composto por vários componentes, alguns dos quais podem armazenar energia, como é o caso das paredes, dos pavimentos e das coberturas, e outros componentes que não têm essa capacidade de armazenamento, como o caso do ar, das janelas e paredes muito leves.

O balanço térmico que se pretende efectuar vai contabilizar as trocas de calor que ocorrem dentro do compartimento. Para efeitos do cálculo da carga térmica de um compartimento, as fronteiras do sistema coincidem com a superfície interior das paredes, pavimento e tecto desse compartimento, adoptando-se, para convenção de

sinais, que os fluxos de calor positivos são todos aqueles que saem do interior do sistema para o exterior.

Os processos de transferência de calor a considerar são os seguintes:

- Condução através das paredes e coberturas;
- Convecção das superfícies interiores para o ar;
- Radiação entre as superfícies interiores do compartimento;
- Radiação incidente sobre as superfícies interiores (radiação solar, energia proveniente da iluminação, pessoas e equipamentos).

Nas secções seguintes apresenta-se a formulação das funções de transferência que conduzem à determinação dos factores de ponderação. São usadas as transformadas em Z, em vez das de Laplace, por conduzirem a séries de factores de ponderação mais curtas. As transformadas em Z podem obter-se das transformadas de Laplace simplesmente por mudança da variável, uma vez que $z = e^{\Delta s}$ [53]. No Anexo B encontra-se a tabela de equivalência entre estas duas transformadas.

II.3.1.1.1. - Condução de calor na superfície interior das paredes.

Para qualquer parede, a energia que chega à superfície interior por condução pode ser escrita, em termos das transformadas de Laplace e de acordo com a equação II.40, como:

$$q(s) = A_i [Y(s) T_i'(s) - Z(s) T_i(s)] \quad (\text{II.51})$$

Esta equação, atendendo à convenção de sinais adoptada, deve ser reescrita e ao mesmo tempo rearranjada em termos das transformadas em Z, apresentando-se da seguinte forma:

$$q_{Di}(z) = K_{Di}(z)T_i(z) - K'_{Di}(z)T_i'(z) \quad (\text{II.52})$$

Onde:

$q_{Di}(z)$ é a transformada em Z do fluxo de calor, por condução, na superfície interior da parede i.

$T_i(z)$ e $T_i'(z)$ são as transformadas em Z das temperaturas superficiais interior e exterior da parede i, respectivamente.

$K_{Di}(z)$ e $K'_{Di}(z)$ são as funções de transferência que relacionam a condução de calor na superfície interior da parede i com as variações de temperatura das superfícies interior e exterior. $K_{Di}(z)$ pode-se escrever em função dos factores de resposta da parede, determinados na secção II.2, como:

$$K_{Di}(z) = A_i \sum_{j=0}^{\infty} Z_i(j) z^{-j} \quad (\text{II.53})$$

onde a sequência $Z_i(0), Z_i(1), Z_i(2), \dots$, são os factores de resposta Z da parede i e A_i é a área. Do mesmo modo $K'_{Di}(z)$ pode-se escrever como:

$$K'_{Di}(z) = A_i \sum_{j=0}^{\infty} Y_i(j) z^{-j} \quad (\text{II.54})$$

onde a sequência $Y_i(0), Y_i(1), Y_i(2), \dots$, são os factores de resposta Y da parede i .

II.3.1.1.2. - Convecção entre as superfícies das paredes e o ar.

As trocas de calor por convecção entre as superfícies das paredes e o ar de um compartimento podem-se escrever como:

$$q_{Ci}(z) = K_{Ci}(z) [T_a(z) - T_i(z)] \quad (\text{II.55})$$

Onde:

$q_{Ci}(z)$ é a transformada em Z do fluxo de calor do ar do compartimento para a superfície interior da parede i .

$T_a(z)$ e $T_i(z)$ são as transformadas em Z da temperatura do ar e da temperatura da superfície interior da parede i .

$K_{Ci}(z)$ é a função de transferência em Z para este processo. Uma vez que a capacidade de armazenamento térmico do ar é desprezável quando comparada com a das paredes e lajes, pode-se escrever:

$$K_{Ci}(z) = h_{Ci} A_i \quad (\text{II.56})$$

em que h_{Ci} é o coeficiente de convecção da parede i .

II.3.1.1.3. - Radiação entre duas superfícies interiores do compartimento.

As trocas de calor por radiação entre duas superfícies interiores de um compartimento podem-se escrever como:

$$q_{Rim}(z) = K_{Rim}(z) [T_m(z) - T_i(z)] \quad (\text{II.57})$$

Onde:

$q_{\text{Rim}}(z)$ é a transformada em Z do fluxo de calor por radiação da superfície interior da parede i para a superfície interior da parede m.

$T_i(z)$ e $T_m(z)$ são as transformadas em Z das temperaturas superficiais das paredes i e m.

$K_{\text{Rim}}(z)$ é a função de transferência em Z para este processo. De forma a linearizar a radiação, como é habitual quando, como nos casos em apreço, as diferenças de temperatura são muito reduzidas, $K_{\text{Rim}}(z)$ é aproximada por:

$$K_{\text{Rim}}(z) = 4(\epsilon_i)\sigma(T_R^3)(F_{\text{im}})(A_i) = G_{\text{im}} \quad (\text{II.58})$$

em que ϵ_i é a emissividade da superfície i, σ é a constante de Stefan-Boltzmann, T_R é a temperatura absoluta de referência, F_{im} é o factor de forma entre as superfícies i e m e A_i a área da superfície radiante i. Verificando-se que a emissividade dos revestimentos interiores correntes é praticamente constante [54] e aproximadamente igual a 0,9, todos os valores de ϵ_i são considerados constantes e iguais a 0,9, de modo a simplificar o algoritmo de cálculo.

Como as cargas térmicas se calculam para a hipótese de uma temperatura interior termostatzada, normalmente igual a 25 °C, a temperatura da superfície interior da envolvente também será aproximadamente igual a 25 °C pelo que o termo $4\epsilon_i\sigma T_R^3$ que lineariza a radiação é aproximadamente constante e igual para todas as superfícies.

O factor de forma é aproximado pela expressão $F_{\text{im}} = A_m/A_T$ onde A_m é área da superfície que recebe a radiação e A_T é área da totalidade das superfícies do compartimento. Se duas superfícies estão contidas no mesmo plano, como por exemplo uma janela numa parede, F_{im} é igualado a zero.

O facto de se considerem ϵ_i e T_R constantes não é importante uma vez que os valores tomados são muito próximos dos valores reais [55].

II.3.1.1.4. - Trocas de calor associadas à renovação do ar.

A renovação do ar provoca um ganho de calor directo instantâneo entre o ar exterior e interior do compartimento. Este pode-se escrever como:

$$q_v(z) = K_v(z) [T_a(z) - T_o(z)] \quad (\text{II.59})$$

Onde:

$q_v(z)$ é a transformada em Z do fluxo de calor entre o ar interior e o exterior.

$T_a(z)$ e $T_o(z)$ são as transformadas em Z da temperatura do ar interior e exterior, respectivamente.

$K_V(z)$ é a função de transferência em Z para este processo. A taxa de infiltração é usualmente estimada como o caudal volúmico do ar exterior que entra no compartimento. $K_V(z)$ pode-se exprimir como:

$$K_V(z) = \rho_a c_{pa} \dot{V}_{entra} \quad (II.60)$$

onde ρ_a e c_{pa} são, respectivamente, a massa volúmica e o calor específico do ar exterior.

II.3.1.1.5. - Radiação Incidente nas Superfícies Interiores.

Os ganhos de calor por radiação são ganhos indirectos que só contribuem para o aumento da temperatura do ar após terem sido absorvidos pelas superfícies interiores e posteriormente libertados por convecção.

A radiação incidente na superfície i é quantificada por:

$$q_{Si}(z) = K_{Si}(z) I_t(z) \quad (II.61)$$

Onde:

$q_{Si}(z)$ que representa a transformada em Z da radiação incidente na superfície interior da parede i.

$K_{Si}(z)$ é a função de transferência em Z para este processo, podendo-se exprimir em função da fracção da energia radiante absorvida pela superfície de área A_i do seguinte modo:

$$K_{Si}(z) = A_i f_i \quad (II.62)$$

Como no Verão a altitude da trajectória aparente do Sol é elevada, praticamente toda a radiação que penetra através de envidraçados orientados a Sul incide no pavimento. No caso dos envidraçados estarem orientados a Este ou Oeste acontece o fenómeno oposto. De modo a contemplar as duas situações expostas, adoptou-se a seguinte distribuição da radiação pelas diferentes superfícies interiores de um compartimento: 50% para o pavimento e o restante é distribuído pelas as restantes superfícies, proporcionalmente à sua área.

II.3.1.2. - Balanço Térmico

Uma vez que a própria superfície não tem capacidade de armazenamento, a energia fornecida por convecção e radiação deve ser à igual energia perdida por condução. Na Figura II.4. mostra-se esquematicamente o sentido dos fluxos de calor na superfície interior de um elemento opaco, de acordo com a convenção de sinais adoptada.

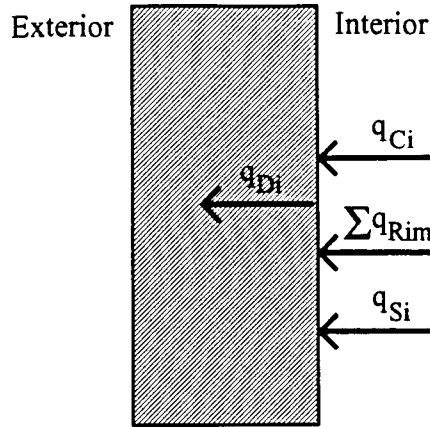


Figura II.4. - Sentido dos fluxos de calor na superfície interior de uma parede.

Assim, o balanço térmico da superfície interior da parede i pode-se escrever do seguinte modo:

$$q_{Di}(z) = q_{Ci}(z) + \sum_{m=1}^N q_{Rim}(z) + q_{Si}(z) \quad (II.63)$$

Onde N é o número de superfícies do compartimento.

O termo correspondente à infiltração não aparece neste balanço uma vez que se trata de uma comunicação directa entre o ar interior e o ar exterior.

A equação II.63 pode-se reescrever em termos de transformadas em Z :

$$K_{Di}(z) T_i(z) - K'_{Di}(z) T'_i(z) = K_{Ci}(z) [T_a(z) - T_i(z)] + \sum_{m=1}^N K_{Rim}(z) [T_m(z) - T_i(z)] + q_{Si}(z) \quad (II.64)$$

Cada elemento construtivo contribui com uma equação deste tipo, formando um sistema de N equações. Este sistema representa o conjunto de funções de transferência em Z que deve ser resolvido para obter os factores de ponderação.

Como já foi referido, a função de transferência em Z para um processo representa a resposta do sistema a um impulso unitário quando as condições iniciais são iguais a zero. Assim, para o cálculo dos factores de ponderação dos ganhos de calor deverá ser utilizado um impulso unitário de cada fonte de calor. Deste modo:

- No caso das cargas térmicas resultantes da penetração da radiação solar pelos envidraçados é então utilizado o impulso unitário de radiação, $[q_{si}(z)]$.
- No caso das cargas térmicas resultantes do calor libertado pela iluminação, pelos ocupantes ou equipamentos é também utilizado o impulso unitário de radiação, $[q_{si}(z)]$, havendo a considerar posteriormente que só uma parte deste calor é

libertado por radiação, sendo a restante libertada por convecção e contribuindo de imediato para a carga térmica total, como se verá mais adiante.

- No caso das cargas térmicas resultantes da condução de calor através da envolvente opaca, os factores de ponderação devem representar a sequência de cargas térmicas que resultam de um impulso unitário de fluxo de calor por condução na superfície interior. É, no entanto, impossível criar um impulso unitário deste tipo sem provocar diferenças de temperatura no interior das paredes, as quais além de produzirem um armazenamento efectivo de calor nas paredes originam um fluxo de calor por condução para o exterior. Nesta situação não seria possível distinguir a energia inicialmente armazenada da energia contida no impulso unitário de condução, não resultando, como se pretende, os factores de ponderação. Assim, na impossibilidade de utilizar um impulso unitário de fluxo de calor por condução, a obtenção dos factores de ponderação dos ganhos de calor por condução é realizada de forma semelhante à usada para a iluminação, para os ocupantes e para os equipamentos, ou seja, analisando-se o armazenamento da energia que é fornecida às superfícies interiores por um impulso unitário de radiação, $[q_{si}(z)]$, e tendo-se em atenção que só uma parte do calor libertado pelas paredes e coberturas é libertado sob a forma de radiação. Tal como na situação anterior, este assunto será retomado mais adiante

II.3.1.3. - Resposta a um Impulso Unitário

A determinação da função de transferência em Z que relaciona as cargas térmicas (factores de ponderação) com os impulsos unitários das fontes de calor, passa pela determinação da temperatura da superfície interior de cada parede, $T_i(z)$. Assim, a equação II.64 tem de ser expandida de modo a isolar a temperatura superficial interior de cada parede em cada instante de tempo $[T_i(k\Delta), k=0, 1, 2, \dots]$. Para ser compatível com os factores de resposta das paredes, Δ deve ser tomado igual a uma hora. Para $t=k\Delta$, vem então:

$$\begin{aligned}
 A_i Z_i(0) T_i(k\Delta) + A_i \sum_{j=1}^{\infty} Z_i(j) T_i[(k-j)\Delta] &= A_i h_{Ci} [T_a(k\Delta) - T_i(k\Delta)] \\
 + A_i \sum_{m=1}^N G_{im} [T_m(k\Delta) - T_i(k\Delta)] + q_{si}(k\Delta) + A_i \sum_{j=0}^{\infty} Y_i(j) T_i'[(k-j)\Delta] & \quad (II.65)
 \end{aligned}$$

rearranjando:

$$\begin{aligned}
& A_i \left[Z_i(0) + h_{Ci} + \sum_{m=1}^N G_{im} \right] T_i(k\Delta) - A_i \sum_{m=1}^N G_{im} [T_m(k\Delta)] = \\
& -A_i \sum_{j=1}^{\infty} Z_i(j) T_i[(k-j)\Delta] + A_i h_{Ci} T_a(k\Delta) + q_{Si}(k\Delta) \\
& + A_i \sum_{j=0}^{\infty} Y_i(j) T'_i[(k-j)\Delta]
\end{aligned} \tag{II.66}$$

A temperatura das superfícies interiores depende do calor libertado pelas fontes de calor, da temperatura do ar interior e da temperatura superficial exterior das paredes. No entanto, como o método se baseia no princípio da sobreposição de efeitos e uma vez que se pretende encontrar a função de transferência que relaciona a temperatura superficial interior de cada parede com o impulso unitário das fontes de calor, independentemente das condições exteriores, a temperatura superficial exterior das paredes $[T'_i(k-j)\Delta]$ pode ser considerada constante (zero por exemplo) durante os cálculos. Neste caso, o termo:

$$A_i \sum_{j=0}^{\infty} Y_i(j) T'_i[(k-j)\Delta] \tag{II.67}$$

toma o valor nulo e a equação II.66 pode ser simplificada. Os restantes termos da equação II.66 podem-se escrever sob a forma matricial:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1N} \\ C_{21} & C_{22} & & \\ \vdots & \vdots & & \\ C_{N1} & C_{N2} & \dots & C_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1(k\Delta) \\ T_2(k\Delta) \\ \vdots \\ T_N(k\Delta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 h_{C1} T_a(k\Delta) + q_{S1}(k\Delta) - \phi_1(k\Delta) \\ A_2 h_{C2} T_a(k\Delta) + q_{S2}(k\Delta) - \phi_2(k\Delta) \\ \vdots \\ A_N h_{CN} T_a(k\Delta) + q_{SN}(k\Delta) - \phi_N(k\Delta) \end{bmatrix} \tag{II.68}$$

onde:

$$\begin{aligned}
C_{ii} &= A_i \left[Z_i(0) + h_{Ci} + \sum_{m=1}^N G_{im} \right] \\
C_{im} &= -A_i G_{im} = -A_m G_{mi} \\
\phi_i(k\Delta) &= A_i \sum_{j=1}^k Z_i(j) T_i[(k-j)\Delta]
\end{aligned} \tag{II.69}$$

Definindo os termos do lado direito da equação II.68 como $B_i(k\Delta)$, tem-se:

$$B_i(k\Delta) = A_i h_{Ci} T_a(k\Delta) + q_{Si}(k\Delta) - \phi_i(k\Delta) \quad (\text{II.70})$$

Em notação matricial, a equação II.68 pode-se escrever como:

$$[C][T] = [B] \quad (\text{II.71})$$

A solução da equação II.71 é:

$$[T] = [C]^{-1}[B] = [D][B] \quad (\text{II.72})$$

onde $[D] = [C]^{-1}$ é a inversa de $[C]$.

Uma vez que os elementos de $[C]$ são constantes, só é necessário inverter $[C]$ uma única vez para um dado compartimento, ficando determinados todos os valores dos elementos D_{im} da matriz $[D]$.

A solução da equação II.71 pode escrever-se em termos de cada uma das temperaturas superficiais como:

$$T_i(k\Delta) = \sum_{m=1}^N D_{im} B_m(k\Delta) \quad (\text{II.73})$$

Conforme já referido a determinação dos factores de ponderação dos ganhos de calor requer o cálculo de $T_i(k\Delta)$, resultando da resposta ao impulso unitário no termo de radiação, $[q_{Si}(z)]$. Assim tem-se:

$$\begin{cases} q_{Si}(0) = 1 \\ q_{Si}(k\Delta) = 0 & \text{para } k > 0 \\ T_a(k\Delta) = 0 & \text{para } k \geq 0 \end{cases} \quad (\text{II.74})$$

O cálculo de $T_i(k\Delta)$ começa para $t=0$ ($k=0$), tendo-se:

$$B_i(0) = A_i h_{Ci} T_a(0) + q_{Si}(0) \quad (\text{II.75})$$

e, para valores de t maiores do que zero vem:

$$B_i(k\Delta) = -\phi_i(k\Delta) \quad (\text{II.76})$$

Embora $\phi(k\Delta)$ pudesse ser calculado directamente da equação II.69, pode-se desenvolver uma relação mais compacta que simplifica o cálculo [52]. A quantidade

$[T_i(k-j)\Delta]$ na equação II.69 pode ser substituída pela solução dada pela equação II.73, resultando em:

$$\phi_i(k\Delta) = A_i \sum_{j=1}^k Z_i(j) \left[\sum_{m=1}^N D_{im} B_m[(k-j)\Delta] \right] \quad (II.77)$$

Fazendo uso das equações II.75 e II.76 pode-se escrever:

$$\phi_i(k\Delta) = A_i Z_i(k) \sum_{m=1}^N D_{im} B_m(0) - A_i \sum_{j=1}^{k-1} Z_i(j) \left[\sum_{m=1}^N D_{im} \phi_m[(k-j)\Delta] \right] \quad (II.78)$$

onde, no primeiro termo, aparece, em separado, o termo $j=k$ da equação II.77.

Uma vez que a única excitação a que o sistema está submetido é um impulso unitário de radiação, a expressão genérica da carga térmica total resulta da soma das parcelas relativas aos fluxos de calor que atravessam as superfícies das paredes e da infiltração do ar exterior. Assim, a carga térmica total de um espaço para um tempo igual a $k\Delta$ pode ser escrita como:

$$Q_u(k\Delta) = \sum_{i=1}^N Q_i(k\Delta) = \sum_{i=1}^N A_i h_{Ci} [T_a(k\Delta) - T_i(k\Delta)] + \frac{T_a(k\Delta)}{R_{inf}} \quad (II.79)$$

onde $Q_i(k\Delta)$ exprime a contribuição da parede i para a carga térmica total do espaço. O último termo nesta equação representa a contribuição da infiltração para a carga térmica do espaço. R_{inf} pode-se definir como a resistência térmica de infiltração:

$$R_{inf} = \frac{1}{\rho_a c_{pa} \dot{V}_{entra}} \quad (II.80)$$

Para $t = 0$, e recorrendo à equação II.75, a equação II.79 resulta em:

$$Q_i(0) = A_i h_{Ci} \left[T_a(0) - \sum_{m=1}^N D_{im} B_m(0) \right] + \frac{T_a(0)}{R_{inf}} \quad (II.81)$$

onde $B_m(0)$ é dado pela equação II.75. Para $k > 0$, e recorrendo à equação II.76, pode-se escrever:

$$Q_i(k\Delta) = -A_i h_{Ci} T_i(k\Delta) = A_i h_{Ci} \sum_{m=1}^N D_{im} \phi_m(k\Delta) \quad (II.82)$$

O termo correspondente à infiltração de ar exterior não aparece na equação II.82 uma vez que se está a quantificar a energia que cada parede vai libertar ao longo do tempo (para instantes $k\Delta > 0$) depois de ter sido submetida a uma excitação unitária de radiação no instante $k\Delta = 0$.

Substituindo $\phi_m(k\Delta)$ pela expressão da equação II.78, resulta em:

$$Q_i(k\Delta) = A_i h_{Ci} \sum_{m=1}^N D_{im} \left[A_m Z_m(k) \sum_{n=1}^N D_{mn} B_n(0) \right] - A_i h_{Ci} \sum_{m=1}^N D_{im} \left[A_m \sum_{j=1}^{k-1} Z_m(j) \sum_{n=1}^N D_{mn} \phi_n[(k-j)\Delta] \right] \quad (II.83)$$

O segundo termo do segundo membro desta expressão exprime a contribuição dos valores passados [nos instantes $(k-j)\Delta$] da carga térmica de cada parede para a carga térmica total do espaço para o tempo igual a $k\Delta$. A equação II.83 pode ser reescrita recorrendo à própria equação II.83, do seguinte modo:

$$Q_i(k\Delta) = A_i h_{Ci} \sum_{m=1}^N D_{im} \left[A_m Z_m(k) \sum_{n=1}^N D_{mn} B_n(0) \right] - A_i h_{Ci} \sum_{m=1}^N D_{im} \left[\frac{1}{h_{Cm}} \sum_{j=1}^{k-1} Z_m(j) Q_m[(k-j)\Delta] \right] \quad (II.84)$$

A carga térmica total, $Q_u(k\Delta)$, é a resposta do sistema a uma excitação unitária, portanto, a função de transferência para o processo $[K(z) = R(z)/E(z)]$ pode ser escrita em termos dos valores temporais da carga térmica, isto é:

$$K(z) = Q_u(0) + Q_u(\Delta)z^{-1} + Q_u(2\Delta)z^{-2} + \dots \quad (II.85)$$

Sob o ponto de vista prático, o cálculo dos sucessivos valores de $Q(k\Delta)$ não se pode prolongar até ao infinito, pelo que é necessário parar num determinado valor de k . Uma forma de determinar o fim do processo de cálculo é identificar quando é que é obtida uma razão $[CR_k]$ aproximadamente constante entre os valores de $Q(k\Delta)$. No cálculo dos factores de ponderação adoptou-se o valor de 10^{-4} na avaliação da constância de CR_k .

$$CR_k = \frac{Q(k\Delta)}{Q[(k-1)\Delta]} \quad (II.86)$$

Até agora obteve-se uma expressão que gera uma sequência de cargas térmicas $[Q_u(k\Delta), k=0, 1, 2, \dots]$ que resultam de um impulso unitário de radiação. Esta sequência representa a função de transferência em Z que relaciona a carga térmica com essa solicitação. A função de transferência pode ser usada para determinar a resposta do espaço a outra qualquer solicitação cuja transformada em Z seja conhecida [56].

Os coeficientes da função de transferência obtida pela equação II.85 representam os factores de ponderação para os ganhos de calor devidos à penetração da radiação solar através dos envidraçados, uma vez que este tipo de ganho é apenas radiativo tal como o impulso unitário de radiação utilizado para obter a resposta do espaço.

Exceptuando os ganhos de calor associados à penetração da radiação solar através dos envidraçados, os ganhos de calor devidos à condução pela envolvente, à iluminação, aos ocupantes e aos equipamentos são libertados sob a forma de convecção e radiação. As funções de transferência relativas aos referidos ganhos de calor podem ser calculadas utilizando-se a sequência de cargas térmicas $[Q_u(k\Delta)]$ que resultam de um impulso unitário de energia radiante sobre as superfícies interiores:

$$\begin{aligned} Q(0) &= f_C + f_R Q_u(0) \quad \text{para } k = 0 \\ Q(k\Delta) &= f_R Q_u(k\Delta) \quad \text{para } k > 0 \end{aligned} \quad (\text{II.87})$$

onde f_C e f_R são, respectivamente, as fracções de calor libertado por convecção e radiação para cada tipo de carga. Os valores a adoptar em cada caso podem ser encontrados no Capítulo IV.

II.3.2. - Forma Final dos Factores de Ponderação

A função de transferência desenvolvida na secção II.3.1.3. pode ser aplicada tal como foi apresentada, isto é, uma função de transferência do tipo:

$$K(z) = d_0 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} + \dots \quad (\text{II.88})$$

onde $d_i = Q(i\Delta)$ é a carga térmica calculada pelo método descrito.

Esta forma requer o armazenamento de um grande número de valores passados e a execução de uma longa soma para cada hora de simulação. Por esta razão, é costume adoptar um quociente de polinómios, em vez de apenas um polinómio, como função de transferência para os ganhos de calor. Assim a função de transferência resulta com uma forma mais compacta, do tipo:

$$K(z) = \frac{v_0 + v_1 z^{-1} + v_2 z^{-2}}{1 + \omega_1 z^{-1} + \omega_2 z^{-2}} \quad (\text{II.89})$$

onde v_0, v_1, v_2, ω_1 , e ω_2 são os factores de ponderação.

O método utilizado para determinar os novos factores de ponderação dos ganhos de calor consiste em estabelecer a igualdade entre a equação II.88 e a equação II.89, assim pode-se estabelecer a igualdade:

$$d_0 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} + d_3 z^{-3} + \dots = \frac{v_0 + v_1 z^{-1} + v_2 z^{-2}}{1 + \omega_1 z^{-1} + \omega_2 z^{-2}} \quad (\text{II.90})$$

Combinando os coeficientes de potências iguais em z podem-se obter apenas quatro equações linearmente independentes [56]:

$$\begin{aligned} v_0 &= d_0 \\ v_1 &= d_1 + d_0 \omega_1 \\ v_2 &= d_2 + d_1 \omega_1 + d_0 \omega_2 \\ 0 &= d_3 + d_2 \omega_1 + d_1 \omega_2 \end{aligned} \quad (\text{II.91})$$

No entanto, para determinar os 5 factores de ponderação v_0 , v_1 , v_2 , ω_1 , e ω_2 são necessárias 5 equações. A quinta equação obtém-se da igualdade entre o integral ao longo do tempo da carga térmica calculada através da função de transferência do tipo polinómio, com o integral da carga térmica resultante da utilização do quociente de polinómios. Atendendo a que se está a calcular o integral da carga térmica para uma excitação unitária, no caso de se utilizar a função de transferência do tipo polinómio, o integral da carga térmica traduz-se pelo somatório, até ao infinito, dos coeficientes da própria função de transferência. No caso de se utilizar a função de transferência do tipo quociente de polinómios o integral da carga térmica pode-se exprimir, após algumas manipulações algébricas, pelo quociente dos respectivos somatórios dos coeficientes dos polinómios que constituem a função de transferência, ou seja:

$$\sum_{i=0}^{\infty} d_i = \frac{v_0 + v_1 + v_2}{1 + \omega_1 + \omega_2} \quad (\text{II.92})$$

Relembra-se a que a função de transferência relaciona a resposta do sistema com a excitação que dá origem a essa resposta, ou seja, a função de transferência relaciona a carga térmica resultante de um ganho de calor com esse mesmo ganho de calor, tal como se mostra na equação II.93:

$$K(z) = \frac{v_0 + v_1 z^{-1} + v_2 z^{-2}}{1 + \omega_1 z^{-1} + \omega_2 z^{-2}} = \frac{R(z)}{E(z)} = \frac{\dot{Q}(z)}{\dot{q}(z)} \quad (\text{II.93})$$

Desenvolvendo a igualdade entre a função de transferência e o quociente entre a carga térmica e o ganho de calor instantâneo expressa através da equação II.93 obtém-se uma expressão que permite converter o ganhos de calor instantâneo em carga térmica do espaço:

$$\dot{Q}(t) = \sum_{n=0} v_n \dot{q}(t - n\Delta) - \sum_{n=1} \omega_n \dot{Q}(t - n\Delta) \quad (\text{II.94})$$

Esta é a expressão geral para o cálculo de cada uma das componentes da carga térmica do espaço.

No Anexo C encontra-se a listagem de um programa no qual foi implementada a metodologia das funções de transferência aplicada ao cálculo de fluxos de calor através da envolvente (equação II.50) e cargas térmicas (equação II.94).

CAPÍTULO III - Comportamento de Paredes e Coberturas

III.1. - Introdução

Neste capítulo analisa-se o comportamento térmico dos elementos da envolvente opaca exterior de edifícios, em termos do ganho de calor instantâneo, com o objectivo de se poder no Capítulo IV, caracterizar a carga térmica de arrefecimento derivada desses mesmos elementos.

Essa caracterização é feita de acordo com a metodologia descrita no Capítulo II, sendo a determinação dos ganhos de calor instantâneos através da envolvente efectuada com recurso aos Factores de Resposta:

$$\dot{q}(t) = \sum_{i=0}^{\infty} Y_i T_{\text{ext}}(t - i\Delta) - \sum_{i=0}^{\infty} Z_i T_{\text{int}}(t - i\Delta) \quad (\text{II.50})$$

O fluxo de calor que atravessa um elemento opaco da envolvente é determinado com base no conhecimento dos elementos climáticos e das propriedades térmicas dos materiais que constituem esse elemento. A carga térmica correspondente é determinada, no Capítulo IV, através dos Factores de Ponderação, os quais permitem converter o ganho de calor instantâneo que chega à superfície interior em carga térmica do espaço. Uma vez que há uma grande variedade de paredes e coberturas, são identificadas as tipologias de comportamento térmico desses elementos, agrupando-os de forma a que, sem perda apreciável de precisão, o número de grupos seja relativamente reduzido e se possam obter valores com interesse prático.

III.2. - Condições de Cálculo

Os valores da temperatura exterior, radiação e temperatura interior nominal de funcionamento utilizados neste trabalho são os adoptados como valores de projecto na legislação em vigor [2 e 3].

Os Factores de Resposta dos elementos opacos da envolvente dependem das propriedades térmicas dos materiais e foram calculados em computador com recurso a subrotinas do programa DOE-2, nas quais está implementada a metodologia descrita no Capítulo II.

O modelo térmico utilizado na simulação numérica das paredes pode-se representar graficamente da forma indicada na Figura III.1, onde estão representadas as resistências e capacidades térmicas associadas a cada camada que constitui a parede.

Na simulação numérica das coberturas foram utilizados dois modelos térmicos distintos:

- 1) Para as coberturas em terraço e para as coberturas inclinadas, o modelo térmico utilizado é idêntico ao utilizado para as paredes, encontrando-se representado esquematicamente na Figura III.1.

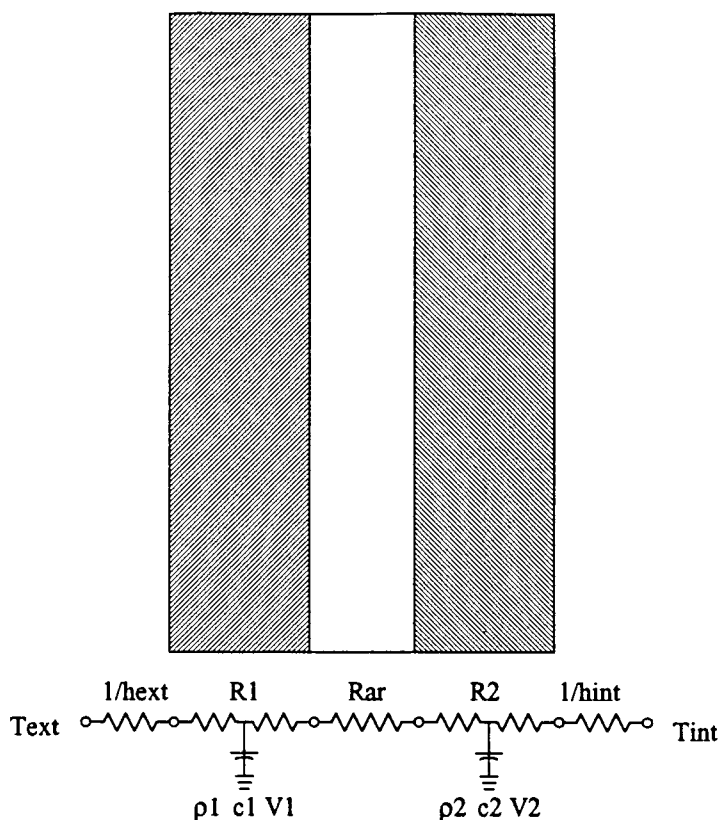


Figura III.1 - Modelo térmico das paredes e das coberturas em terraço e/ou inclinadas.

Os resultados obtidos com este tipo de modelização dependem unicamente da constituição dos elementos construtivos (e respectivas propriedades termo-físicas dos materiais) e das condições climáticas existentes em ambos os lados do elemento.

- 2) Para as coberturas em desvão, ventilado ou não, o modelo térmico utilizado obriga à consideração das condições ambientais prevalentes no volume de ar existente sobre a esteira. Na Figura III.2 encontra-se esquematicamente representado o modelo térmico utilizado na simulação numérica deste tipo de coberturas.

Os resultados que se obtêm da aplicação deste modelo dependem fortemente da taxa de infiltração de ar exterior no desvão da cobertura, a qual, como se sabe, tem uma influência preponderante na temperatura do ar do desvão [57]. Este assunto será retomado e aprofundado na secção III.2.8..

O modelo térmico utilizado para quantificar a condução de calor através das paredes e coberturas admite que as camadas que constituem estes elementos construtivos são homogêneas. Como os tijolos furados, os blocos de betão e os blocos de cofragem utilizados nas lajes aligeirados possuem alvéolos, as camadas por eles definidas não são camadas homogêneas. No entanto, se se usarem valores adequados para a conductibilidade térmica, a densidade e o calor específico, podem-se obter resultados comparáveis aos que se obteriam com métodos de simulação detalhada destes elementos [58], conforme se pode verificar na Figura III.3, onde estão representados

os valores do fluxo de calor que atravessa uma parede de tijolo furado de 15 cm calculados pelos dois modelos.

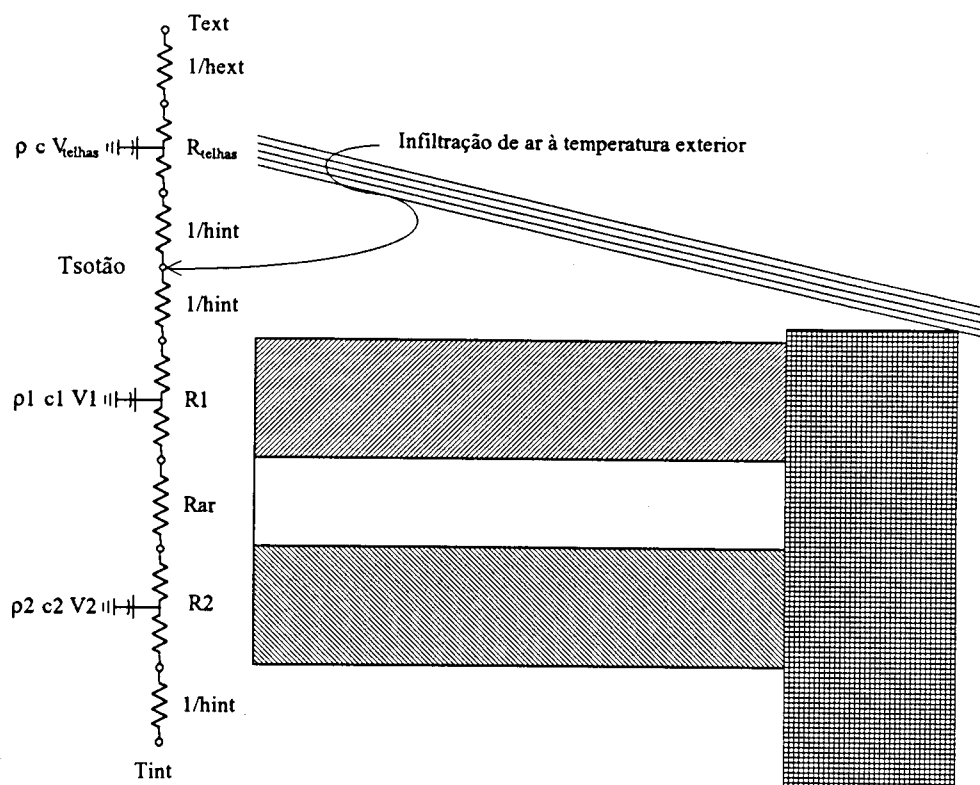


Figura III.2 - Modelo térmico das coberturas em desvão.

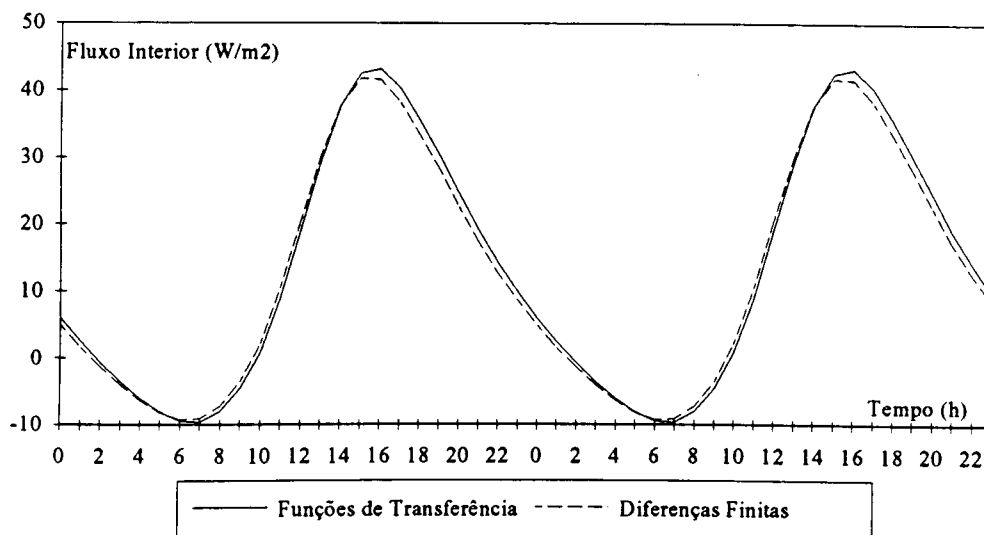


Figura III.3 - Fluxos de calor na superfície interior duma parede de tijolo furado de 15 cm calculados pelo Método das Funções de Transferência e pelo Método de Diferenças Finitas ADI.

III.2.1. - Temperatura Interior

O valor adoptado para a temperatura interior (T_{int}) é constante e igual a 25 °C, qualquer que seja a zona do país. Este é o valor da temperatura interior de projecto considerado confortável para 80% das pessoas quando estão vestidas com vestuário típico de Verão desenvolvendo actividades físicas típicas de escritório ou de lazer [8], como é o caso dos edifícios comuns. A fixação deste valor não é limitativa indicando-se a seguir a forma de corrigir os resultados do modelo para outros valores de T_{int} . No caso da temperatura interior ser diferente de 25 °C aos resultados deve ser adicionada algebricamente a seguinte correcção:

$$\text{Correcção de temperatura interior} = 25,0 - T_{int} \quad (\text{III.1})$$

III.2.2. - Temperatura Exterior

Os valores horários da temperatura exterior dependem da zona climática e são variáveis ao longo do dia.

Tomando como base os valores da temperatura exterior de projecto e da amplitude térmica diária constantes do RCCTE e RQSECE, a temperatura exterior pode-se calcular [59] com recurso à seguinte função sinusoidal de dois ramos:

Para $Hr_{Min} \leq t \leq Hr_{Max}$ vem:

$$T_{ext}(t) = \frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} - \frac{T_{Max} - T_{Min}}{2} \cos \left[\frac{180}{Hr_{Max} - Hr_{Min}} (t - Hr_{Min}) \right] \quad (\text{III.2})$$

Para $Hr_{Max} \leq t \leq 24 + Hr_{Min}$ vem:

$$T_{ext}(t) = \frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} + \frac{T_{Max} - T_{Min}}{2} \cos \left[\frac{180}{24 - Hr_{Max} + Hr_{Min}} (t - Hr_{Max}) \right] \quad (\text{III.3})$$

A temperatura mínima e a temperatura máxima ocorrem respectivamente às 6 e 16 horas legais [59]. Como a partir de 1994, inclusivamente, foi adoptada uma nova hora legal em Portugal Continental, a qual difere da anterior em mais uma hora, as horas de ocorrência atrás referidas passam a ser 7 e 17 horas, respectivamente.

Atendendo a que a hora legal pode mudar em função da política comercial e das relações internacionais é conveniente referenciar desde já tempo legal utilizado neste trabalho com o tempo solar verdadeiro. Assim tem-se:

$$TSV = TL + ET + \lambda / 15 - 1 \quad (III.4)$$

em que:

TSV tempo solar verdadeiro;

TL tempo legal;

ET correcção da hora solar em função da época do ano considerada;

λ longitude do lugar, tomada positiva na direcção Este.

Comparando os valores de temperatura exterior que se obtêm por aplicação deste modelo com os que se obteriam se fosse aplicado o modelo utilizado pela ASHRAE [8] verifica-se que os valores são praticamente iguais, conforme se pode observar na Figura III.4.

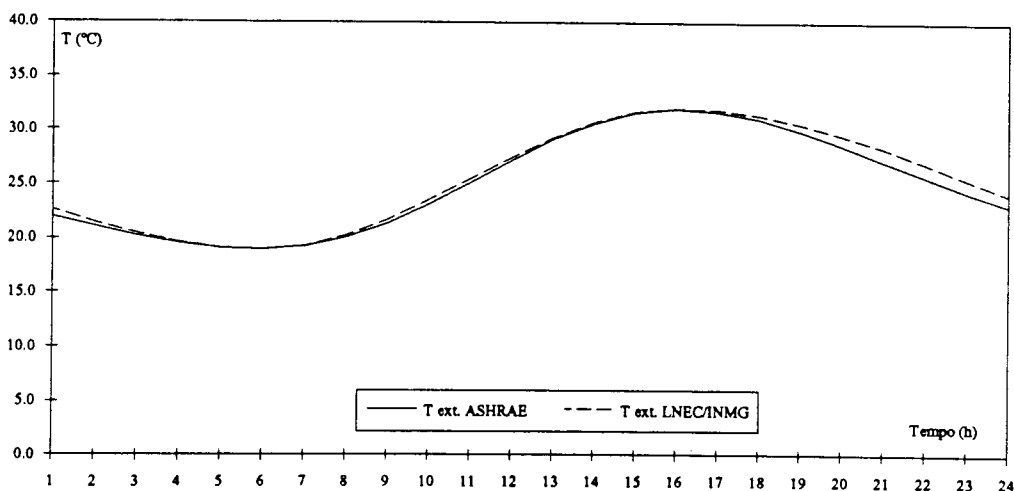


Figura III.4 - Temperatura exterior determinada por dois modelos.

Na Tabela III.1 encontram-se os valores horários da temperatura exterior de projecto para as várias regiões climáticas de Portugal. Estes valores estão representados graficamente na Figura III.5, podendo deste modo visualizar-se mais facilmente as diferenças entre as zonas climáticas.

Os resultados que se irão apresentar ao longo deste trabalho baseiam-se nos valores da temperatura exterior característicos da zona climática V2. No caso da temperatura exterior ser diferente da referida, aos resultados deve ser adicionada algebricamente a seguinte correcção:

$$\text{Correcção de temperatura exterior} = \bar{T}_{\text{ext}} - 25,5 \quad (III.5)$$

em que $\bar{T}_{\text{ext}}$ é a temperatura média exterior do dia de projecto da zona climática correspondente (por exemplo, na zona V1, $\bar{T}_{\text{ext}}$ é igual a 23 °C).

Tabela III.1 - Temperaturas exteriores de projecto (°C).

Hora	V1	V2	V3	Açores	Madeira
1	20,8	22,7	23,5	21,7	22,4
2	19,9	21,4	22,0	21,1	21,9
3	19,1	20,4	20,7	20,7	21,5
4	18,5	19,6	19,8	20,3	21,2
5	18,1	19,2	19,2	20,1	21,1
6	18,0	19,0	19,0	20,0	21,0
7	18,2	19,3	19,4	20,1	21,1
8	19,0	20,2	20,5	20,6	21,5
9	20,1	21,7	22,3	21,2	22,0
10	21,5	23,5	24,5	22,1	22,7
11	23,0	25,5	27,0	23,0	23,5
12	24,5	27,5	29,5	23,9	24,3
13	25,9	29,3	31,7	24,8	25,0
14	27,0	30,8	33,5	25,4	25,5
15	27,8	31,7	34,6	25,9	25,9
16	28,0	32,0	35,0	26,0	26,0
17	27,9	31,8	34,8	25,9	25,9
18	27,5	31,4	34,2	25,7	25,8
19	26,9	30,6	33,2	25,3	25,5
20	26,1	29,5	32,0	24,9	25,1
21	25,2	28,3	30,5	24,3	24,6
22	24,1	26,9	28,8	23,7	24,1
23	23,0	25,5	27,0	23,0	23,5
24	21,9	24,0	25,2	22,3	22,9

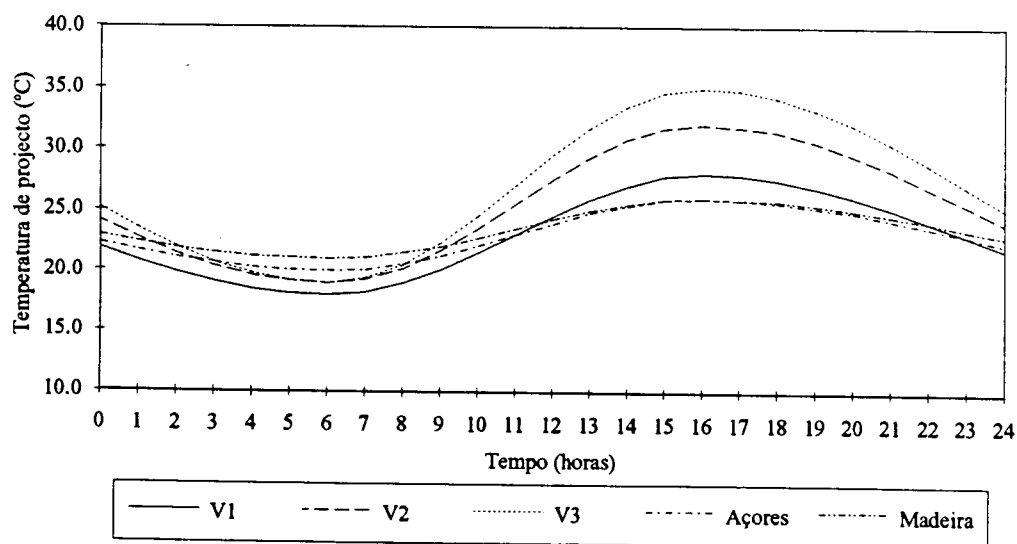


Figura III.5 - Temperatura de projecto das diversas zonas climáticas.

III.2.3. - Radiação Solar

Como em Portugal não há diferenças significativas entre os valores da radiação das diferentes localidades em dias de céu limpo [60], foram adoptados valores típicos para locais situados no hemisfério Norte à latitude de 40° [37] para a radiação solar incidente em superfícies verticais e horizontais. À semelhança do considerado pela ASHRAE no seu método CLTD [8], considerou-se que 21 de Julho é o dia cujos valores de radiação solar melhor representam os dias típicos de Verão.

Tal como nos casos da temperatura interior e exterior no caso de a radiação característica do local ser diferente da considerada deve ser adoptada a seguinte correcção:

$$\text{Correcção de radiação} = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^{24} R_{\text{nova}}(i)}{\sum_{i=1}^{24} R_{\text{tab.III.2}}(i)} \right) - 1 \right] \cdot (\bar{T}_{\text{as}} - \bar{T}_{\text{ext}}) \quad (\text{III.6})$$

em que $\bar{T}_{\text{ext}}$ é a temperatura média exterior do dia de projecto da zona climática V2 e $\bar{T}_{\text{as}}$ é a temperatura ar-sol média também do dia de projecto da zona climática V2 (ver III.2.4.). Na Tabela III.2 indicam-se os valores horários da radiação solar incidente nas principais orientações.

Tabela III.2 - Radiação solar de projecto (W/m²)

Hora Solar	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Hor.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	8	7	2	0	0	0	0	1
6	133	454	498	248	39	39	39	39	115
7	109	590	739	460	76	71	71	71	320
8	104	538	782	581	108	95	95	95	528
9	117	383	702	618	190	114	114	114	703
10	127	204	531	576	292	131	127	127	838
11	135	144	294	460	369	155	135	135	922
12	138	138	150	291	396	291	150	138	950
13	135	135	135	155	369	460	294	144	922
14	127	127	127	131	292	576	531	204	838
15	117	114	114	114	190	618	702	383	703
16	104	95	95	95	108	581	782	538	528
17	109	71	71	71	76	460	739	590	320
18	133	39	39	39	39	248	498	454	115
19	3	0	0	0	0	2	7	8	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0

III.2.4. - Temperatura Ar-sol

Como já foi referido, o método dos factores de resposta usado no cálculo dos fluxos de calor recorre à noção de temperatura ar-sol de modo a contabilizar o efeito da radiação solar incidente na superfície exterior.

Apresentam-se na Tabela III.3, a título de exemplo, os valores da temperatura ar-sol de projecto, relativos a superfícies de cor escura localizadas na zona climática V2, para as principais orientações, calculados pela equação I.7, com os valores dos coeficientes de absorção e de convecção que se definem nas secções seguintes.

Tabela III.3 - Temperatura Ar-sol de projecto da zona V2 (°C)

Hora Solar	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Hor.
1	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8	17,1
2	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	16,2
3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	15,6
4	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	15,4
5	19,4	19,6	19,6	19,3	19,2	19,2	19,2	19,2	15,6
6	27,0	44,0	46,3	33,1	22,0	22,0	22,0	22,0	22,3
7	27,0	52,4	60,3	45,5	25,2	25,0	25,0	25,0	34,4
8	28,3	51,4	64,3	53,6	28,6	27,9	27,9	27,9	47,1
9	31,0	45,1	61,9	57,5	34,9	30,8	30,8	30,8	58,3
10	33,5	37,6	54,9	57,3	42,3	33,8	33,5	33,5	67,5
11	35,8	36,3	44,3	53,1	48,2	36,9	35,8	35,8	73,8
12	37,6	37,6	38,2	45,7	51,2	45,7	38,2	37,6	76,8
13	38,5	38,5	38,5	39,6	50,9	55,7	46,9	39,0	76,5
14	38,6	38,6	38,6	38,8	47,4	62,4	60,0	42,7	72,6
15	38,1	37,9	37,9	37,9	41,9	64,6	69,0	52,2	65,4
16	37,0	36,6	36,6	36,6	37,2	62,3	72,9	60,0	55,8
17	36,6	34,6	34,6	34,6	34,9	55,2	70,0	62,1	44,1
18	37,0	32,0	32,0	32,0	32,0	43,1	56,3	53,9	32,3
19	28,9	28,7	28,7	28,7	28,7	28,9	29,1	29,2	25,1
20	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	23,7
21	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	22,3
22	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	20,9
23	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	19,5
24	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	18,2

III.2.5. - Coeficiente de Absorção

O coeficiente de absorção é variável e depende da cor da superfície exterior. Normalmente é adoptado um valor de 0,90 para as cores escuras e 0,45 para as cores claras [8].

Os edifícios, nos meios urbanos, estão sujeitos à poluição atmosférica e portanto expostos a poeiras de cor escura que aderem às superfícies exteriores. Estas poeiras

são mais facilmente removidas, pela acção da chuva, nas superfícies horizontais do que nas verticais, o que é comprovado pelo facto de, passado um ou dois anos, após uma pintura de fachadas com uma cor clara, estas apresentarem uma tonalidade mais escura que a original.

Por esta razão, o coeficiente de absorção das superfícies verticais considera-se igual a 0,90 enquanto que, para as superfícies horizontais, se adoptam os valores de 0,45 e 0,90 correspondendo respectivamente a cores claras e escuras.

III.2.6. - Coeficiente de Convecção

A determinação de um coeficiente de convecção a adoptar nos estudos térmicos dos edifícios é complexa pois ele depende de variáveis como a velocidade do vento, a inclinação e rugosidade da superfície e a diferença de temperaturas entre a superfície e o ar ambiente, as quais variam de caso para caso.

A norma internacional ISO 6946/1 (1986) [61], cuja adopção é recomendada [62], preconiza, para as situações correntes, uma resistência térmica superficial exterior de $0,04 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$, que é equivalente a um coeficiente de convecção igual a $25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. No entanto, os valores de ΔT_e constantes do RCCTE e do RQSECE foram calculados com base nos valores de CLTD publicados pela ASHRAE, os quais se baseiam num coeficiente de convecção de $17 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. A adopção do valor de $25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ para o coeficiente de convecção exterior traria como consequência diminuir, em termos relativos, a importância da radiação solar no cálculo das cargas térmicas de Verão. Por outro lado, uma análise dos valores registados da velocidade do vento nos meses de Verão nas principais cidades portuguesas [63] revelou que a velocidade média do vento é igual a $3,3 \text{ m/s}$. Este valor é muito semelhante a $3,4 \text{ m/s}$, que é o valor de projecto da velocidade do vento no Verão recomendada pela ASHRAE [7 e 8]. A estes valores da velocidade média do vento corresponde, para acabamentos correntes das superfícies dos edifícios, um coeficiente de convecção médio aproximadamente igual a $17 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ [55], conforme se pode verificar na Figura III.6 onde está representado graficamente o modelo de cálculo do coeficiente de convecção adoptado pelo programa DOE-2.

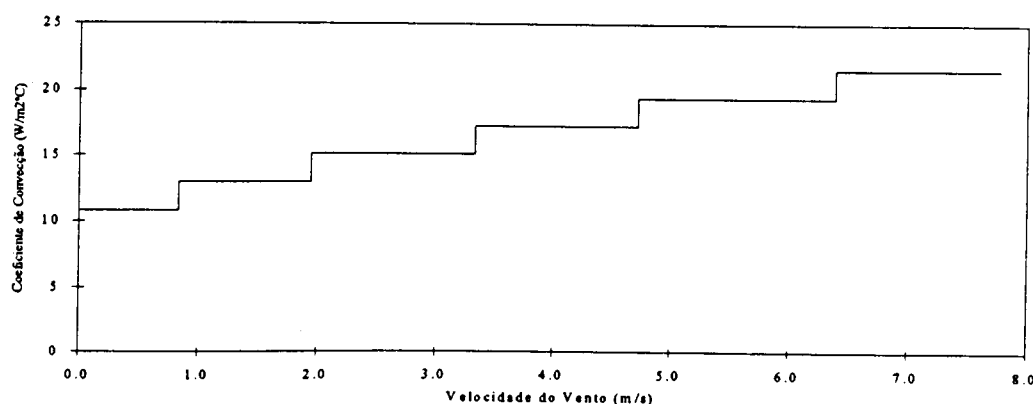


Figura III.6 - Coeficiente de convecção em função da velocidade do vento.

Pelas razões expostas, foi adoptado neste estudo o valor de $17 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ para coeficiente de convecção exterior.

III.2.7. - Diferenças Efectivas de Temperatura

No Verão, os ganhos de calor por condução através da envolvente, devido à intensa radiação solar que sobre ela incide, 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 a valores de diferenças efectivas de temperatura (usualmente os CLTD's publicados pela ASHRAE), que contabilizam simultaneamente os efeitos da diferença de temperatura e da radiação solar incidente. Essas diferenças efectivas de temperatura podem definir-se como as diferenças de temperatura que deveriam existir em regime estacionário entre o ar de ambos os lados de um elemento da envolvente, para que, na ausência da radiação solar, os ganhos de calor na superfície interior fossem os mesmos da situação real (instacionária e com incidência solar). Os valores das diferenças efectivas de temperatura são determinados pelo quociente entre os valores da carga térmica e o coeficiente global de transferência de calor em regime permanente do elemento opaco.

Para caracterizar o comportamento térmico dos elementos da envolvente, neste estudo, foi também adoptado o conceito de diferenças efectivas de temperatura. Como essa caracterização é realizada através da quantificação do fluxo de calor que chega à superfície interior, decidiu-se utilizar a noção de diferença efectiva de temperatura modificando-se, de momento, para isso a sua definição. Então, o cálculo da diferença efectiva de temperatura, em vez de se basear na carga térmica, tal como na regulamentação portuguesa [2 e 3], deverá basear-se no ganho de calor instantâneo. Para evitar confusão com os valores apresentados no Capítulo IV, onde as diferenças efectivas de temperatura se baseiam então na carga térmica, isto é, tendo em conta a inércia do espaço para além do elemento propriamente dito, adopta-se como notação DT_e em vez de ΔT_e . Assim DT_e pode-se calcular como:

$$DT_e(t) = \frac{\dot{q}(t)}{K} \quad (\text{III.7})$$

Como resultado da aplicação da equação II.50, obtém-se um conjunto de valores horários para o ganho de calor proveniente de um determinado elemento. Para as condições climáticas típicas de um dia de Verão, cada elemento será então caracterizado por um conjunto de 24 valores horários de ganho de calor. Assim, a diferentes tipos de elementos corresponderão conjuntos diferentes de valores do ganho de calor. No entanto, como mais adiante se comprova, verifica-se que muitos têm comportamentos semelhantes se se recorrer ao conceito de DT_e .

Do exposto resulta que o ganho de calor instantâneo de um determinado elemento opaco pode então ser calculado, conhecendo-se a sua área (A), o seu coeficiente global de transferência de calor em regime permanente (K) e os respectivos valores de DT_e , por:

$$\dot{q}(t) = A K D T_e(t) \quad (\text{III.8})$$

Para se proceder ao cálculo de cargas térmicas através do método CLTD torna-se necessário executar as correcções de temperatura exterior e de temperatura interior de modo a adaptar os valores tabelados às condições climáticas do edifício. No caso dos valores de ΔT_e que constam do RCCTE e do RQSECE, essas correcções também foram aplicadas de modo a fazer-se a adaptação à situação climática portuguesa. Daqui resulta que estes métodos usam condições de cálculo iguais às aqui apresentadas, o que implica que as diferenças entre os novos valores apresentados no Capítulo IV e os valores até agora usados não se devem a diferentes condições de cálculo mas ao facto de as paredes e coberturas serem diferentes das consideradas neste trabalho.

III.2.8. - Temperatura do Ar do Desvão das Coberturas

No caso das coberturas em desvão a determinação do fluxo de calor que atravessa o tecto só é possível, de acordo com o modelo térmico adoptado, se for conhecida a temperatura do ar do desvão.

A temperatura do ar do desvão das coberturas é influenciada por uma diversidade de factores, que podem ou não actuar em simultâneo, resultando numa combinação de efeitos complexa. No entanto, e de acordo com os estudos efectuados sobre coberturas em desvão [57], a temperatura do ar do desvão depende essencialmente da natureza do revestimento superior, do volume de ar e do tecto.

Limitando o estudo ao caso das coberturas correntemente construídas em Portugal, as três componentes preponderantes no comportamento das coberturas em desvão, atrás referidas, podem assumir ainda diversos aspectos, como se verá de seguida:

- O revestimento superior da cobertura pode ser executado em telhas ou em chapas. As telhas podem ser cerâmicas ou de argamassa de cimento. Quanto às chapas elas podem ser de fibrocimento ou metálicas. Cada um destes materiais tem uma permeabilidade ao ar diferente, resultando por isso, e pela possibilidade do revestimento ser montado sobre uma laje ou sobre uma estrutura descontínua de madeira ou de betão, uma permeabilidade global da cobertura diferente de caso para caso. A temperatura do ar do desvão depende também da quantidade de radiação solar que é absorvida, o que torna pois necessário considerar o coeficiente de absorção do revestimento, ou seja, a cor do revestimento.
- O volume de ar do desvão está confinado pelas vertentes e pela laje de esteira (ou de tecto) e constitui uma única zona, uma vez que neste tipo de espaço geralmente não há compartimentação. Esse volume tem dimensões variáveis de acordo com a área do edifício e com a inclinação das vertentes. Por outro lado, a inclinação das vertentes e a sua orientação têm influência na quantidade de radiação solar que atinge a superfície exterior do revestimento e consequentemente na quantidade de energia que é absorvida, havendo, por isso, que considerar estes parâmetros pois deles depende a temperatura do ar do desvão.

- O tecto é usualmente constituído por uma laje aligeirada integrando vigotas prefabricadas de betão pré-esforçado, blocos de cofragem e betão complementar aplicado em obra. Há casos em que esta laje é de betão maciço e outros em que a separação entre o espaço inferior e o desvão é realizado apenas por um esteira leve.

Do exposto pode-se concluir que dada a diversidade de situações possíveis, para calcular das cargas térmicas de arrefecimento de projecto provenientes de coberturas em desvão, deverá ser feito um estudo de sensibilidade da influência dos parâmetros identificados na temperatura do ar do desvão.

Assim, em relação ao caso do revestimento superior da cobertura, devem ser considerados diferentes níveis de permeabilidade. Para efeitos do cálculo das cargas térmicas de arrefecimento de projecto são recomendados [57] os valores de 9 e 28 renovações de ar por hora, respectivamente, para o caso de revestimento de chapas de fibrocimento e de telhas. Todavia, atendendo a que em Portugal são também muito frequentes as coberturas em que as vertentes e a laje de esteira são constituídas por lajes aligeiradas, formando um desvão não ventilado, é necessário considerar também o valor de zero renovações de ar por hora.

Em suma, no que diz respeito à permeabilidade da cobertura, o estudo de sensibilidade deverá considerar 3 níveis: 0, 9 e 28 renovações de ar por hora, respectivamente, para o caso do desvão não ventilado, do revestimento com chapas de fibrocimento e do revestimento com telhas, nestes dois últimos casos para desvão ventilado.

Ainda em relação ao revestimento superior da cobertura, devem ser considerados os coeficientes de absorção da radiação solar adequados para cada material. Atendendo a que qualquer material pode ser dotado de uma pigmentação artificial, transformando um material tipicamente claro num material escuro, e vice-versa, foi decidido utilizar, no estudo de sensibilidade, para todos os materiais, coeficientes de absorção típicos dos revestimentos de cor escura e de cor clara e que são, respectivamente, 0,90 e 0,45.

Em relação ao volume de ar do desvão, os parâmetros que lhe estão associados são muito variáveis. Assim, para as dimensões da área da cobertura recorreu-se não só à informação contida nos diversos projectos que foram submetidos à apreciação do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Minho mas também à observação de diversas construções de vários pisos e com coberturas de vários tipos, tendo-se constatado que a área das coberturas correntes varia entre cerca de 75 m² e 170 m². Para o estudo de sensibilidade, na impossibilidade de se considerarem todos os valores possíveis para área das coberturas, consideraram-se 3 escalões para esta dimensão: 100, 125 e 150 m². O escalão dos 100 m² inclui as coberturas com área desde os 75 m² até aos 112,5 m². O escalão dos 125 m² inclui as coberturas com área desde os 112,5 m² até aos 137,5 m². Por último, o escalão dos 150 m² inclui as coberturas com área desde os 137,5 m² até aos 170 m².

O volume do desvão depende não só da área da cobertura mas também do número de vertentes. Constatou-se, com base nas referidas fontes, que a maior parte das coberturas correntes são constituídas por duas vertentes, havendo ainda bastantes casos de coberturas de apenas uma vertente. Deste modo, para o estudo de

sensibilidade, consideraram-se apenas as coberturas de duas vertentes e coberturas de uma única vertente. Atendendo a que as coberturas de quatro águas têm um comportamento muito semelhante ao comportamento das coberturas de duas águas, como se mostra na Figura III.7, não foi necessário incluir este tipo de coberturas nas diversas combinações de soluções construtivas possíveis.

A inclinação das vertentes é outro dos parâmetros dos quais depende o volume do desvão de uma cobertura. A inclinação das vertentes das coberturas analisadas varia entre 15 e 25°, daí o facto de no estudo de sensibilidade realizado se terem escolhido os seguintes valores para a inclinação das coberturas: 15, 20 e 25°.

Em relação à orientação das vertentes da cobertura, há uma multiplicidade de situações possíveis. Assim, para o estudo de sensibilidade, na impossibilidade de se considerarem todas orientações possíveis, consideraram-se apenas as orientações principais: Norte - Sul e Este - Oeste para as coberturas de duas águas; e Norte, Este Sul e Oeste para as coberturas de uma água.

Relativamente à laje de tecto, existe uma certa variedade, especialmente em relação à espessura (variando desde os 15 até aos 25 cm, dependendo do vão a vencer) e no caso das lajes aligeiradas existe também variedade em relação aos blocos de cofragem, os quais podem ser cerâmicos ou de betão. Tal como anteriormente da análise dos diversos projectos existentes, assim como da observação de diversas obras, constatou-se que na maior parte dos projectos e das construções realizadas recentemente (após a entrada em vigor do RCCTE), se encontra uma camada de isolamento térmico de 3 a 4 cm de espessura aplicado sobre a laje. Esta camada isolante atenua as diferenças de comportamento térmico das diversas soluções construtivas ($0,6 \leq K \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$), como se pode verificar na Figura III.7 onde se pode verificar que não há uma grande diferença de comportamento térmico do ar do desvão no caso existir um isolamento térmico com a espessura de 3 cm aplicado sobre uma laje aligeirada ou sobre uma laje maciça.

Esse facto permite simplificar o estudo de sensibilidade levando a que seja considerado apenas um tipo de laje de tecto para representar o comportamento térmico do ar nos desvão que possuem lajes de esteira isoladas. Este elemento construtivo consiste numa laje aligeirada integrando vigotas prefabricadas de betão pré-esforçado, blocos de cofragem cerâmicos com duas fiadas de furos (16 cm), betão complementar aplicado em obra (4 cm) e uma camada de isolante térmico de 3 cm de espessura aplicado sobre a laje.

As lajes de esteira não isoladas constituem a esmagadora maioria das lajes construídas antes da entrada em vigor do RCCTE. Nos edificios actualmente existentes em Portugal este tipo de laje ainda constitui uma parcela significativa, tornando-se, portanto, necessário caracterizar convenientemente o comportamento térmico dos desvãos que utilizam lajes não isoladas. Foi seleccionada, como representativa deste tipo de elemento, uma laje aligeirada integrando vigotas prefabricadas de betão pré-esforçado, blocos de cofragem cerâmicos com duas fiadas de furos (16 cm) e betão complementar aplicado em obra (4 cm).

Nos casos em que a separação entre o espaço inferior e o desvão é realizado apenas por um esteira leve constituída, por exemplo, por painéis de gesso cartonado com

cerca de 1,5 cm de espessura, é necessário distinguir se existe ou não um isolante térmico aplicado sobre a esteira. Caso exista um isolante térmico, com a espessura mínima de 3 cm, o comportamento do desvão é muito semelhante ao comportamento das coberturas com laje aligeirada também isolada. No caso de não existir isolante térmico sobre a esteira o comportamento térmico do desvão assemelha-se ao comportamento das coberturas com laje não isolada, como se mostra na Figura III.7 onde se encontra representada graficamente a evolução da temperatura do ar no desvão em função do tipo de laje de esteira e do seu isolamento, para coberturas de duas águas de cor escura e com 0 renovações de ar por hora.

Na Figura III.7 encontra-se ainda representada a evolução da temperatura do ar do desvão no caso existir um isolamento térmico com a espessura de 6 cm aplicado sobre uma laje aligeirada, podendo-se verificar que o comportamento térmico de um desvão nestas condições é semelhante ao caso de existir um isolamento térmico apenas com a espessura de 3 cm. Pode-se, portanto, concluir que em termos de temperatura do ar do desvão é indiferente ter-se uma laje isolada com 3 cm, ou com uma espessura superior.

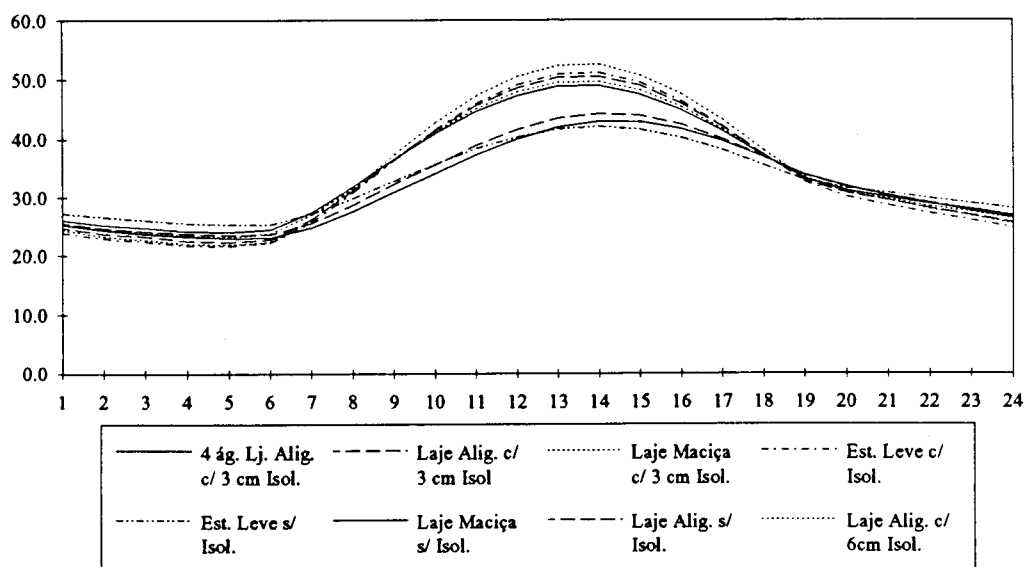


Figura III.7 - Temperaturas de desvãos em função do número de águas e do tipo de laje de esteira.

Face ao que atrás foi exposto e analisando-se os resultados apresentados na Figura III.7 conclui-se que deverão ser considerados 2 tipos de lajes de esteira: uma isolada e outra não isolada. Tal como já referido, a laje isolada seleccionada representa, em termos de comportamento térmico do desvão, não só as lajes aligeiradas como também as lajes maciças e as esteiras leves, todas elas com isolamento aplicado pelo lado superior. No caso da laje não isolada, esta também representa, para além das lajes aligeiradas, as lajes maciças e as esteiras leves.

Para determinar a temperatura do ar do desvão e a influência dos parâmetros atrás identificados foi utilizado o programa DOE-2, tendo para isso sido efectuadas diversas simulações (mais precisamente, 648) resultantes de todas as combinações

possíveis dos parâmetros referidos (3 tipos de renovações $\times$ 2 cores $\times$ 3 áreas $\times$ 3 inclinações $\times$ 6 orientações $\times$ 2 lajes de esteira).

Os resultados do estudo efectuado revelam que as variações do volume de ar (desde 134 m³ até 428 m³) assim como as variações na inclinação das vertentes (desde 15° até 25°), têm pouca influência na temperatura final do desvão. A Figura III.8 mostra, exemplificativamente, para o caso de uma cobertura de duas águas orientadas a Norte-Sul, as temperaturas de desvãos com várias volumetrias e inclinações das vertentes em função da cor e da renovação do ar.

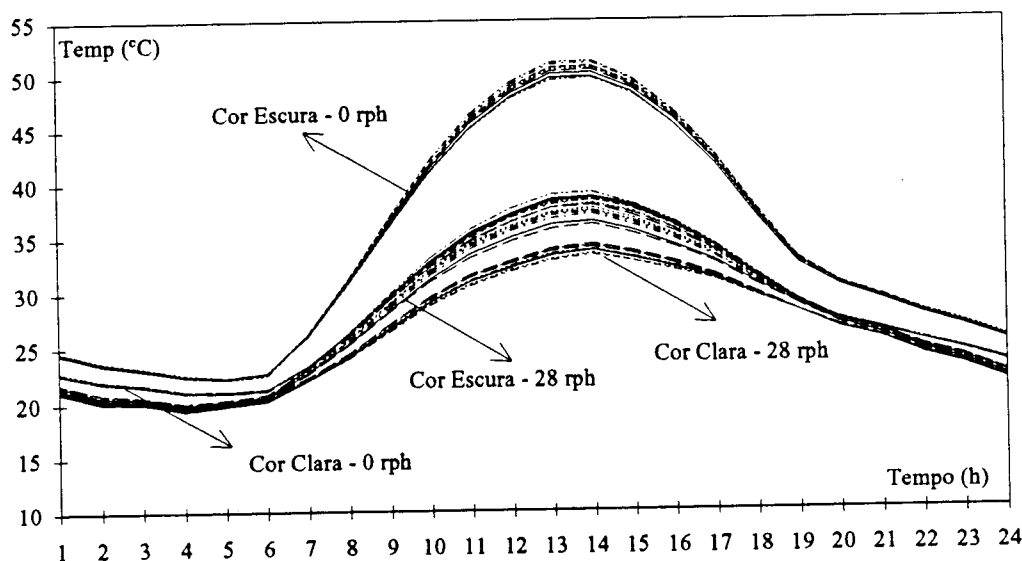


Figura III.8 - Temperaturas de desvãos de duas águas com várias volumetrias e inclinações das vertentes em função da cor e da renovação do ar.

Em relação às diversas volumetrias simuladas, estes resultados eram esperados uma vez que os diferentes volumes foram obtidos por ampliação, com o mesmo factor de escala, de todos os elementos da envolvente, resultando assim ganhos e perdas térmicas através desses elementos também ampliadas do mesmo factor de escala.

Quanto à inclinação das vertentes, a sua pouca influência na temperatura final do desvão justifica-se simplesmente porque a radiação incidente numa superfície inclinada a 20° é, em média, aproximadamente igual à radiação incidente nas superfícies inclinadas a 15 e a 25°. O desvio padrão das diferenças entre a radiação incidente numa superfície inclinada a 20° e a radiação incidente nas superfícies inclinadas a 15 e a 25° é de 2%, no caso das vertentes orientadas a Norte ou a Sul, e de 9%, no caso das vertentes orientadas a Este ou a Oeste.

Os resultados do estudo de sensibilidade efectuado revelaram, tal como esperado, que os parâmetros que mais influenciam a temperatura do ar do desvão são, por ordem decrescente de importância, a cor do revestimento exterior, a taxa de renovação do ar, a existência ou não de isolante sobre a esteira e a orientação das vertentes.

Em relação à orientação das vertentes, as diferenças na evolução da temperatura do sótão manifestam-se como maior acuidade no caso das coberturas de cor escura e sem renovação de ar (ver Figura III.9). Estas diferenças de comportamento vão-se

atenuando à medida que aumenta a renovação do ar, quer se trate de coberturas de cor escura ou de cor clara (ver Figuras III.10 a III.13), apresentando-se já quase com um comportamento indiferenciado, em relação à orientação das vertentes, no caso das coberturas de cor clara e com 28 renovações de ar por hora (ver Figura III.14). Estas diferenças de comportamento são, em qualquer situação, relativamente reduzidas, traduzindo-se essencialmente por um desfazamento em relação à hora de ocorrência do valor máximo, como se pode verificar pela observação das figuras referidas.

A cor do revestimento, a sua permeabilidade ao ar e a existência ou não de isolamento sobre a esteira, marcam, de uma forma muito mais importante que os outros parâmetros, o comportamento térmico das coberturas em desvão, conforme se pode concluir da análise conjunta das Figuras III.7 a III.14. Assim, pode-se exprimir, sem grandes erros, como se verá de seguida, a temperatura do ar do desvão como função única da cor do revestimento, da sua permeabilidade ao ar e da existência ou não de isolamento sobre a esteira, ignorando os restantes parâmetros.

Nas Tabelas III.4 a III.7 apresentam-se de forma resumida os resultados do estudo efectuado expressos em termos dos valores médios dos máximos e dos mínimos da temperatura instantânea do ar do desvão. De modo a quantificar a dispersão dos valores das temperaturas que ocorrem nos diversos tipos de coberturas constam ainda destas tabelas os valores dos respectivos desvios padrão.

Como era de esperar, uma vez que as cores escuras absorvem mais a radiação solar do que as cores claras, os resultados relativos às coberturas de cor escura são menos homogêneos que os relativos às coberturas de cor clara. No entanto, da análise das Tabelas III.4 a III.7, resulta que, mesmo para as coberturas de cor escura com esteira isolada, as quais constituem a situação mais desfavorável em termos da dispersão de valores, o valor máximo do desvio padrão da temperatura em relação à média é inferior a 5%, o que é um valor perfeitamente aceitável.

Apresentam no Anexo D os valores médios típicos da temperatura ar no desvão das coberturas expressos em função do número de renovações do ar, da cor do revestimento, da existência ou não de isolante sobre a esteira, do número de águas e da sua orientação.

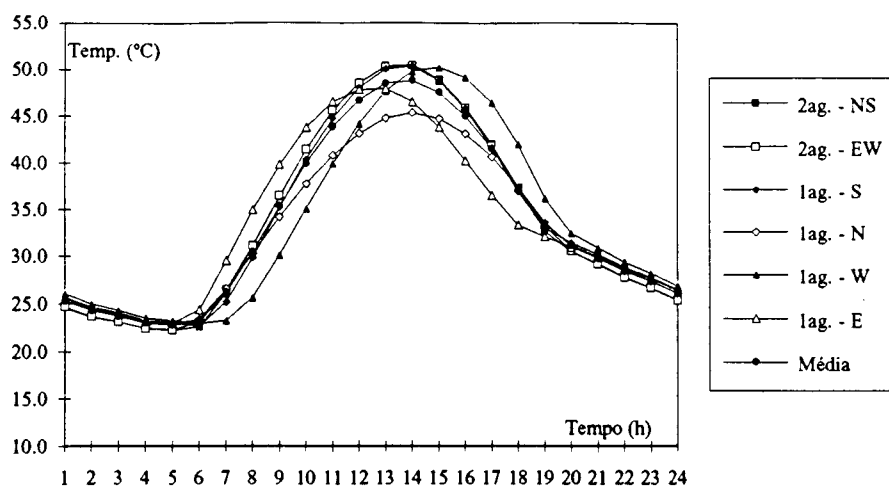


Figura III.9 - Temperatura do sótão para revestimento de cor escura e 0 rph.

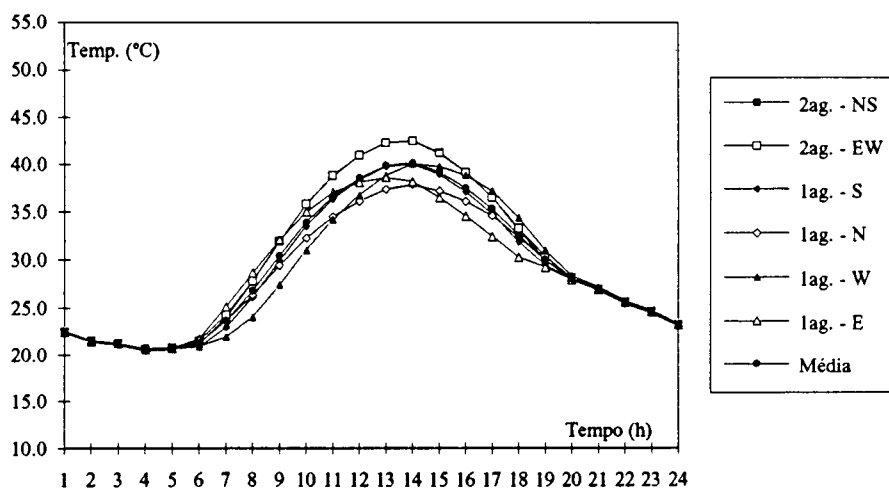


Figura III.10 - Temperatura do sótão para revestimento de cor escura e 9 rph.

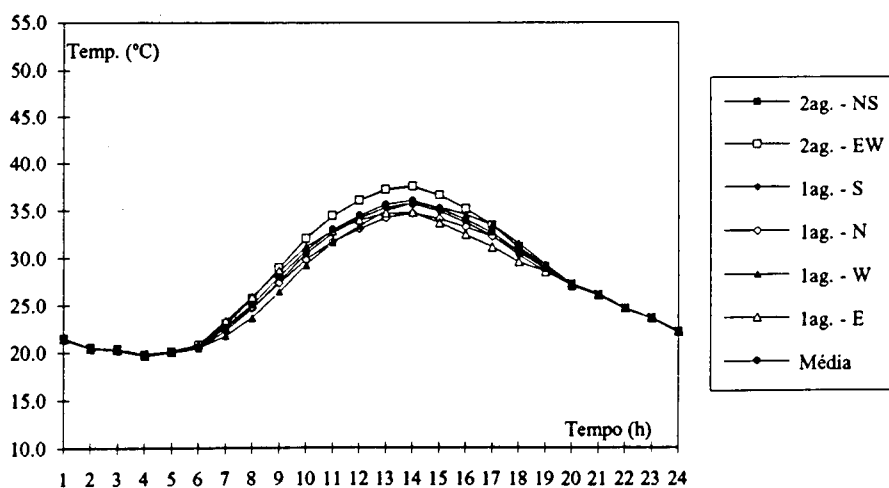


Figura III.11 - Temperatura do sótão para revestimento de cor escura e 28 rph.

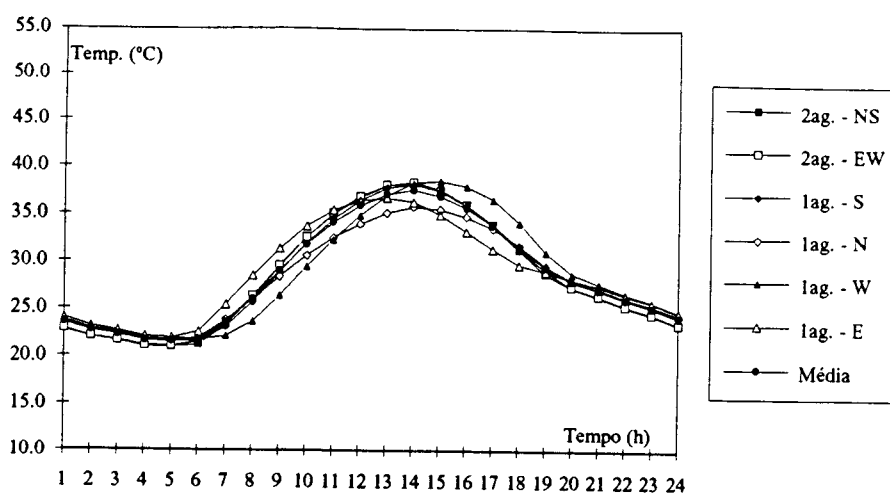


Figura III.12 - Temperatura do sotão para revestimento de cor clara e 0 rph.

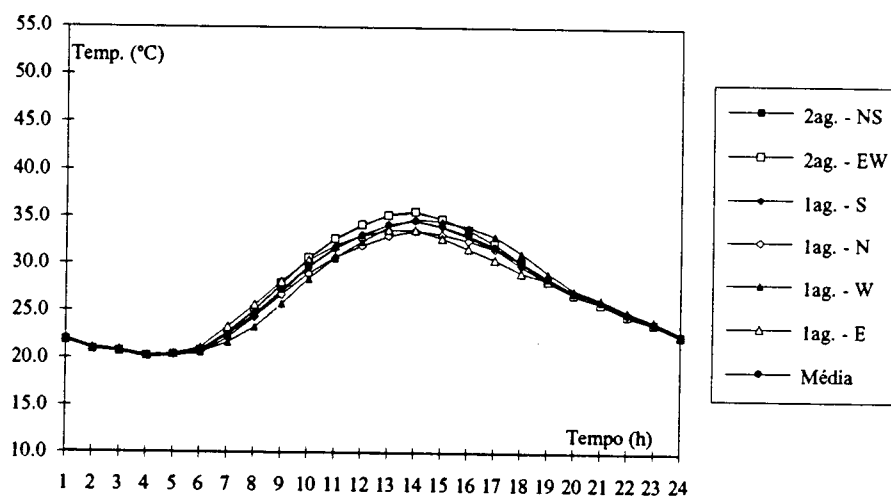


Figura III.13 - Temperatura do sotão para revestimento de cor clara e 9 rph.

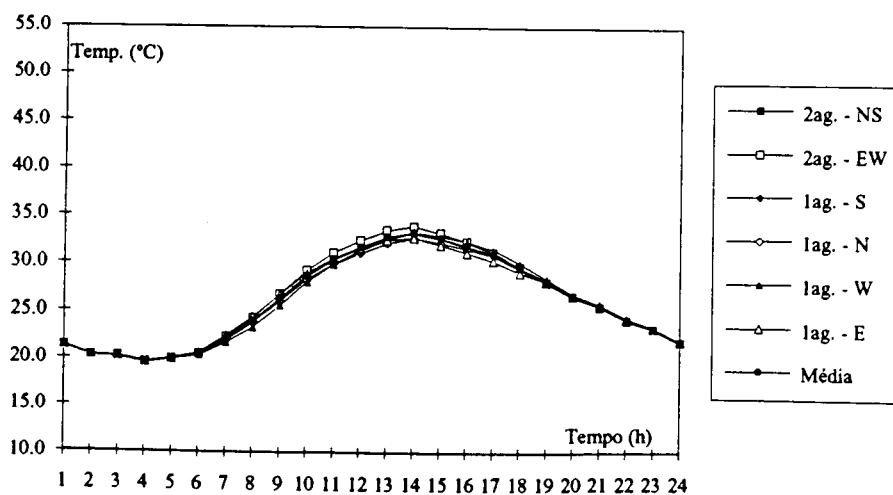


Figura III.14 - Temperatura do sotão para revestimento de cor clara e 28 rph.

Tabela III.4 - Resumo do estudo de sensibilidade para as coberturas em desvão de cor escura e com a laje de esteira isolada superiormente

0 rph					9 rph					28 rph				
2 águas					2 águas					2 águas				
		Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)
Este_Oeste	Min	22,3	0,2	1%	Este_Oeste	Min	20,6	0,2	1%	Este_Oeste	Min	19,8	0,1	0%
	Máx	50,4	1,2	2%		Máx	42,5	0,9	2%		Máx	37,5	0,5	1%
Norte_Sul	Min	22,3	0,2	1%	Norte_Sul	Min	20,6	0,2	1%	Norte_Sul	Min	19,8	0,1	0%
	Máx	50,5	1,2	2%		Máx	42,5	0,9	2%		Máx	37,5	0,5	1%
0 rph					9 rph					28 rph				
1 água					1 água					1 água				
		Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)
Sul	Min	22,8	0,3	1%	Sul	Min	20,5	0,1	1%	Sul	Min	19,7	0,1	1%
	Máx	50,3	1,1	2%		Máx	40,0	0,8	2%		Máx	35,7	0,4	1%
Norte	Min	22,9	0,3	1%	Norte	Min	20,5	0,1	1%	Norte	Min	19,7	0,2	1%
	Máx	45,5	1,3	3%		Máx	37,8	0,8	2%		Máx	34,7	1,1	3%
Oeste	Min	23,0	0,2	1%	Oeste	Min	20,6	0,1	1%	Oeste	Min	19,7	0,2	1%
	Máx	50,2	1,3	3%		Máx	40,0	0,8	2%		Máx	35,7	0,5	1%
Este	Min	23,0	0,3	1%	Este	Min	20,6	0,2	1%	Este	Min	19,7	0,2	1%
	Máx	47,9	1,2	3%		Máx	38,6	0,8	2%		Máx	34,8	0,5	1%
0 rph					9 rph					28 rph				
Perfil					Perfil					Perfil				
		Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)
Médio	Min	22,8	0,3	1%	Médio	Min	20,6	0,2	1%	Médio	Min	19,7	0,3	2%
	Máx	48,9	2,1	4%		Máx	40,2	1,4	4%		Máx	36,0	2,0	5%

Tabela III.5 - Resumo do estudo de sensibilidade para as coberturas em desvão de cor clara e com a laje de esteira isolada superiormente

0 rph					9 rph					28 rph				
2 águas					2 águas					2 águas				
		Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)
Este_Oeste	Min	21,1	0,2	1%	Este_Oeste	Min	20,2	0,2	1%	Este_Oeste	Min	19,7	0,1	0%
	Máx	38,4	0,5	1%		Máx	35,6	0,3	1%		Máx	33,9	0,3	1%
Norte_Sul	Min	21,0	0,2	1%	Norte_Sul	Min	20,1	0,2	1%	Norte_Sul	Min	19,6	0,1	0%
	Máx	38,4	0,5	1%		Máx	35,7	0,3	1%		Máx	33,9	0,3	1%
0 rph					9 rph					28 rph				
1 água					1 água					1 água				
		Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)
Sul	Min	21,6	0,2	1%	Sul	Min	20,2	0,1	1%	Sul	Min	19,6	0,1	1%
	Máx	38,2	0,3	1%		Máx	34,7	0,2	1%		Máx	33,2	0,2	1%
Norte	Min	21,6	0,2	1%	Norte	Min	20,2	0,1	1%	Norte	Min	19,6	0,1	1%
	Máx	35,8	0,5	1%		Máx	33,6	0,3	1%		Máx	32,7	0,3	1%
Oeste	Min	21,8	0,2	1%	Oeste	Min	20,2	0,1	0%	Oeste	Min	19,6	0,2	1%
	Máx	38,6	0,5	1%		Máx	34,9	0,3	1%		Máx	33,3	0,3	1%
Este	Min	21,9	0,2	1%	Este	Min	20,3	0,1	1%	Este	Min	19,7	0,1	1%
	Máx	36,8	0,5	1%		Máx	33,7	0,3	1%		Máx	32,7	0,3	1%
0 rph					9 rph					28 rph				
Perfil					Perfil					Perfil				
		Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)			Média (°C)	Desvio Pad. (°C)	Desvio Pad. (%)
Médio	Min	21,5	0,4	2%	Médio	Min	20,2	0,2	1%	Médio	Min	19,6	0,1	1%
	Máx	37,6	1,1	3%		Máx	34,7	0,8	2%		Máx	33,3	0,6	2%

Tabela III.6 - Resumo do estudo de sensibilidade para as coberturas em desvão de cor escura e com a laje de esteira não isolada

0 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Este_Oeste	Min	26,7	0,4	2%
	Máx	44,4	0,9	2%
Norte_Sul	Min	26,4	0,4	1%
	Máx	43,9	0,9	2%
0 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Sul	Min	26,5	0,5	2%
	Máx	45,9	0,8	2%
Norte	Min	26,2	0,5	2%
	Máx	42,0	1,0	2%
Oeste	Min	26,6	0,5	2%
	Máx	45,6	0,9	2%
Este	Min	26,6	0,5	2%
	Máx	44,1	0,9	2%
0 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Perfil	Min	26,6	0,7	3%
Médio	Máx	44,1	1,4	3%

9 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Este_Oeste	Min	23,2	0,3	1%
	Máx	39,2	0,7	2%
Norte_Sul	Min	23,1	0,3	2%
	Máx	38,8	0,7	2%
9 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Sul	Min	22,1	0,3	1%
	Máx	38,0	0,5	1%
Norte	Min	21,9	0,3	1%
	Máx	36,2	0,6	2%
Oeste	Min	22,2	0,3	1%
	Máx	37,8	0,6	2%
Este	Min	22,1	0,3	1%
	Máx	36,8	0,6	2%
9 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Perfil	Min	22,4	0,5	2%
Médio	Máx	37,8	0,9	2%

28 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Este_Oeste	Min	21,2	0,1	0%
	Máx	35,8	0,4	1%
Norte_Sul	Min	21,1	0,1	0%
	Máx	35,6	0,5	1%
28 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Sul	Min	20,4	0,0	0%
	Máx	34,8	0,2	1%
Norte	Min	20,3	0,1	1%
	Máx	33,9	0,5	2%
Oeste	Min	20,4	0,1	0%
	Máx	34,7	0,2	1%
Este	Min	20,4	0,1	1%
	Máx	34,0	0,3	1%
28 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Perfil	Min	20,6	0,2	1%
Médio	Máx	34,8	0,4	1%

Tabela III.7 - Resumo do estudo de sensibilidade para as coberturas em desvão de cor clara e com a laje de esteira não isolada

0 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Este_Oeste	Min	24,1	0,3	1%
	Máx	35,2	0,3	1%
Norte_Sul	Min	23,8	0,3	1%
	Máx	34,5	0,3	1%
0 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Sul	Min	23,8	0,3	1%
	Máx	35,6	0,2	1%
Norte	Min	23,7	0,3	1%
	Máx	33,7	0,3	1%
Oeste	Min	24,1	0,3	1%
	Máx	35,7	0,2	1%
Este	Min	24,1	0,3	1%
	Máx	34,6	0,3	1%
0 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Perfil	Min	24,0	0,5	2%
Médio	Máx	34,8	0,5	1%

9 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Este_Oeste	Min	22,1	0,2	1%
	Máx	33,6	0,2	1%
Norte_Sul	Min	21,9	0,2	1%
	Máx	33,3	0,2	1%
9 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Sul	Min	21,3	0,2	1%
	Máx	33,3	0,1	0%
Norte	Min	21,2	0,2	1%
	Máx	32,4	0,1	0%
Oeste	Min	21,4	0,2	1%
	Máx	33,4	0,1	0%
Este	Min	21,4	0,2	1%
	Máx	32,6	0,1	0%
9 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Perfil	Min	21,5	0,3	2%
Médio	Máx	33,1	0,3	1%

28 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Este_Oeste	Min	20,7	0,1	0%
	Máx	32,8	0,2	1%
Norte_Sul	Min	20,6	0,1	0%
	Máx	32,6	0,2	1%
28 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Sul	Min	20,1	0,1	0%
	Máx	32,6	0,1	0%
Norte	Min	20,1	0,1	0%
	Máx	32,1	0,1	0%
Oeste	Min	20,2	0,1	0%
	Máx	32,6	0,1	0%
Este	Min	20,2	0,1	0%
	Máx	32,2	0,2	1%
28 rph		Média (°C)	Desvio Pad.(°C)	Desvio Pad.(%)
Perfil	Min	20,3	0,2	1%
Médio	Máx	32,5	0,2	1%

Nas Tabelas III.8 e III.9 apresentam-se os valores típicos médios da temperatura ar no desvão da cobertura para as situações de o revestimento ser de cor clara ou escura, para os casos de haver ou não ventilação do desvão e para os casos de haver ou não isolante sobre a esteira. Caso se pretenda usar uma maior precisão na determinação das cargas térmicas de coberturas em desvão, podem-se utilizar os valores médios da temperatura ar no desvão que se apresentam no Anexo D e que se aplicam às situações descritas nas Tabelas III.4 a III.7.

Tabela III.8 - Valores típicos da temperatura do desvão com laje com isolante

Hora	Cor Escura			Cor Clara		
	0 rph	9 rph	28 rph	0 rph	9 rph	28 rph
1	25,3	22,5	21,5	23,5	21,9	21,3
2	24,3	21,5	20,4	22,7	21,0	20,3
3	23,7	21,2	20,3	22,3	20,8	20,2
4	23,0	20,6	19,7	21,7	20,2	19,6
5	22,8	20,7	20,1	21,5	20,4	20,0
6	23,2	21,2	20,6	21,8	20,8	20,4
7	26,2	23,7	22,7	23,6	22,5	22,1
8	30,6	26,8	25,1	26,1	24,6	24,0
9	35,5	30,4	28,0	29,0	27,2	26,4
10	40,1	33,9	30,8	31,9	29,7	28,7
11	44,0	36,6	33,0	34,2	31,8	30,5
12	46,8	38,5	34,4	36,0	33,2	31,8
13	48,5	39,9	35,6	37,2	34,3	32,8
14	48,9	40,2	36,0	37,6	34,7	33,3
15	47,6	39,1	35,2	37,0	34,1	32,7
16	45,1	37,5	34,0	35,7	33,1	32,0
17	41,7	35,3	32,6	33,9	31,9	31,0
18	37,5	32,5	30,7	31,6	30,1	29,6
19	33,6	30,0	28,9	29,5	28,5	28,3
20	31,3	28,1	27,1	28,0	27,0	26,7
21	29,9	27,0	26,1	27,1	26,0	25,7
22	28,6	25,6	24,6	26,1	24,8	24,3
23	27,5	24,5	23,6	25,2	23,8	23,3
24	26,2	23,1	22,1	24,2	22,5	21,9

Tabela III.9 - Valores típicos da temperatura do desvão com laje sem isolante

Hora	Cor Escura			Cor Clara		
	0 rph	9 rph	28 rph	0 rph	9 rph	28 rph
1	28,6	24,1	22,3	25,5	23,1	21,9
2	27,8	23,2	21,3	24,9	22,3	21,0
3	27,4	23,0	21,2	24,6	22,0	20,8
4	26,8	22,4	20,6	24,1	21,5	20,3
5	26,6	22,5	20,9	24,0	21,6	20,6
6	26,8	22,8	21,4	24,1	21,9	21,0
7	28,6	24,6	23,1	25,2	23,2	22,4
8	31,5	27,0	25,1	26,8	24,9	24,1
9	34,7	29,8	27,6	28,8	26,9	26,2
10	37,9	32,5	30,0	30,7	28,9	28,2
11	40,5	34,7	32,0	32,3	30,6	29,9
12	42,5	36,2	33,3	33,6	31,7	31,0
13	43,8	37,4	34,4	34,5	32,7	32,0
14	44,1	37,8	34,8	34,8	33,1	32,5
15	43,3	37,1	34,2	34,4	32,7	32,0
16	41,8	35,9	33,3	33,6	32,0	31,4
17	39,5	34,3	32,2	32,5	31,1	30,7
18	36,8	32,3	30,6	31,0	29,8	29,5
19	34,2	30,3	29,0	29,5	28,5	28,3
20	32,6	28,8	27,5	28,5	27,3	26,9
21	31,7	27,9	26,5	28,0	26,5	26,0
22	30,8	26,7	25,2	27,3	25,5	24,7
23	30,0	25,8	24,2	26,7	24,7	23,8
24	29,2	24,7	22,9	26,0	23,6	22,4

III.3. - Classificação das Soluções Construtivas

III.3.1. - Identificação das Soluções Construtivas

Como já foi referido no Capítulo I, as cargas térmicas de projecto são normalmente avaliadas através de metodologias estrangeiras, nomeadamente o método CLTD [7 e 8], as quais estão adaptadas às tipologias construtivas dos respectivos países. Para levar a cabo a caracterização das cargas térmicas de arrefecimento nos edifícios típicos portugueses é necessário, em primeiro lugar, identificar quais são as soluções construtivas correntemente adoptadas em Portugal. Esta identificação foi baseada na publicação do LNEC intitulada "Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios" [64].

Os elementos da envolvente dos edifícios classificam-se genericamente em verticais e horizontais, consoante a sua inclinação em relação ao plano horizontal é superior ou inferior a 60°. Designam-se por paredes e coberturas, respectivamente, os elementos verticais e horizontais.

III.3.2. - Critério de Classificação

Foram estudados todos os tipos de paredes (454) e de coberturas (272) indicados na publicação do LNEC [64] referida pelo RCCTE, tendo sido utilizada, para cada um, a metodologia descrita no Capítulo II, com as condições de cálculo especificadas em III.2.. Além das coberturas referidas, que incluem apenas as coberturas em desvão ventilado, as coberturas em terraço e as coberturas inclinadas, e para completar este trabalho com informações úteis relativas a tipos de coberturas muito comuns na prática da construção civil portuguesa, foram estudadas mais 63 coberturas em desvão não ventilado, 24 coberturas em desvão não ventilado com esteira leve e 67 coberturas em terraço sem camada de forma, perfazendo no total 426 tipos diferentes de coberturas.

Embora não haja dois elementos perfeitamente iguais, há muitos cujo comportamento térmico é muito semelhante. Portanto, e tal como noutros métodos, incluindo o método CLTD, e no RCCTE, as paredes e coberturas cujo comportamento é semelhante foram agrupadas em conjuntos homólogos, sendo o critério de classificação aqui adoptado, a semelhança dos valores mínimo, máximo, as respectivas horas de ocorrência e o valor médio de DT_e das 10 às 22 horas. Foi escolhido este intervalo de tempo por duas razões: 1ª) é durante este período que, na ausência de sistemas de climatização, as cargas térmicas dão o maior contributo para a temperatura do ar no interior, em virtude de a temperatura exterior ser elevada e de não se poder recorrer à ventilação natural para arrefecer o ambiente; 2ª) a resposta térmica dos elementos construtivos, à solicitação térmica de projecto, é uma resposta em regime quasi-permanente, ou seja, exprimindo-se os resultados em termos de DT_e , o valor médio diário é igual para todos os elementos, sendo portanto, impossível estabelecer distinções no comportamento dinâmico de cada um.

III.3.3. - Paredes

III.3.3.1. - Tipos de Paredes

O RCCTE classifica as paredes, em função da sua massa, em três grupos [Leves (massa < 200 Kg/m²), Médias (200 Kg/m² < massa < 400 Kg/m²) e Pesadas (massa > 400 Kg/m²)]. No entanto, neste estudo verifica-se que, além da forte influência da massa, é necessário ter em atenção a composição das paredes, ou seja, as propriedades térmicas dos seus elementos constituintes.

Os resultados que se apresentam a seguir referem-se a paredes orientadas a Sul, localizadas em zonas climáticas classificadas pelo RCCTE com o tipo V2 e delimitando espaços interiores a 25 °C. Para outras orientações ou condições climáticas exteriores e interiores, os resultados obtidos conduzem exactamente às mesmas classificações, conforme se pode verificar pela observação da Figura III.15, onde está representado, a título de exemplo, o comportamento térmico de um conjunto de paredes pertencentes a um grupo e orientadas a Este e a Oeste.

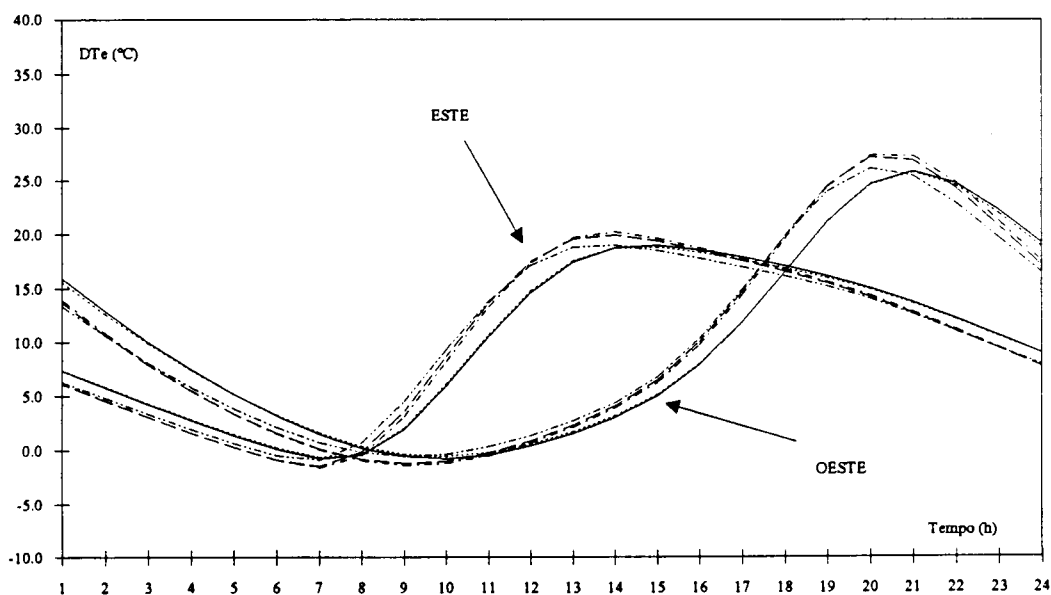


Figura III.15 - Comportamento dum grupo de paredes (orientação Este e Oeste).

De forma a minimizar o erro cometido no agrupamento das paredes, e com base no critério atrás definido, fez-se a classificação das paredes em sete grupos. Apresenta-se na Figura III.16 um gráfico contendo a descrição do comportamento térmico médio típico das paredes que constituem cada grupo, podendo-se verificar que a resposta de um determinado grupo à solicitação térmica admitida (ver III.2.), é distinta da dos outros grupos. A descrição dos tipos de paredes que pertencem a cada grupo está indicada na Tabela III.10 e os critérios usados na avaliação dos erros associados ao agrupamento dos diversos tipos de paredes encontram-se descritos em III.3.3.2..

Na Tabela III.10 a descrição dos tipos de paredes que pertencem a cada grupo indica a existência ou inexistência de isolante térmico, sendo considerados neste estudo os

seguintes tipos de materiais isolantes: 1) Aglomerado negro de cortiça em placas ou lâ mineral em mantas; 2) Poliestireno expandido moldado em placas ou lâ mineral em placas; 3) Poliestireno extrudido em placas; 4) Espuma rígida de poliuretano em placas. Embora estes 4 tipos de materiais tenham condutibilidades térmicas diferentes e, portanto, conduzam a resistências térmicas diferentes, o fluxo de calor que atravessa uma parede, quando expresso em termos de DT_e , é aproximadamente igual qualquer que seja o material isolante aplicado. Este facto está ilustrado na Figura III.17, onde estão representados os valores instantâneos do fluxo de calor que atravessa uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado de 11+11 cm isolada alternadamente com os referidos isolantes com a espessura de 2 cm aplicados na caixa de ar. Em relação aos outros tipos de paredes, bem como em relação a outras espessuras dos materiais isolantes passa-se exactamente o mesmo. Portanto, embora este estudo tenha sido efectuado para os 4 materiais isolantes referidos, neste texto, passa-se apenas a referir se os elementos estão ou não isolados não sendo necessário estabelecer distinção entre os isolantes.

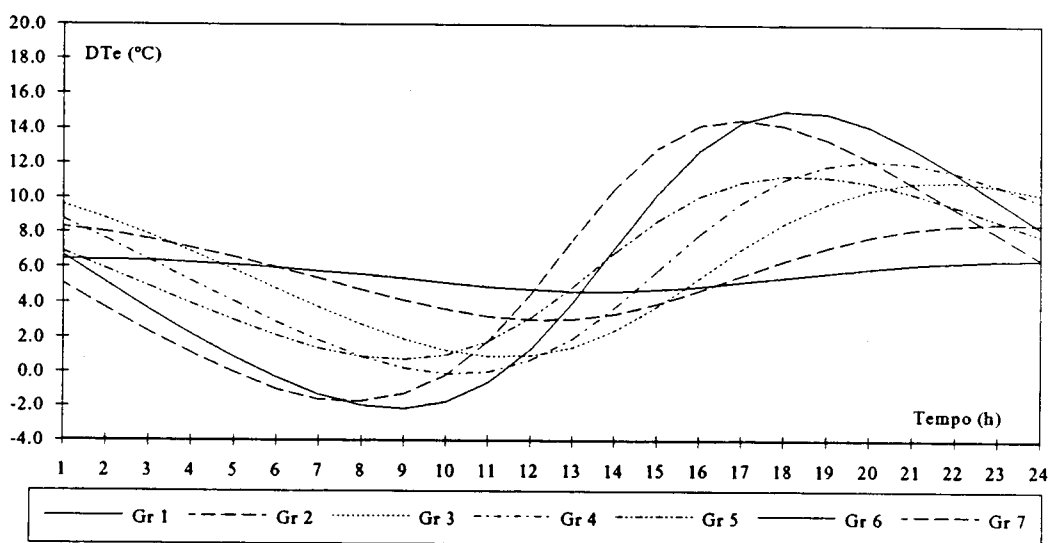


Figura III.16 - Comportamento dos sete tipos de paredes.

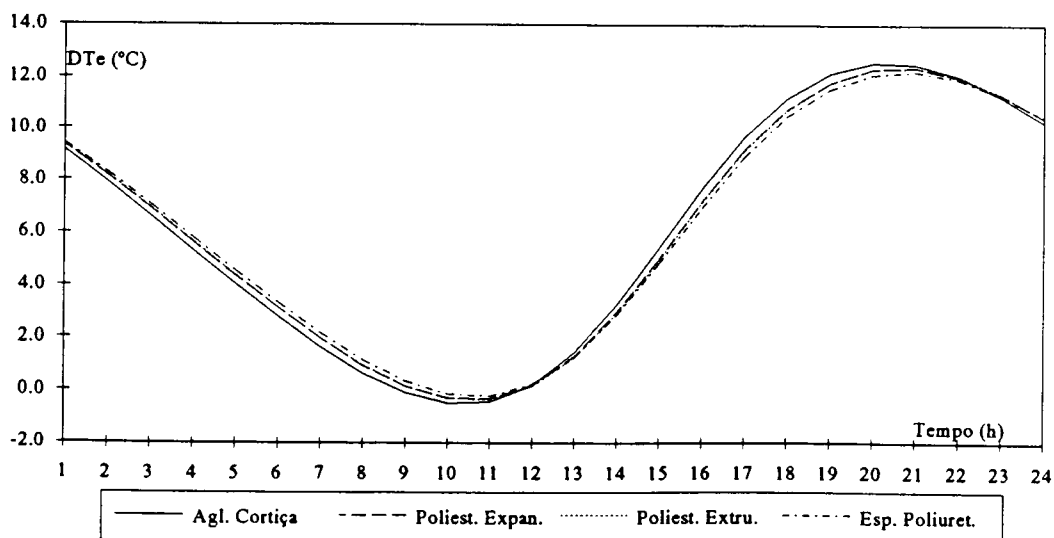


Figura III.17 - Comportamento dos diferentes tipos de isolantes (2 cm de espessura).

Tabela III.10 - Classificação das paredes

Grupo	Tipo de parede	DT _e med (°C)	Hr Min (h)	Hr Max (h)	DT _e Min (°C)	DT _e Max (°C)
1	Bl. de granito (30 a 50 cm) c/ is. ext.	5,1	14	1	4,6	6,4
2	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 (30 a 50 cm) c/ is. int.	4,9	13	24	3,9	7,1
	Bl. de granito (30 a 50 cm) s/ is.	5,3	12	22	3,3	8,4
3	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
	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
4	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
	Dup. tij. fur. (15+7 cm) c/ is.	6,3	10	19	-0,6	12,7
	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
	Dup. tij. fur. (15+7 cm) s/ is.	7,2	10	19	-1,4	13,7
5	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
6	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
7	Bet. nor. (15 a 20 cm) s/ is.	9,7	8	17	-1,7	14,6

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

No caso das paredes simples, o material isolante pode ser colocado pelo exterior ou pelo interior. No caso das paredes duplas, o isolante pode ser colocado entre os dois panos de alvenaria colmatando a totalidade do espaço existente entre eles ou, em alternativa, colado à face exterior do pano interior de modo a evitar a formação de condensações no Inverno com a consequente diminuição drástica da resistência térmica do material isolante, para além de outras consequências, tais como a criação de condições favoráveis ao desenvolvimento de fungos e bolores.

Em relação à espessura do isolante térmico foram estudadas 3 espessuras: 2, 4 e 6 cm de modo a cobrir a gama de dimensões mais frequentemente utilizada. Como é óbvio, para cada material e em termos de valores absolutos do fluxo de calor, a amplitude do fluxo de calor transmitido é menor quanto maior for a espessura do isolamento. No entanto, quando os resultados são analisados em termos de DT_e , as diferenças tornam-se relativamente pequenas, sendo praticamente indiferente considerar que o isolante possui 2, 4 ou 6 cm de espessura. Na Figura III.18 estão representados os valores instantâneos do fluxo de calor que atravessa uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado de 11+11 cm isolada alternadamente com poliestireno expandido moldado em placas de espessura de 2, 4 e 6 cm aplicadas na caixa de ar, podendo-se verificar que, em termos de DT_e , as diferenças de comportamento deste tipo de parede com a aplicação de 2, 4 ou 6 cm de espessura de isolante são relativamente pequenas quando comparadas com o comportamento da mesma parede sem isolamento.

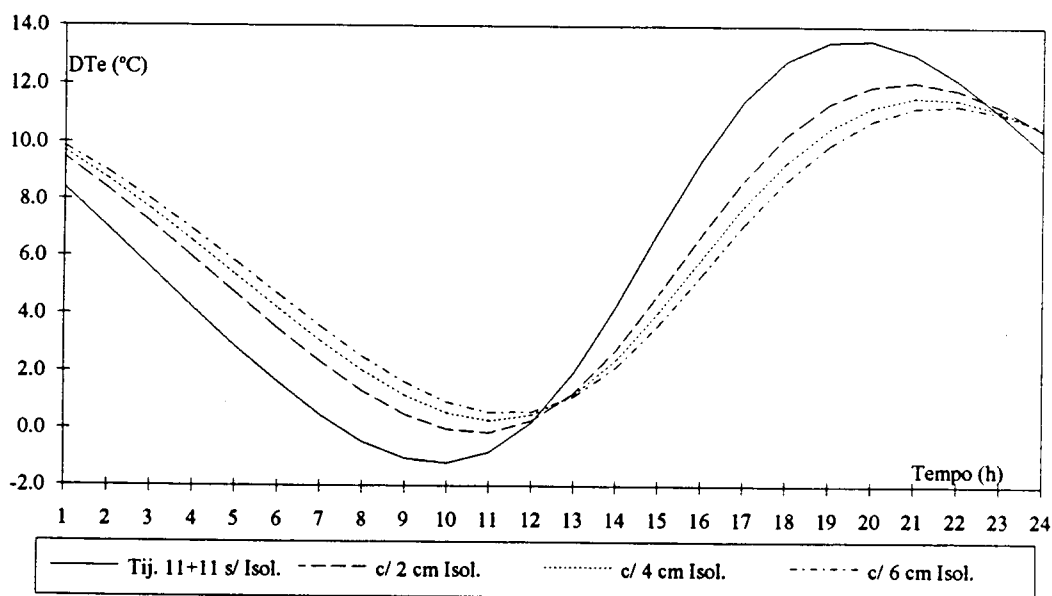


Figura III.18 - Parede com diferentes espessuras de isolante.

Em relação aos outros tipos de paredes, bem como em relação aos outros materiais isolantes, passa-se exactamente o mesmo. Assim, com o objectivo de reduzir o número de tipos de elementos opacos tabelados e desta forma tornar praticável a sua consulta, quando neste texto doravante se refere que um elemento está isolado significa que ele possui aplicado um dos materiais isolantes atrás referido com uma espessura mínima de 2 cm e máxima de 6 cm podendo existir ou não câmara de ar em simultâneo. Esta gama de espessuras de isolante térmico é suficiente para isolar as

tipologias construtivas portuguesas do clima português. No entanto se for necessário aplicar uma espessura de isolante superior a 6 cm deve ser feito o cálculo do ganho instantâneo de calor conduzido através desse elemento.

III.3.3.2. - Discussão de Resultados e Análise de Erros

Nas Figuras III.19 a III.25, adiante apresentadas, estão representados graficamente os valores horários de DT_e de todas as paredes estudadas que foram classificadas em cada um dos grupos, quando orientadas a Sul. Como se pode observar, as diferenças de comportamento entre as diversas paredes que constituem cada grupo são relativamente pequenas. Apresenta-se na Tabela III.8 um resumo do erro relativo máximo associado ao valor de DT_e médio das 10 às 22 horas para cada grupo.

Tabela III.11 - Erros Máximos

	%	°C
Grupo 1	8 %	0,40
Grupo 2	7 %	0,35
Grupo 3	3 %	0,16
Grupo 4	11 %	0,70
Grupo 5	4 %	0,30
Grupo 6	4 %	0,35
Grupo 7	0 %	0,0

Este erro relativo máximo foi definido, para cada grupo, como sendo o valor máximo dos erros relativos do valor de DT_e médio das 10 às 22 horas do grupo em relação ao valor de DT_e médio das 10 às 22 horas de cada parede que constitui o grupo, ou seja:

$$\text{Erro Relativo Máximo} = \text{Máx} \left(\left| \frac{\overline{DT_{e \ 10-22 \ Gr}} - \overline{DT_{e \ 10-22 \ i}}}{\overline{DT_{e \ 10-22 \ i}}} \right| \right) \times 100\%$$

Uma análise mais detalhada do erro associado a cada grupo não deverá ser realizada através do cálculo horário do erro relativo em virtude de algumas paredes, em determinados instantes, possuírem um valor de DT_e que se aproxima de zero, o que implica que o erro relativo, nesses instantes, tende para infinito, criando a ideia de que se está a cometer um erro importante. Matematicamente, este tipo de análise está correcto. No entanto, em termos físicos ou de projecto de engenharia, carece de significado pois o erro absoluto em qualquer um destes casos é sempre muito reduzido (menor do que 1° C), como se pode ver também na Tabela III.11.

Face ao exposto, para proceder à análise mais detalhada do erro associado a cada grupo, foram determinados os erros absolutos instantâneos de cada grupo, sendo para isso utilizados os valores horários de DT_e de cada grupo ($DT_{e \ Gr}(t)$) e os respectivos valores absolutos médios da diferença em relação aos valores horários de DT_e de cada elemento do grupo ($DT_{e \ i}(t)$), ou seja:

$$\text{Erro Absoluto} = \text{Média} \left(\left| DT_{e\text{Gr}}(t) - DT_{e\text{i}}(t) \right| \right)$$

Por outro lado, atendendo a que, para o correcto dimensionamento dos sistemas de climatização, é forçoso que se proceda ao cálculo da carga térmica máxima, pode-se ter uma noção do erro mais aproximada da realidade se se calcular o erro relativo com base no valor que ocorre aquando da carga térmica máxima. A determinação "à priori" do instante em que ocorre a carga térmica máxima é praticamente impossível pela existência de diversas variáveis (ganhos solares, orientações, geometria dos espaços, composição da envolvente, ocupantes e equipamentos), pelo que se decidiu calcular o erro relativo com base nas seguintes variáveis:

- valor de ponta do elemento $\left(\overline{DT_{e\text{máx i}}} \right)$. Como este valor é quase sempre muito maior que zero, assegura-se que o erro relativo não tende para infinito;
- valor de DT_e médio das 15 às 18 horas de cada parede $\left(\overline{DT_{e\text{15-18 i}}} \right)$. Este é o intervalo de tempo mais provável para a ocorrência do valor máximo da carga térmica;
- valor DT_e médio das 10 às 22 horas de cada parede $\left(\overline{DT_{e\text{10-22 i}}} \right)$. Tal como referido, este é o intervalo de tempo durante o qual, na ausência de sistemas de climatização e em virtude de a temperatura exterior ser elevada e não se puder recorrer à ventilação natural, as cargas térmicas dão o maior contributo para a temperatura do ar no interior.

Assim os erros relativos referidos definem-se da forma seguinte:

$$\text{Erro Relativo ao Máximo} = \text{Média} \left(\left| \frac{DT_{e\text{Gr}}(t) - DT_{e\text{i}}(t)}{\overline{DT_{e\text{máx i}}}} \right| \right) \times 100\%$$

$$\text{Erro Relativo ao } \overline{DT_{e\text{15-18}}} = \text{Média} \left(\left| \frac{DT_{e\text{Gr}}(t) - DT_{e\text{i}}(t)}{\overline{DT_{e\text{15-18 i}}}} \right| \right) \times 100\%$$

$$\text{Erro Relativo ao } \overline{DT_{e\text{10-22}}} = \text{Média} \left(\left| \frac{DT_{e\text{Gr}}(t) - DT_{e\text{i}}(t)}{\overline{DT_{e\text{10-22 i}}}} \right| \right) \times 100\%$$

III.3.2.1. - Grupo 1

É de salientar que, devido ao facto de as paredes de granito terem um comportamento completamente distinto das outras paredes, se tornou necessário criar grupos próprios para estas paredes. Assim, no Grupo 1, apenas se incluem as paredes de granito (espessura de 30 a 50 cm) com isolante térmico colocado pelo exterior. Na Figura III.29 encontram-se representados os valores horários de DT_e do Grupo 1 para a orientação Sul, podendo-se verificar que estes valores são praticamente constantes ao longo das 24 horas, ao contrário do que acontece com os restantes grupos.

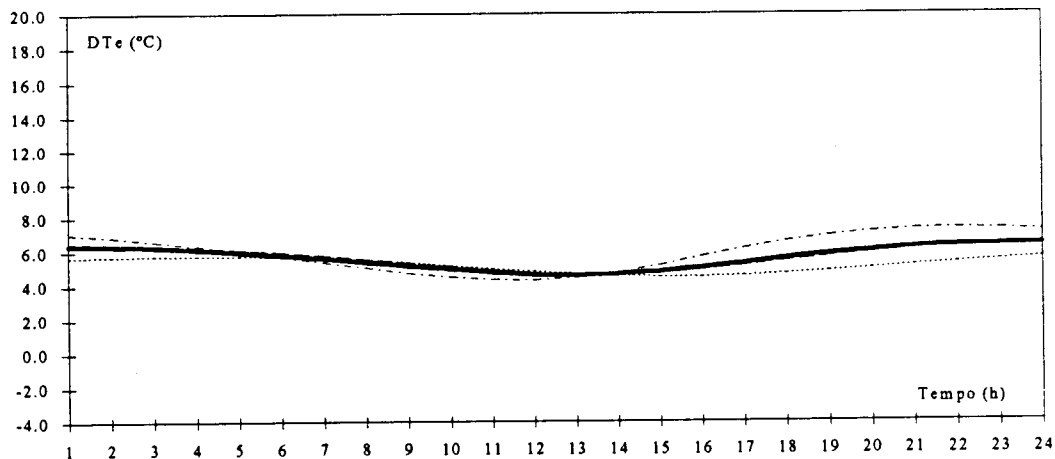


Figura III.29 - Grupo 1

O erro médio absoluto máximo ao longo das 24 horas é de $0,75^{\circ}\text{C}$ e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 14%.

Hora	DT_e ($^{\circ}\text{C}$)	Erro Absoluto	Erro Relativo (%)		
	Grupo 2	Médio ($^{\circ}\text{C}$)	Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	6,4	0,49	6		
2	6,3	0,41	5		
3	6,2	0,32	4		
4	6,1	0,24	3		
5	6,0	0,15	2		
6	5,8	0,12	1		
7	5,6	0,14	2		
8	5,4	0,21	2		
9	5,2	0,27	3		
10	4,9	0,28	3		6
11	4,8	0,26	3		5
12	4,6	0,20	2		4
13	4,6	0,08	1		2
14	4,7	0,07	1		1
15	4,8	0,25	3	5	5
16	5,0	0,43	5	9	8
17	5,3	0,58	7	12	11
18	5,6	0,68	8	14	13
19	5,8	0,74	9		14
20	6,0	0,75	9		15
21	6,2	0,73	8		14
22	6,3	0,68	8		13
23	6,4	0,62	7		
24	6,4	0,56	6		

III.3.3.2.2. - Grupo 2

No Grupo 2 além de estarem incluídas as paredes de granito (de 30 a 50 cm de espessura) com isolamento interior ou sem isolamento, estão também incluídas as paredes duplas de tijolo com isolante em que um dos panos é maciço ou perfurado e o outro é furado. O atraso da propagação da onda de calor das diversas paredes deste grupo não é o mesmo. No entanto como as diferenças são pequenas (+/- 1h) e como o amortecimento é semelhante, este grupo acaba por ter erros pequenos.

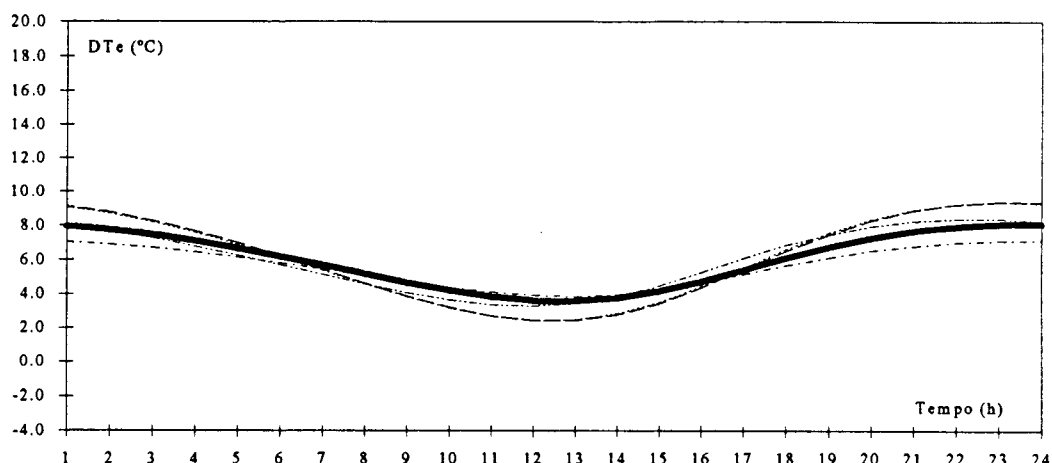


Figura III.20 - Grupo 2

O erro médio absoluto máximo ao longo das 24 horas é de 0,83°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 9%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
	Grupo 2		Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	8,3	0,80	9		
2	8,0	0,73	9		
3	7,6	0,63	7		
4	7,1	0,51	6		
5	6,6	0,37	4		
6	6,0	0,22	3		
7	5,3	0,11	1		
8	4,7	0,18	2		
9	4,1	0,29	3		
10	3,6	0,40	5		8
11	3,2	0,51	6		10
12	3,0	0,58	7		12
13	3,1	0,60	7		12
14	3,4	0,55	6		11
15	3,9	0,44	5	9	9
16	4,7	0,29	3	6	6
17	5,5	0,27	3	5	5
18	6,4	0,37	4	7	7
19	7,1	0,51	6		10
20	7,7	0,62	7		13
21	8,2	0,70	8		14
22	8,5	0,77	9		16
23	8,5	0,82	10		
24	8,5	0,83	10		

III.3.3.2.3. - Grupo 3

O Grupo 3 é o mais representativo das correntes paredes duplas de tijolo com isolamento, embora estejam nele incluídas duas paredes duplas pesadas mas sem isolamento, conforme se pode verificar na Tabela III.7.

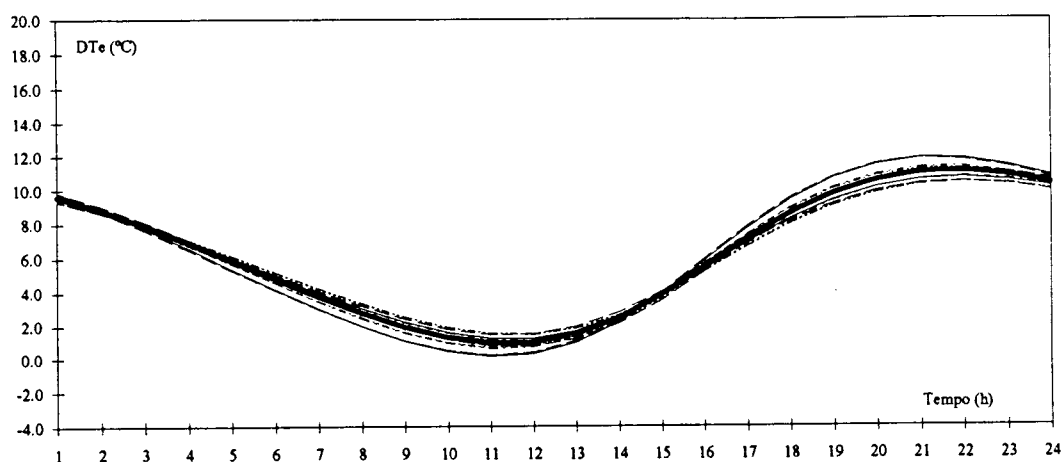


Figura III.21 - Grupo 3

O erro médio absoluto máximo ao longo das 24 horas é de 0,50°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 7%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto	Erro Relativo (%)		
	Grupo 3	Médio (°C)	Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	9,6	0,17	2		
2	8,8	0,09	1		
3	7,9	0,10	1		
4	6,9	0,17	2		
5	5,8	0,24	2		
6	4,8	0,31	3		
7	3,7	0,36	3		
8	2,7	0,40	4		
9	1,9	0,43	4		
10	1,2	0,44	4		8
11	0,9	0,42	4		8
12	0,9	0,38	3		7
13	1,4	0,29	3		6
14	2,4	0,17	2		3
15	3,8	0,12	1	2	2
16	5,4	0,22	2	4	4
17	7,1	0,35	3	6	7
18	8,5	0,43	4	7	8
19	9,7	0,48	4		9
20	10,5	0,50	5		10
21	10,9	0,49	4		9
22	11,0	0,44	4		8
23	10,7	0,36	3		
24	10,3	0,27	2		

III.3.3.2.4. - Grupo 4

O Grupo 4 é o mais representativo das paredes duplas correntes de tijolo furado sem isolamento (apenas com uma única exceção) e das paredes correntes de tijolo simples, duplex, blocos de betão leve e normal, todas estas com isolamento.

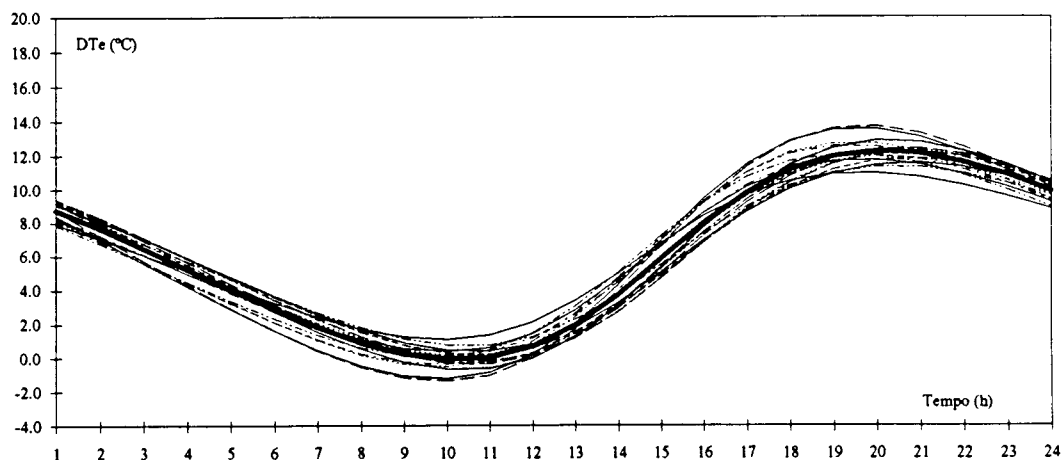


Figura III.22 - Grupo 4

O erro médio absoluto máximo ao longo das 24 horas é de 0,83°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 10%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
	Grupo 4		Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	8,8	0,47	4		
2	7,6	0,49	4		
3	6,4	0,49	4		
4	5,2	0,49	4		
5	4,0	0,51	4		
6	2,9	0,52	4		
7	1,8	0,53	4		
8	0,9	0,51	4		
9	0,2	0,49	4		
10	-0,1	0,46	4		7
11	0,0	0,45	4		7
12	0,7	0,48	4		7
13	1,9	0,56	5		9
14	3,7	0,70	6		11
15	5,8	0,82	7	9	13
16	7,9	0,83	7	10	13
17	9,7	0,76	6	9	12
18	11,1	0,69	6	8	11
19	11,9	0,59	5		9
20	12,2	0,53	4		8
21	12,0	0,50	4		8
22	11,5	0,49	4		8
23	10,8	0,48	4		
24	9,8	0,47	4		

III.3.2.5. - Grupo 5

O Grupo 5 é o representativo das paredes de betão armado normal com isolamento, usadas na construção civil como paredes resistentes em caixas de escadas ou de elevador e na construção túnel.

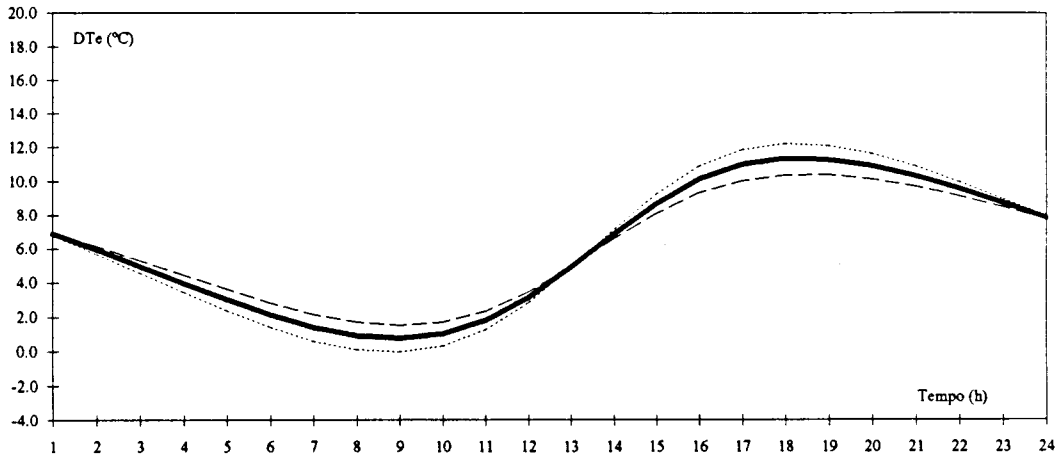


Figura III.23 - Grupo 5

O erro médio absoluto máximo ao longo das 24 horas é de 0,91°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 9%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
	Grupo 5		Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	6,9	0,09	1		
2	5,9	0,24	2		
3	4,9	0,38	3		
4	3,9	0,50	4		
5	3,0	0,62	5		
6	2,1	0,71	6		
7	1,4	0,77	7		
8	0,9	0,80	7		
9	0,7	0,77	7		
10	1,0	0,69	6		9
11	1,8	0,54	5		7
12	3,1	0,32	3		4
13	4,9	0,02	0		0
14	6,9	0,29	3		4
15	8,7	0,57	5	6	8
16	10,1	0,79	7	8	10
17	10,9	0,90	8	9	12
18	11,3	0,91	8	9	12
19	11,2	0,85	7		11
20	10,9	0,73	6		10
21	10,3	0,58	5		8
22	9,5	0,42	4		5
23	8,7	0,25	2		
24	7,8	0,08	1		

III.3.2.6. - Grupo 6

O Grupo 6 é o mais representativo das paredes correntes de tijolo simples, duplex, blocos de betão leve e normal, todas elas sem isolamento, conforme se pode verificar na Tabela III.7.

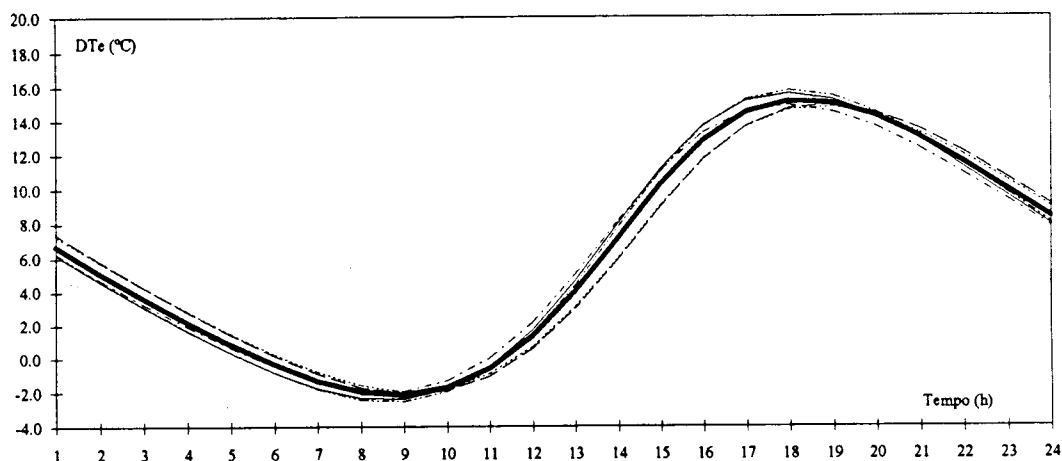


Figura III.24 - Grupo 6

O erro médio absoluto máximo ao longo das 24 horas é de 0,99°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 8%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto	Erro Relativo (%)		
	Grupo 6	Médio (°C)	Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	6,7	0,53	4		
2	5,1	0,54	4		
3	3,6	0,53	3		
4	2,2	0,51	3		
5	0,8	0,48	3		
6	-0,3	0,44	3		
7	-1,3	0,38	3		
8	-2,0	0,31	2		
9	-2,2	0,22	1		
10	-1,7	0,17	1		2
11	-0,6	0,31	2		4
12	1,3	0,54	4		6
13	4,0	0,79	5		9
14	7,1	0,96	6		11
15	10,2	0,99	7	8	11
16	12,8	0,88	6	7	10
17	14,4	0,64	4	5	7
18	15,1	0,46	3	4	5
19	14,9	0,29	2		3
20	14,1	0,24	2		3
21	12,9	0,32	2		4
22	11,5	0,41	3		5
23	9,9	0,48	3		
24	8,3	0,51	3		

III.3.3.2.7. - Grupo 7

Ao contrário do que acontece com as paredes de granito com isolante pelo exterior em que o grupo que as representa (Grupo 1) inclui uma gama de espessuras desde os 30 aos 50 cm, nas paredes correntes de betão armado, como a espessura é pequena (15 cm) e não há isolante térmico, as diferenças de comportamento para espessuras de 10 ou 20 cm são bastante acentuadas embora só haja uma diferença de 5 cm na espessura, conforme se pode verificar na Figura III.25. Por esta razão no Grupo 7 apenas estão incluídas as paredes de betão normal com uma espessura próxima de 15 cm e sem isolamento, pelo que este grupo não introduz qualquer erro em relação às paredes que representa, daí não se apresentar a respectiva tabela de erros. Apresenta-se na Tabela III.12 uma lista dos valores de DT_e (°C) para paredes de betão normal expressa em função de espessura, de modo a ser possível calcular a carga térmica correspondente.

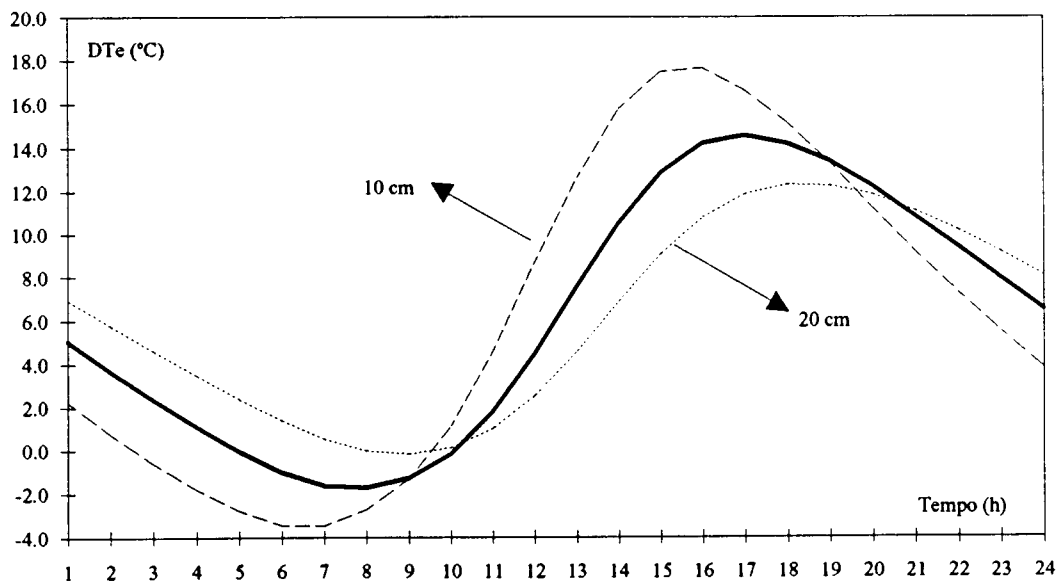


Figura III.25 - Grupo 7

Tabela III.12 - Valores de DT_e (°C) para paredes de betão normal de 10, 15 e 20 cm de espessura

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Bet. 10 cm	2.2	0.7	-0.6	-1.8	-2.8	-3.4	-3.5	-2.7	-1.3	1.1	4.6	8.7	12.7	15.8	17.5	17.6	16.6	15.1	13.3	11.2	9.2	7.3	5.5	3.8
Bet. 15 cm	5.1	3.7	2.3	1.1	-0.1	-1.0	-1.6	-1.7	-1.3	-0.2	1.8	4.5	7.6	10.5	12.9	14.2	14.6	14.2	13.4	12.2	10.8	9.4	7.9	6.5
Bet. 20 cm	6.9	5.8	4.6	3.5	2.4	1.4	0.5	0.0	-0.2	0.1	1.0	2.5	4.6	6.9	9.1	10.8	11.9	12.3	12.3	11.8	11.1	10.2	9.2	8.1

III.3.3.3. - Classificação de Paredes - Conclusão

Conforme foi mostrado anteriormente (ver Figura III.16), os 7 grupos propostos não se sobrepoêm, não existindo portanto um excesso de grupos que seja necessário reduzir. Por outro lado cada grupo é homogéneo e representa com rigor suficiente as paredes que o constituem, conforme se pode concluir pela análise dos erros. Com este agrupamento dos diversos tipos de paredes em 7 grupos, os projectistas de ar-

-condicionado já poderão dispôr de valores adequados ao cálculo de cargas térmicas na maior parte dos casos. Deste modo será possível o cálculo de cargas térmicas para:

- paredes de granito de espessura de 30 a 50 cm com isolamento pelo exterior (Grupo 1);
- paredes de granito de espessura de 30 a 50 cm com isolamento pelo interior ou sem isolamento (Grupo 2);
- paredes duplas de tijolo furado, perfurado e/ou maciço, com isolamento na caixa de ar, preenchendo-a ou não completamente (Grupo 3);
- paredes duplas de tijolo furado, perfurado e/ou maciço sem isolamento e paredes correntes de tijolo simples, duplex, blocos de betão leve e normal, todas estas com isolamento (Grupo 4);
- paredes de betão normal com isolamento pelo exterior ou pelo interior (Grupo 5);
- paredes simples de tijolo furado, duplex, blocos de betão leve e normal, todas elas sem isolamento (Grupo 6);
- paredes de betão normal sem isolamento com 15 cm de espessura (Grupo 7), com valores adequados para espessuras de 10 a 20 cm na Tabela III.12;

A individualização das paredes de granito em grupos próprios permite que os projectistas de ar-condicionado possam vir a dispôr de valores adequados ao cálculo de cargas térmicas em projectos de recuperação de monumentos e/ou edifícios de construção tradicional.

A grande variedade de paredes duplas utilizadas na construção civil encontram-se distribuídas por quatro grupos (Grupos 2, 3, 4 e 6 - ver Tabela III.7), ao contrário do que até agora tem acontecido pois, normalmente são classificadas unicamente como paredes médias.

As paredes simples encontram-se distribuídas por seis grupos. No entanto, excluindo-se as paredes de granito e as paredes de betão normal, as quais por terem um comportamento completamente distinto das restantes têm também um tratamento individualizado, as restantes paredes de alvenaria de tijolo, ou de blocos de betão distribuem-se por dois grupos (Grupos 4 e 6).

À semelhança do que acontece com as paredes de granito, as paredes de betão normal possuem um comportamento completamente distinto e foram classificadas em grupos próprios. Esta classificação permite o cálculo das cargas térmicas de arrefecimento de projectos ou construções onde existam estas paredes, como é frequente acontecer na construção túnel e nas caixas de escadas ou de elevadores exteriores. As paredes de betão armado são em regra pouco espessas por questões de economia. Por esta razão possuem um mau comportamento térmico, o qual até agora não era contabilizado, em virtude destas paredes normalmente serem classificadas como paredes pesadas. Com a classificação agora proposta estas paredes passam a ter valores tabelados de acordo com o seu comportamento real.

No Anexo E encontram-se tabeladas as propriedades dos materiais usadas na dedução dos Factores de Resposta. No Anexo F encontram-se tabeladas os valores dos Factores de Resposta correspondentes aos sete grupos atrás descritos que permitem determinar, através da expressão II.50, o fluxo de calor na superfície interior (e exterior) sob quaisquer condições de temperatura interior e exterior.

III.3.4. - Coberturas

III.3.4.1. - Tipos de Coberturas

O RCCTE classifica as coberturas em função do tipo e da cor do revestimento. Tal como no caso das paredes, a classificação pode ser substancialmente melhorada no respeitante ao tipo de coberturas.

Em relação à cor do revestimento foram estudadas tanto as coberturas de cor clara como as de cor escura. No entanto, como o objectivo principal deste Capítulo é apenas o de estabelecer uma tipologia de comportamento dos elementos da envolvente opaca, para evitar repetições desnecessárias, só se apresentam aqui os resultados relativos às coberturas de cor escura localizadas em zonas climáticas classificadas pelo RCCTE com o tipo V2 e delimitando espaços interiores a 25 °C, uma vez que os resultados obtidos para as de cor clara apontam no mesmo sentido, conforme se pode verificar na Figura III.26, onde estão representados, a título de exemplo, os valores de DT_e de uma cobertura em terraço de cor escura e os valores de DT_e do mesmo tipo de cobertura mas no caso de o revestimento ser de cor clara.

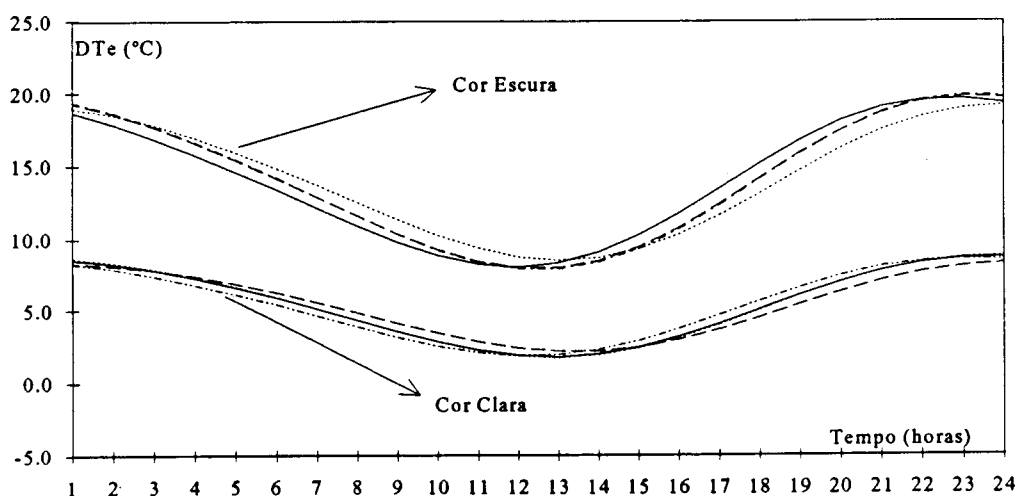


Figura III.26 - Comportamento de um grupo de coberturas de cor escura e clara.

Para outras condições climáticas exteriores ou interiores, para os diversos tipos e espessuras de materiais isolantes estudados, os resultados obtidos conduzem exactamente às mesmas classificações, conforme já se mostrou aquando do estudo das paredes (Figuras III.15, III.17 e III.18).

Em relação à solicitação térmica a que as coberturas estão sujeitas há que considerar três situações típicas:

- coberturas em terraço, cuja solicitação térmica a considerar é a temperatura exterior e a radiação correspondente à orientação horizontal;
- coberturas em desvão ventilado ou não, cuja solicitação térmica a considerar é a temperatura do ar no interior do desvão, já determinada em III.2.8.;
- coberturas inclinadas, cuja solicitação térmica a considerar é a temperatura exterior e a radiação correspondente à inclinação e orientação da ou das vertentes, consoante sejam coberturas de 2 (ou mais) águas ou de 1 água.

Atendendo à diversidade das possíveis orientações das coberturas inclinadas, foi considerado, neste estudo, que estas coberturas possuem uma orientação média, ou seja, a orientação horizontal. Esta simplificação não introduz praticamente erros na avaliação da totalidade do calor que atravessa as coberturas de duas ou de quatro águas, uma vez que, nestes casos, as vertentes estão posicionadas simetricamente em relação à vertical, e portanto, a radiação que uma das vertentes recebe a mais em relação à horizontal é compensada pela radiação que a vertente oposta recebe a menos.

No caso das coberturas inclinadas de uma água, o facto de se considerar que a orientação da cobertura é horizontal também não introduz um erro significativo uma vez que, conforme referido no estudo de sensibilidade efectuado (ver III.2.8.), o desvio padrão do erro cometido na avaliação da radiação solar com esta aproximação é bastante reduzido (inferior a 9 % na situação mais desfavorável que é o caso das coberturas inclinadas a 25°) especialmente nas horas em que a incidência solar é mais forte, uma vez que, em Portugal a inclinação das coberturas comuns é relativamente reduzida (varia entre 15° e 25°). Na Figura III.27 apresenta-se o fluxo de calor, expresso em termos de DT_e , que atravessa uma cobertura inclinada a 25° para várias orientações. Conforme se pode verificar o erro introduzido pelo facto de se considerar a orientação da cobertura horizontal é muito reduzido.

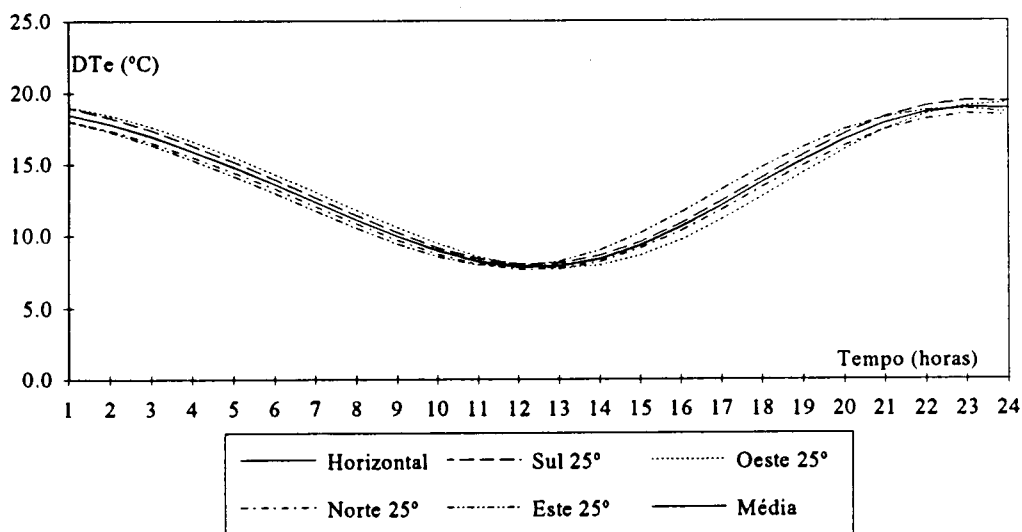


Figura III.27 - Comportamento de uma cobertura inclinada em função da orientação.

Apesar de ter sido estudado um número menor de coberturas do que de paredes, os comportamentos das coberturas apresentam menos homogeneidade do que os relativos às paredes. Assim, de modo a minimizar o erro cometido no agrupamento das coberturas, e com base no critério atrás definido, propõe-se a sua classificação em três grandes grupos:

- Grupo 1 - Coberturas em Terraço;
- Grupo 2 - Coberturas Inclinadas ou Terraços sem Camada de Forma;
- Grupo 3 - Coberturas em Desvão;

Cada um destes grupos é constituído por vários sub-grupos consoante as coberturas possuem ou não tecto falso e/ou isolante térmico. Nas Tabelas III.13 a III.15 encontra-se a descrição dos tipos de coberturas que pertencem a cada grupo e os respectivos sub-grupos. A seguir a cada tabela descrevendo um determinado grupo, encontra-se uma figura (Figuras III.29 a III.31) representando graficamente o comportamento térmico típico de cada sub-grupo. Este é obtido pela média dos valores relativos às coberturas que constituem cada sub-grupo. De forma a mostrar a homogeneidade de cada sub-grupo apresentam-se nas referidas tabelas os valores de DT_e médio das 10 às 22 horas, de DT_e máximo e mínimo e os respectivos tempos de ocorrência.

Em relação às coberturas em desvão são apenas apresentados resultados para as coberturas em Desvão Não Ventilado. Os valores de DT_e foram obtidos admitindo-se para a temperatura do ar do sótão os valores que constam das Tabelas III.8 e III.9, consoante exista ou não isolante sobre a esteira. Os valores de DT_e para ventilações do desvão de 9 ou 28 rph conduzem às mesmas conclusões em termos do agrupamento de tipos de coberturas, conforme se pode verificar pela observação da Figura III.28, onde estão representados os valores instantâneos de DT_e para coberturas em desvão com ventilações de 0, 9 e 28 rph.

A classificação proposta inclui alguns tipos de coberturas que não são muito comuns na construção civil tradicional, como por exemplo as coberturas leves executadas em chapa metálica ou fibrocimento, as coberturas inclinadas com estrutura descontínua e as coberturas em desvão com esteira leve. No entanto, a utilização dessas coberturas não correntes é uma solução económica, sob o ponto de vista construtivo, e portanto, utilizada nos edifícios com grandes áreas cobertas. Normalmente estes edifícios são destinados à instalação de indústrias ou ao comércio e possuem só um piso. Para muitas das actividades que se desenvolvem neste tipo de edifícios é fundamental haver um controlo rigoroso da temperatura ambiental, recorrendo-se na maior parte dos casos a sistemas de climatização que também necessitam de ser dimensionados correctamente. Como as cargas térmicas provenientes destas coberturas não correntes têm valores elevados, a sua contribuição para a carga térmica total do edifício pode ter um peso substancial. Por outro lado, nos edifícios de um só piso ou no último piso dos edifícios de vários andares, a carga térmica proveniente da cobertura representa a quase totalidade das cargas térmicas existentes, sendo este facto ainda mais evidente nos edifícios de grande superfície coberta. Tendo em conta as razões apontadas optou-se por apresentar também os resultados relativos às referidas coberturas não correntes.

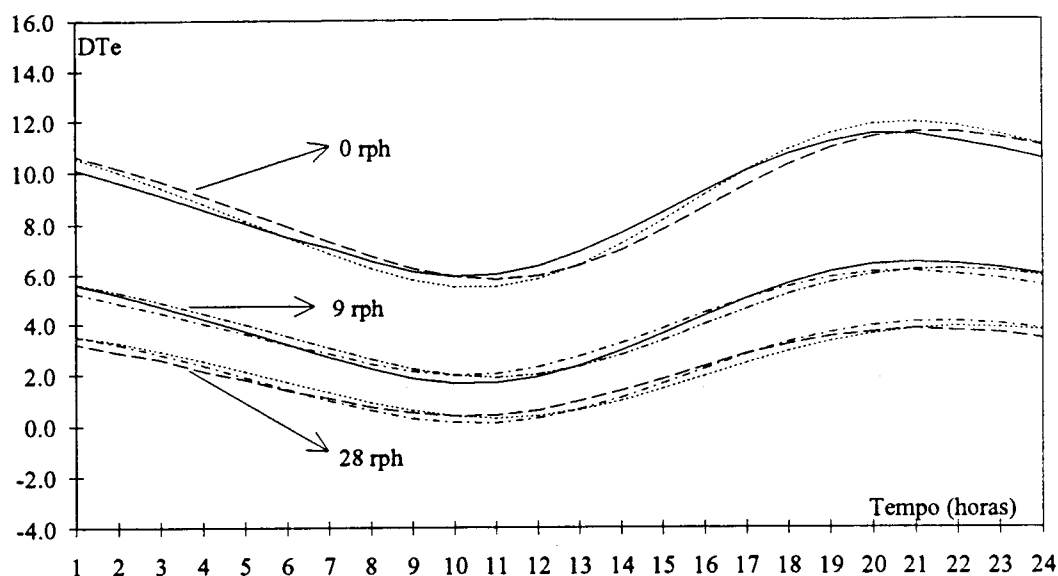


Figura III.28 - Comportamento de uma cobertura em desvão em função da ventilação.

Todas as coberturas não correntes como as coberturas em desvão com esteira leve, as coberturas inclinadas com estrutura descontínua e as coberturas em chapa apresentam um comportamento térmico completamente distinto tanto entre si como das coberturas correntes, o que seria suficiente para que constituíssem grupos independentes.

Estes tipos de coberturas foram então classificadas do seguinte modo:

- as coberturas leves em chapa metálica ou de fibrocimento foram incluídas no grupo das coberturas em terraço, embora pudessem ter sido também incluídas no grupo das coberturas inclinadas com estrutura descontínua, uma vez que, na prática, estas coberturas podem ser executadas em terraço ou inclinadas. Para evitar repetições, foi decidido referenciá-las apenas uma única vez e incluí-las no grupo dos terraços;
- as coberturas em desvão com esteira leve foram incluídas no grupo das coberturas em desvão uma vez que é a existência do desvão que define a solicitação térmica a que esta cobertura está submetida;
- as coberturas inclinadas com estrutura descontínua foram incluídas no grupo das coberturas inclinadas por apenas se distinguirem construtivamente dos restantes elementos constituintes deste grupo pelo facto de não possuírem um elemento estrutural de suporte das cargas contínuo.

Tabela III.13 - Coberturas em Terraço

Cobertura em Terraço

Estrutura Corrente com Camada de Forma	DT _e med (°C)	Hr Min (h)	Hr Max (h)	DT _e Min (°C)	DT _e Max (°C)
Sem Tecto Falso					
Com Isolante Térmico					
Blocos cerâmicos (2 ou 3 furos)	11,5	13	24	8,5	19,1
Blocos cerâmicos (1 furo)	11,7	13	23	8,0	19,8
Blocos de betão	11,7	13	23	7,9	19,8
Laje maciça	12,0	12	23	8,0	19,6
Sem Isolante Térmico					
Blocos cerâmicos (2 ou 3 furos)	12,2	12	23	6,9	20,8
Blocos cerâmicos (1 furo)	12,4	11	22	6,1	21,8
Blocos de betão	12,5	11	22	6,2	21,6
Laje maciça	13,2	9	21	6,6	21,2
Com Tecto Falso					
Com Isolante Térmico					
Blocos cerâmicos (2 ou 3 furos)	11,5	14	1	9,8	16,7
Blocos cerâmicos (1 furo)	11,7	13	24	9,5	16,5
Blocos de betão	11,7	13	24	9,6	17,2
Laje maciça	11,7	13	24	9,6	17,4
Sem Isolante Térmico					
Blocos cerâmicos (2 ou 3 furos)	12,0	13	23	8,9	18,6
Blocos cerâmicos (1 furo)	12,2	12	23	8,5	19,1
Blocos de betão	12,2	12	23	8,4	19,2
Laje maciça	12,7	12	22	9,0	18,5
Chapa Metálica ou Fibrocimento					
Sem Tecto Falso					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira	30,2	6	16	-8,0	43,9
Com Tecto Falso					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira	29,9	6	16	-7,9	43,5
Sem Isolante Térmico sobre a Esteira	30,5	6	15	-8,2	44,6
S/ Tecto Falso e S/ Isol. Térm. s/ a Esteira	31,1	5	14	-8,9	47,5

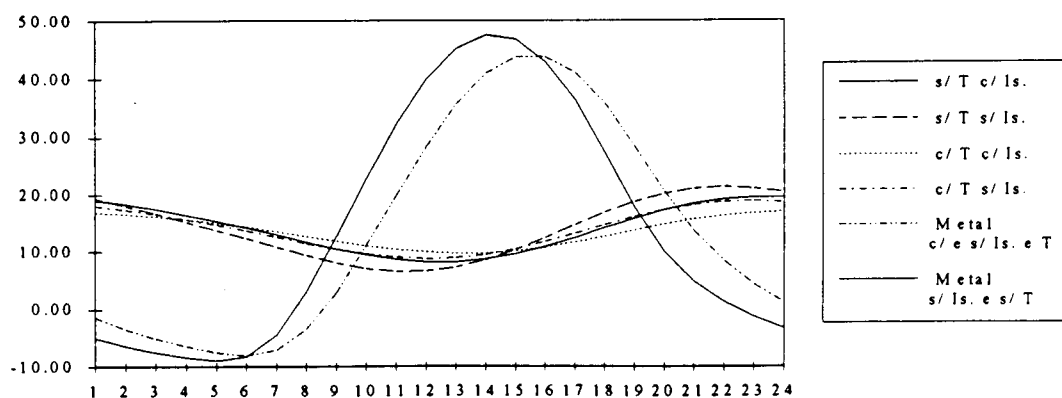


Figura III.29 - Coberturas em Terraço

Tabela III.14 - Coberturas Inclinadas ou Terraços sem Camada de Forma

Cobertura Inclinada ou
Terraço sem Camada de Forma

Estrutura Corrente	DT _e med (°C)	Hr Min (h)	Hr Max (h)	DT _e Min (°C)	DT _e Max (°C)
Sem Tecto Falso					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira					
Blocos cerâmicos	16,6	9	19	4,2	24,2
Blocos de betão	17,8	8	18	3,1	25,4
Laje maciça	17,9	8	18	4,1	24,3
Sem Isolante Térmico sobre a Esteira					
Blocos cerâmicos	19,4	8	18	0,3	28,9
Blocos de betão	20,9	7	17	0,4	28,9
Laje maciça	21,0	8	18	-0,8	30,5
Com Tecto Falso					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira					
Blocos cerâmicos	15,4	9	20	8,5	19,7
Blocos de betão	14,7	10	20	7,7	20,8
Laje maciça	16,0	9	19	5,2	22,4
Sem Isolante Térmico sobre a Esteira					
Blocos cerâmicos	18,4	8	18	3,0	25,7
Blocos de betão	16,9	9	19	3,5	25,3
Laje maciça	18,6	8	18	1,2	27,6
Estrutura Descontínua					
Sem Tecto Falso					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira	29,7	5	13	-9,5	51,5
Sem Isolante Térmico sobre a Esteira	30,4	5	13	-9,5	51,1
Com Tecto Falso					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira	31,9	5	14	-9,2	49,5
Sem Isolante Térmico sobre a Esteira	31,4	5	14	-9,3	50,2

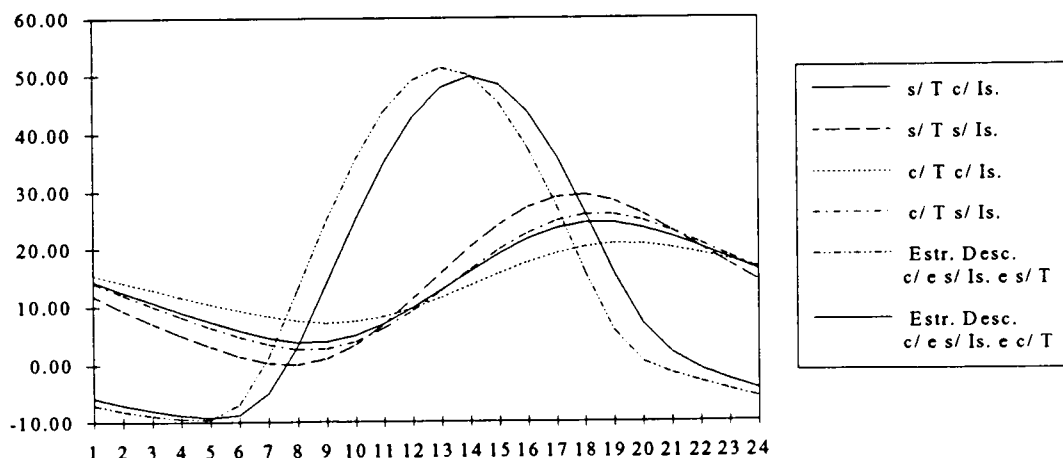


Figura III.30 - Coberturas Inclinadas ou Terraços sem Camada de Forma

Tabela III.15 - Coberturas em Desvão Não Ventilado

Cobertura em Desvão Não Ventilado

Laje de Esteira Corrente	DT _e med (°C)	Hr Min (h)	Hr Max (h)	DT _e Min (°C)	DT _e Max (°C)
Sem Tecto Falso					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira					
Blocos cerâmicos	10,7	9	19	5,6	13,9
Blocos de betão	10,1	10	20	5,6	13,9
Laje maciça	10,6	9	20	5,2	14,4
Sem Isolante Térmico sobre a Esteira					
Blocos cerâmicos	10,5	8	18	4,7	13,5
Blocos de betão	9,9	9	19	4,8	13,3
Laje maciça	10,4	9	19	4,4	13,8
Com Tecto Falso					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira					
Blocos cerâmicos	10,0	10	20	6,9	12,5
Blocos de betão	9,6	11	21	6,8	12,6
Laje maciça	9,9	10	20	6,5	13,0
Sem Isolante Térmico sobre a Esteira					
Blocos cerâmicos	9,9	9	19	5,3	12,8
Blocos de betão	9,3	9	19	5,4	12,6
Laje maciça	9,7	9	19	5,1	13,0
Esteira Leve					
Com Isolante Térmico sobre a Esteira					
Sem Tecto Falso	17,0	5	14	-0,4	24,9
Com Tecto Falso	17,2	5	14	-0,3	24,8
Sem Isolante Térmico sobre a Esteira					
Sem Tecto Falso	14,2	6	14	1,7	18,8
Com Tecto Falso	14,1	6	14	1,8	18,8

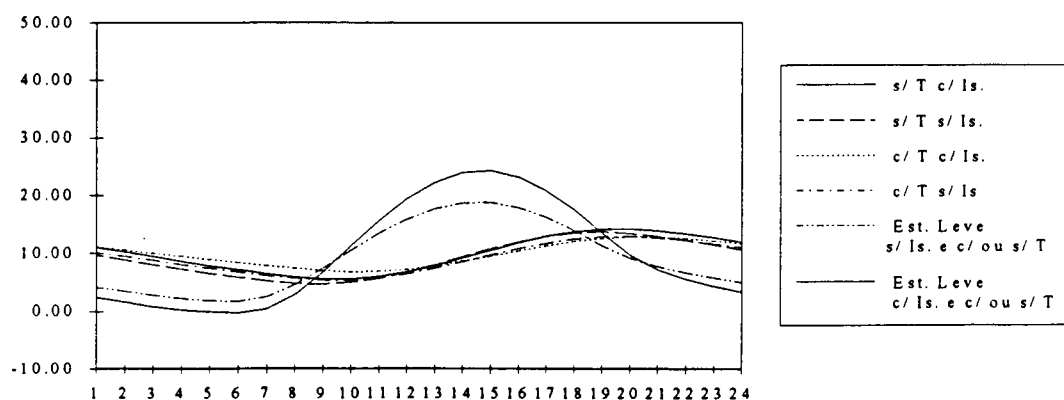


Figura III.31 - Coberturas em Desvão Não Ventilado

III.3.4.2. - Discussão de Resultados e Análise de Erros

Nas Figuras III.32 a III.49 estão representados graficamente os valores horários de DT_e das coberturas que constituem cada sub-grupo. Como se pode observar, as diferenças de comportamento entre as diversas coberturas que constituem cada sub-grupo são relativamente pequenas. A seguir a cada figura apresentam-se os erros cometidos no agrupamento das coberturas, definidos do mesmo modo que no caso das paredes, e que mostram como cada sub-grupo representa com precisão suficiente as coberturas que o integram.

Nas Tabelas III.12 a III.14 apresenta-se um resumo do erro médio absoluto máximo e do erro relativo no período das 15 às 18 horas em função da constituição de cada grupo e sub-grupo. Como se pode verificar, estes erros são em geral reduzidos, alcançando pontualmente o seu valor máximo que é de 8% para o erro relativo no período das 15 às 18 horas.

Tabela III.12 - Erros absolutos e relativos para as coberturas em terraço

Grupo 1	Cobertura em Terraço	Erro médio absoluto máximo (°C)	Erros relativos no período das 15 às 18 horas (%)
Sub-grupo 1	s/ Tecto Falso, c/ Isol.	0,53	5
Sub-grupo 2	s/ Tecto Falso, s/ Isol.	0,68	5
Sub-grupo 3	c/ Tecto Falso, c/ Isol.	0,29	3
Sub-grupo 4	c/ Tecto Falso, s/ Isol.	0,42	3
Sub-grupo 5	Metál. ou Fibro. c/ Tecto Falso e c/ ou s/ Isol. e as mesmas s/Tecto e c/ Isol.	1,67	2
Sub-grupo 6	Metál. ou Fibro. s/ Tecto Falso e s/ Isol.	2,06	5

Tabela III.13 - Erros absolutos e relativos para as coberturas inclinadas ou em terraço sem camada de forma

Grupo 2	Coberturas Inclinadas ou Terraços sem Camada de Forma	Erro médio absoluto máximo (°C)	Erros relativos no período das 15 às 18 horas (%)
Sub-grupo 1	s/ Tecto Falso, c/ Isol. Tér. sobre a esteira	1,10	5
Sub-grupo 2	s/ Tecto Falso, s/ Isol. Tér. sobre a esteira	1,38	5
Sub-grupo 3	c/ Tecto Falso, c/ Isol. Tér. sobre a esteira	1,46	8
Sub-grupo 4	c/ Tecto Falso, s/ Isol. Tér. sobre a esteira	1,47	6
Sub-grupo 5	Incl. Estrut. Desc. s/ Tecto Falso e c/ ou s/ Isol. Tér.	1,91	6
Sub-grupo 6	Incl. Estrut. Desc. c/ Tecto Falso e c/ ou s/ Isol. Tér.	2,32	7

Tabela III.14 - Erros absolutos e relativos para as coberturas em desvão

Grupo 3	Cobertura em Desvão	Erro médio absoluto máximo (°C)	Erros relativos no período das 15 às 18 horas (%)
Sub-grupo 1	s/ Tecto Falso, c/ Isol. Tér. sobre a esteira	0,46	4
Sub-grupo 2	s/ Tecto Falso, s/ Isol. Tér. sobre a esteira	0,74	5
Sub-grupo 3	c/ Tecto Falso, c/ Isol. Tér. sobre a esteira	0,26	2
Sub-grupo 4	c/ Tecto Falso, s/ Isol. Tér. sobre a esteira	0,64	5
Sub-grupo 5	c/ Isol. Tér. sobre a esteira leve e c/ ou s/ Tecto Falso	0,78	4
Sub-grupo 6	s/ Isol. Tér. sobre a esteira leve e c/ ou s/ Tecto Falso	0,38	2

III.3.4.2.1. - Grupo 1

III.3.4.2.1.1. - Sub-grupo 1

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Terraço sem Tecto Falso e com Isolante Térmico.

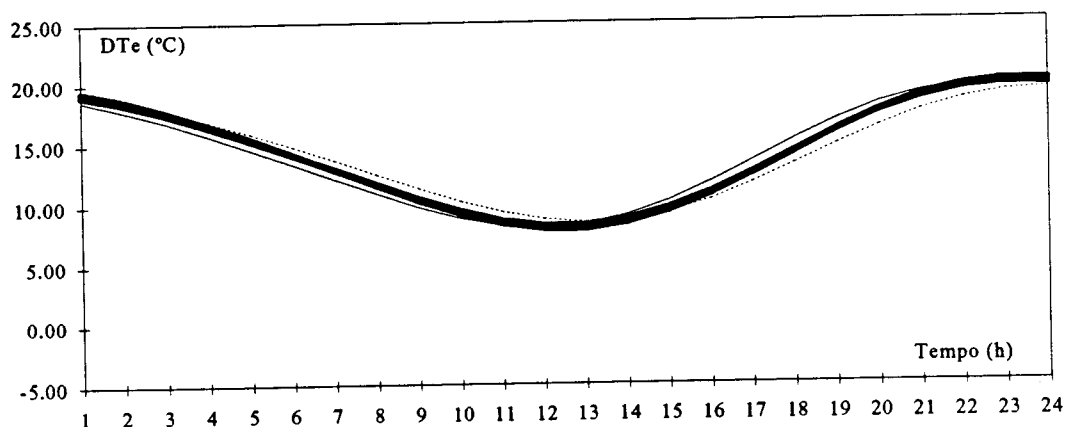


Figura III.32 - Coberturas em Terraço sem Tecto Falso com Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 0,53°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 5%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	19,04	0,26	1		
2	18,37	0,27	1		
3	17,49	0,32	2		
4	16,46	0,36	2		
5	15,32	0,38	2		
6	14,12	0,38	2		
7	12,88	0,40	2		
8	11,64	0,43	2		
9	10,44	0,44	2		
10	9,39	0,43	2		4
11	8,59	0,38	2		3
12	8,15	0,29	1		2
13	8,16	0,24	1		2
14	8,63	0,23	1		2
15	9,55	0,34	2	3	3
16	10,85	0,44	2	4	4
17	12,41	0,50	3	4	4
18	14,10	0,53	3	5	4
19	15,77	0,55	3		5
20	17,26	0,55	3		5
21	18,43	0,50	3		4
22	19,19	0,41	2		3
23	19,52	0,30	2		
24	19,45	0,28	1		

III.3.4.2.1.2. - Sub-grupo 2

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Terraço sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico.

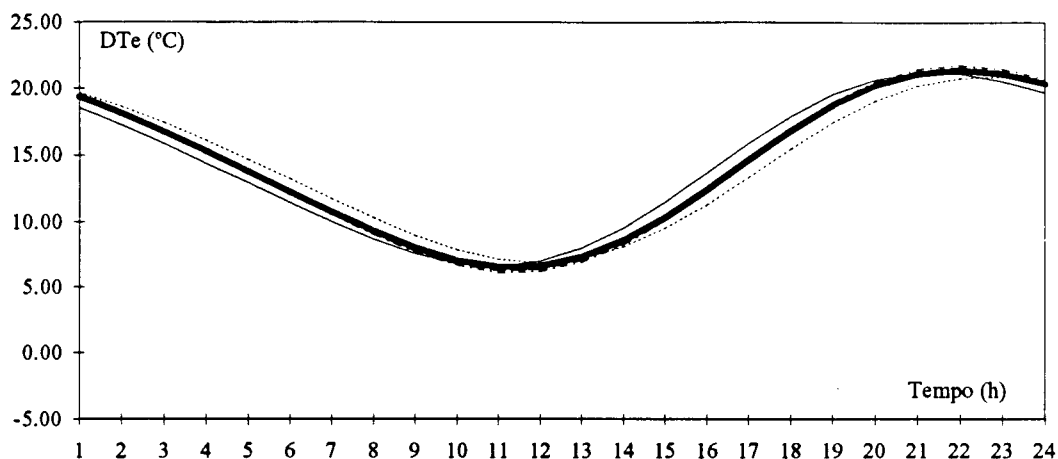


Figura III.33 - Coberturas em Terraço sem Tecto Falso sem Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 0,68°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 5%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	19,32	0,41	2		
2	18,09	0,44	2		
3	16,72	0,44	2		
4	15,25	0,44	2		
5	13,75	0,45	2		
6	12,23	0,49	2		
7	10,72	0,51	2		
8	9,28	0,51	2		
9	8,01	0,49	2		
10	7,04	0,42	2		3
11	6,53	0,34	2		3
12	6,61	0,35	2		3
13	7,30	0,36	2		3
14	8,58	0,50	2		4
15	10,33	0,59	3	4	4
16	12,42	0,63	3	5	5
17	14,65	0,64	3	5	5
18	16,81	0,68	3	5	5
19	18,71	0,65	3		5
20	20,16	0,57	3		4
21	21,04	0,43	2		3
22	21,31	0,37	2		3
23	21,04	0,36	2		
24	20,34	0,35	2		

III.3.4.2.1.3. - Sub-grupo 3

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Terraço com Tecto Falso e com Isolante Térmico.

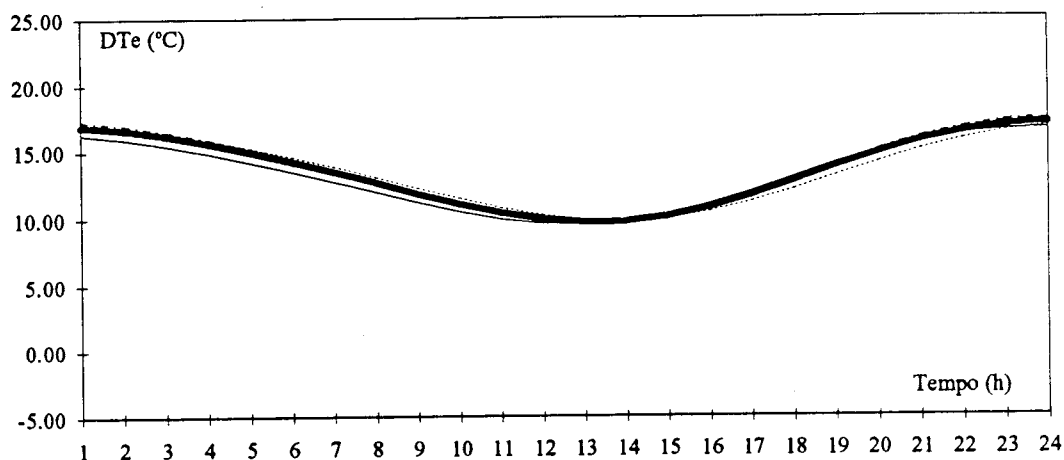


Figura III.34 - Coberturas em Terraço com Tecto Falso com Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 0,29°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 3%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	16,86	0,35	2		
2	16,60	0,33	2		
3	16,17	0,36	2		
4	15,61	0,37	2		
5	14,96	0,37	2		
6	14,23	0,36	2		
7	13,45	0,35	2		
8	12,63	0,33	2		
9	11,80	0,30	2		
10	11,02	0,26	2		2
11	10,35	0,22	1		2
12	9,87	0,18	1		1
13	9,65	0,11	1		1
14	9,71	0,05	0		0
15	10,09	0,09	1	1	1
16	10,74	0,15	1	1	1
17	11,62	0,22	1	2	2
18	12,64	0,29	2	3	2
19	13,73	0,32	2		3
20	14,76	0,33	2		3
21	15,66	0,31	2		3
22	16,34	0,33	2		3
23	16,76	0,35	2		
24	16,93	0,36	2		

III.3.4.2.1.4. - Sub-grupo 4

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Terraço com Tecto Falso e sem Isolante Térmico.

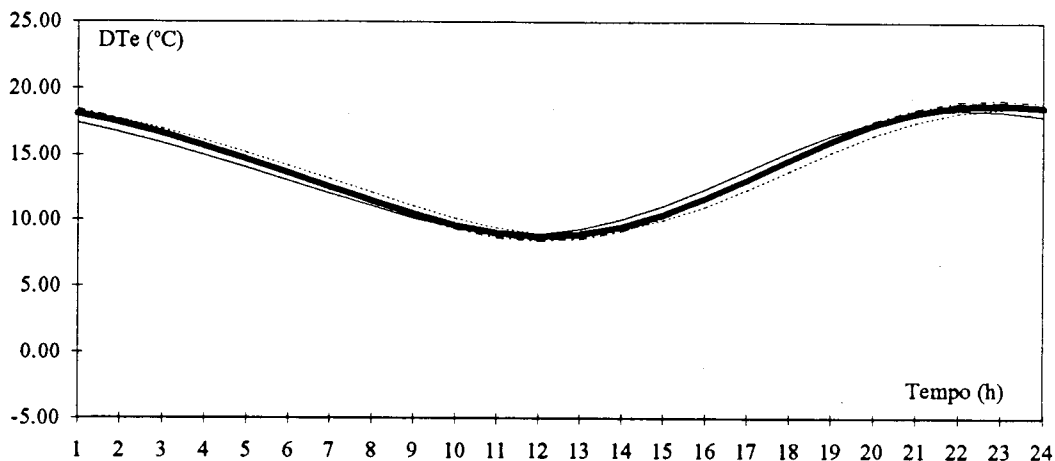


Figura III.35 - Coberturas em Terraço com Tecto Falso sem Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 0,42°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 3%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	18,10	0,34	2		
2	17,42	0,36	2		
3	16,59	0,36	2		
4	15,65	0,35	2		
5	14,65	0,32	2		
6	13,60	0,30	2		
7	12,52	0,31	2		
8	11,45	0,32	2		
9	10,44	0,32	2		
10	9,57	0,29	2		2
11	8,96	0,25	1		2
12	8,71	0,26	1		2
13	8,87	0,25	1		2
14	9,45	0,31	2		2
15	10,42	0,36	2	3	3
16	11,69	0,39	2	3	3
17	13,15	0,38	2	3	3
18	14,67	0,42	2	3	3
19	16,10	0,42	2		3
20	17,32	0,39	2		3
21	18,21	0,32	2		2
22	18,71	0,34	2		3
23	18,81	0,34	2		
24	18,59	0,32	2		

III.3.4.2.1.5. - Sub-grupo 5

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas leves em Chapa Metálica ou de Fibrocimento com Tecto Falso e com ou sem Isolante Térmico e ainda pelas mesmas coberturas mas sem Tecto Falso e com Isolante.

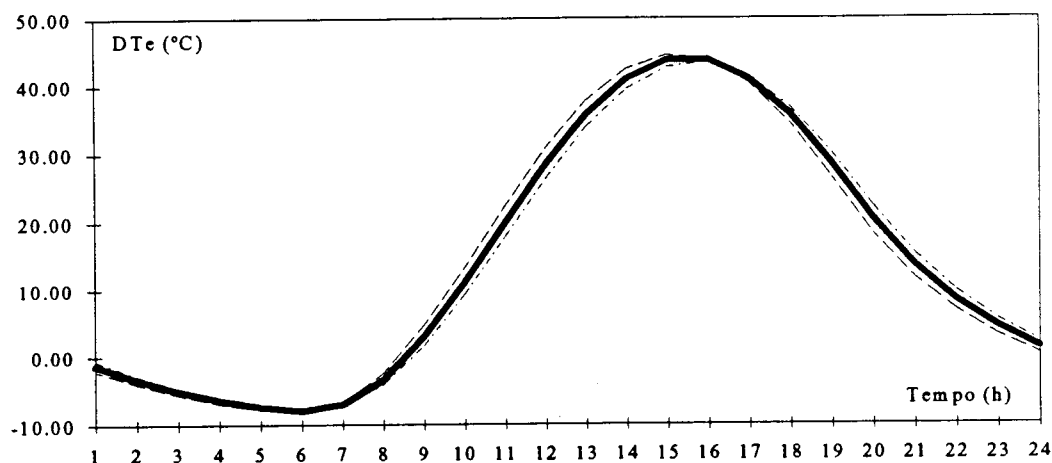


Figura III.36 - Coberturas Leves em Chapa Metálica ou de Fibrocimento com Tecto Falso e com ou sem Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 1,67°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 2%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	-1,35	0,52	1		
2	-3,40	0,42	1		
3	-5,08	0,35	1		
4	-6,43	0,28	1		
5	-7,46	0,21	0		
6	-8,02	0,12	0		
7	-7,06	0,19	0		
8	-3,42	0,67	2		
9	2,91	1,17	3		
10	11,03	1,52	3		5
11	19,85	1,67	4		6
12	28,33	1,64	4		5
13	35,56	1,42	3		5
14	40,85	1,06	2		4
15	43,68	0,60	1	1	2
16	43,75	0,18	0	0	1
17	41,02	0,46	1	1	2
18	35,68	0,97	2	2	3
19	28,34	1,36	3		4
20	20,42	1,48	3		5
21	13,59	1,32	3		4
22	8,31	1,06	2		4
23	4,29	0,82	2		
24	1,16	0,64	1		

III.3.4.2.1.6. - Sub-grupo 6

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas leves em Chapa Metálica ou de Fibrocimento sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico.

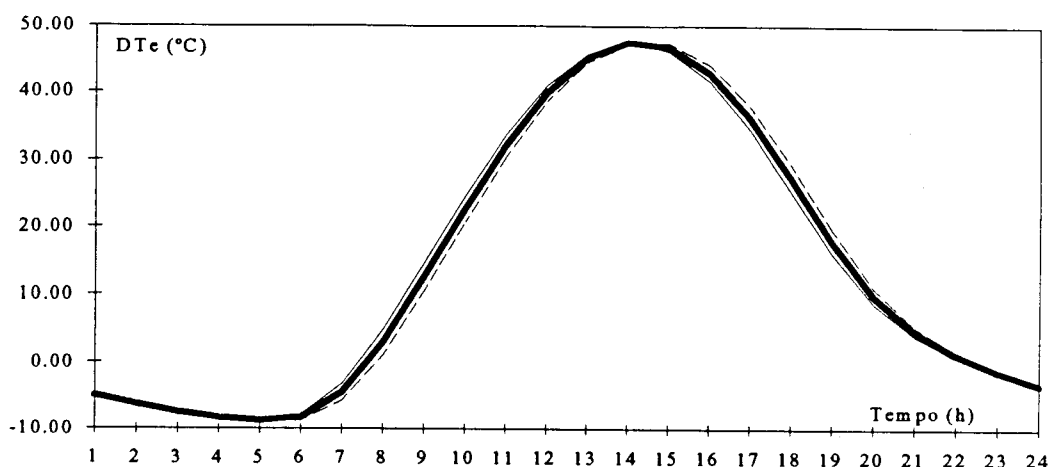


Figura III.37 - Coberturas Leves em Chapa Metálica ou de Fibrocimento sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 2,06°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 5%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	-4,98	0,25	1		
2	-6,37	0,21	0		
3	-7,51	0,17	0		
4	-8,37	0,11	0		
5	-8,89	0,05	0		
6	-8,28	0,45	1		
7	-4,44	1,27	3		
8	3,04	1,87	4		
9	12,66	2,06	4		
10	22,77	1,95	4		7
11	32,17	1,63	3		6
12	39,84	1,16	2		4
13	45,08	0,60	1		2
14	47,48	0,35	1		1
15	46,73	0,64	1	2	2
16	42,88	1,20	3	3	4
17	36,24	1,68	4	4	6
18	27,38	1,97	4	5	7
19	17,78	1,79	4		6
20	9,86	1,15	2		4
21	4,72	0,66	1		2
22	1,25	0,43	1		1
23	-1,29	0,34	1		
24	-3,30	0,29	1		

III.3.4.2.2. - Grupo 2

III.3.4.2.2.1. - Sub-grupo 1

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas Inclínadas ou Terraços sem Camada de Forma sem Tecto Falso e com Isolante Térmico.

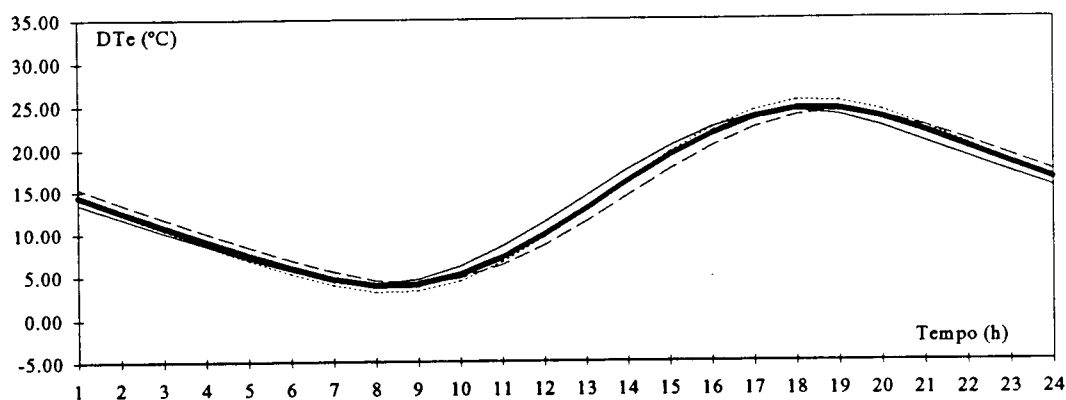


Figura III.38 - Coberturas Inclínadas ou Terraços sem Camada de Forma sem Tecto Falso e com Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 1,10°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 5%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	14,38	0,67	3		
2	12,53	0,68	3		
3	10,75	0,68	3		
4	9,05	0,67	3		
5	7,43	0,66	3		
6	5,93	0,63	3		
7	4,66	0,56	2		
8	3,92	0,51	2		
9	4,04	0,51	2		
10	5,12	0,68	3		4
11	7,08	0,89	4		5
12	9,74	1,01	4		6
13	12,81	1,02	4		6
14	16,02	1,10	4		6
15	19,05	1,10	4	5	6
16	21,63	0,98	4	4	6
17	23,50	0,78	3	3	4
18	24,49	0,62	3	3	4
19	24,48	0,61	2		3
20	23,53	0,70	3		4
21	21,96	0,81	3		5
22	20,11	0,80	3		5
23	18,18	0,74	3		
24	16,26	0,66	3		

III.3.4.2.2.2. - Sub-grupo 2

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas Inclinadas ou Terraços sem Camada de Forma sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico.

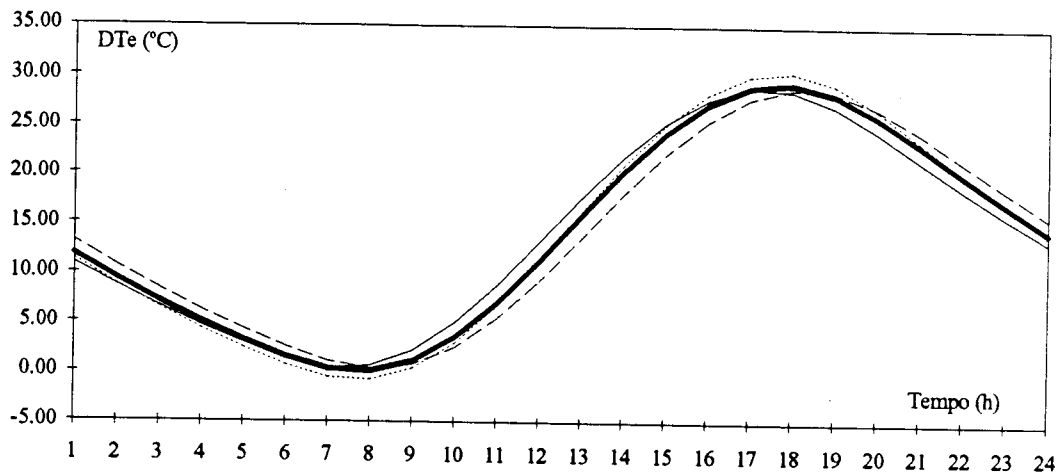


Figura III.39 - Coberturas Inclinadas ou Terraços sem Camada de Forma sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 1,38°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 5%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	11,81	0,90	3		
2	9,38	0,86	3		
3	7,13	0,82	3		
4	5,07	0,78	3		
5	3,18	0,73	2		
6	1,53	0,66	2		
7	0,32	0,57	2		
8	0,04	0,57	2		
9	1,08	0,72	2		
10	3,48	1,03	3		5
11	6,99	1,23	4		6
12	11,25	1,34	5		7
13	15,83	1,49	5		7
14	20,29	1,51	5		7
15	24,21	1,38	5	5	7
16	27,20	1,13	4	4	6
17	28,99	0,80	3	3	4
18	29,37	0,77	3	3	4
19	28,32	0,82	3		4
20	26,04	1,05	4		5
21	23,13	1,08	4		5
22	20,09	0,98	3		5
23	17,16	0,93	3		
24	14,40	0,92	3		

III.3.4.2.2.3. - Sub-grupo 3

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas Inclínadas ou Terraços sem Camada de Forma com Tecto Falso e com Isolante Térmico.

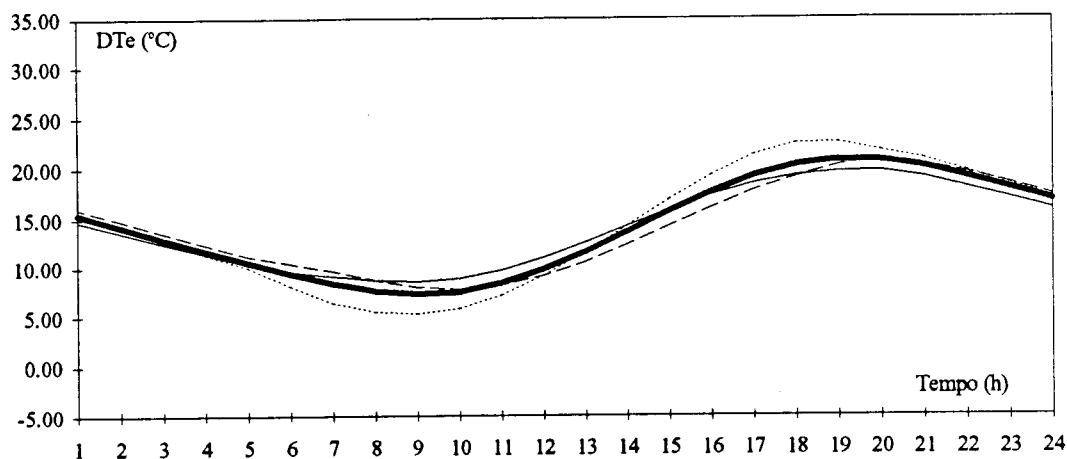


Figura III.40 - Coberturas Inclínadas ou Terraços sem Camada de Forma com Tecto Falso e com Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 1,46°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 8%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	15,44	0,48	2		
2	14,18	0,41	2		
3	12,91	0,42	2		
4	11,67	0,44	2		
5	10,45	0,44	2		
6	9,31	0,84	4		
7	8,33	1,32	6		
8	7,57	1,43	7		
9	7,21	1,32	6		
10	7,44	1,11	5		7
11	8,29	0,91	4		6
12	9,69	0,82	4		5
13	11,50	0,66	3		4
14	13,54	0,86	4		6
15	15,63	0,98	5	5	6
16	17,55	1,15	5	6	7
17	19,14	1,40	7	8	9
18	20,23	1,46	7	8	10
19	20,75	1,12	5		7
20	20,70	0,69	3		4
21	20,08	0,68	3		4
22	19,08	0,67	3		4
23	17,92	0,63	3		
24	16,69	0,56	3		

III.3.4.2.2.4. - Sub-grupo 4

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas Inclínadas ou Terraços sem Camada de Forma com Tecto Falso e sem Isolante Térmico.

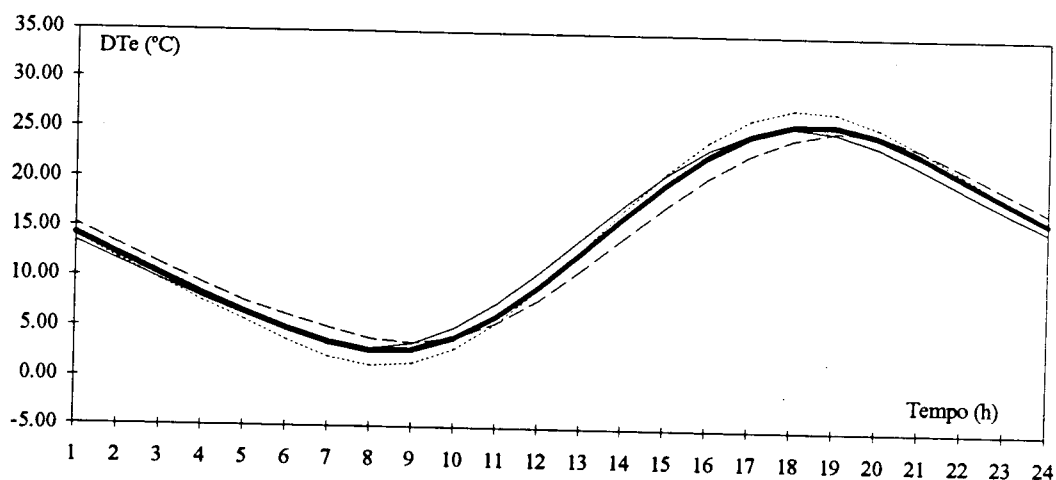


Figura III.41 - Coberturas Inclínadas ou Terraços sem Camada de Forma com Tecto Falso e sem Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 1,47°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 6%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	14,18	0,69	3		
2	12,11	0,70	3		
3	10,13	0,71	3		
4	8,25	0,71	3		
5	6,49	0,70	3		
6	4,88	0,89	3		
7	3,52	0,99	4		
8	2,72	0,99	4		
9	2,83	0,88	3		
10	4,03	0,70	3		4
11	6,23	0,87	3		5
12	9,22	0,97	4		5
13	12,70	1,16	4		6
14	16,33	1,38	5		8
15	19,76	1,47	6	6	8
16	22,68	1,42	5	6	8
17	24,80	1,26	5	5	7
18	25,91	1,10	4	5	6
19	25,91	0,88	3		5
20	24,84	0,71	3		4
21	23,00	0,80	3		4
22	20,81	0,78	3		4
23	18,56	0,70	3		
24	16,34	0,67	3		

III.3.4.2.2.5. - Sub-grupo 5

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas Inclinadas de Estrutura Descontínua sem Tecto Falso e com ou sem Isolante Térmico.

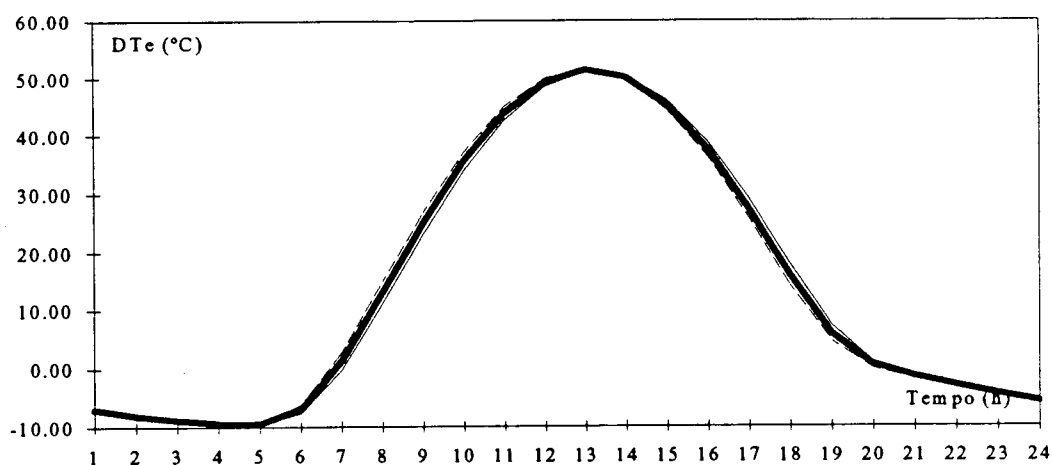


Figura III.42 - Coberturas Inclinadas de Estrutura Descontínua sem Tecto Falso e com ou sem Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 1,91°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 6%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	-7.07	0.19	0		
2	-8.12	0.16	0		
3	-8.93	0.11	0		
4	-9.40	0.06	0		
5	-9.50	0.00	0		
6	-6.87	0.69	1		
7	1.24	1.55	3		
8	12.95	1.91	4		
9	24.95	1.84	4		
10	35.52	1.58	3		5
11	43.83	1.18	2		4
12	49.19	0.70	1		2
13	51.29	0.18	0		1
14	50.00	0.36	1		1
15	45.24	0.90	2	3	3
16	37.51	1.34	3	4	4
17	27.39	1.69	3	5	6
18	15.90	1.82	4	6	6
19	5.89	1.38	3		5
20	0.45	0.58	1		2
21	-1.59	0.28	1		1
22	-3.06	0.23	0		1
23	-4.48	0.23	0		
24	-5.84	0.22	0		

III.3.4.2.2.6. - Sub-grupo 6

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas Inclinadas de Estrutura Descontínua com Tecto Falso e com ou sem Isolante Térmico.

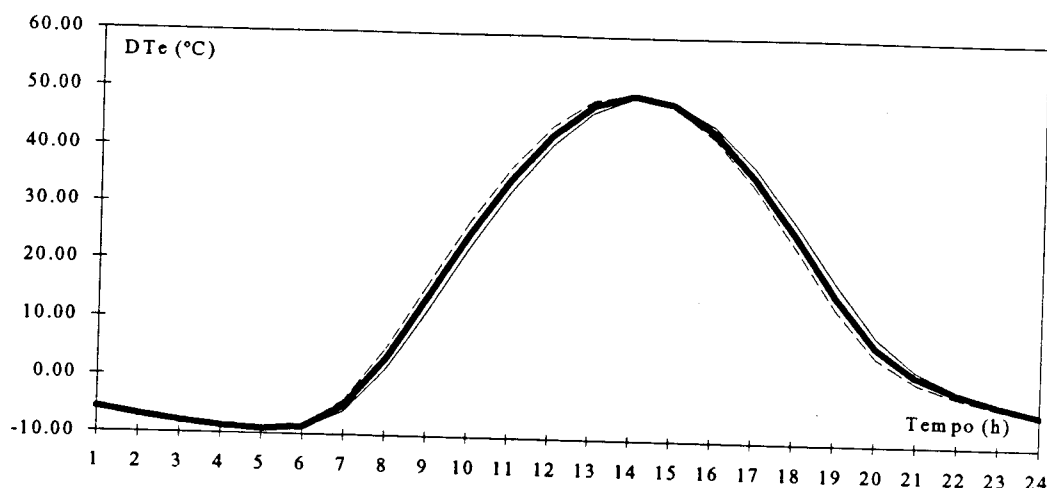


Figura III.43 - Coberturas Inclinadas de Estrutura Descontínua com Tecto Falso e com ou sem Isolante Térmico.

O erro médio absoluto máximo é de 2,32°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 7%.

Hora	DT_e (°C)	Erro Absoluto Médio (°C)	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	-5.78	0.31	1		
2	-7.01	0.27	1		
3	-8.04	0.22	0		
4	-8.81	0.16	0		
5	-9.25	0.09	0		
6	-8.77	0.21	0		
7	-4.91	0.99	2		
8	3.27	1.83	4		
9	13.98	2.28	4		
10	25.05	2.32	5		8
11	35.02	2.08	4		7
12	42.86	1.62	3		5
13	47.92	1.02	2		3
14	49.84	0.34	1		1
15	48.40	0.38	1	1	1
16	43.69	1.07	2	3	4
17	36.12	1.67	3	5	6
18	26.31	2.13	4	7	7
19	15.70	2.20	4		7
20	7.04	1.72	3		6
21	1.99	1.04	2		3
22	-0.86	0.63	1		2
23	-2.80	0.45	1		
24	-4.38	0.36	1		

III.3.4.2.3. - Grupo 3

III.3.4.2.3.1. - Sub-grupo 1

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Desvão Não Ventilado sem Tecto Falso e com Isolante Térmico sobre a Esteira.

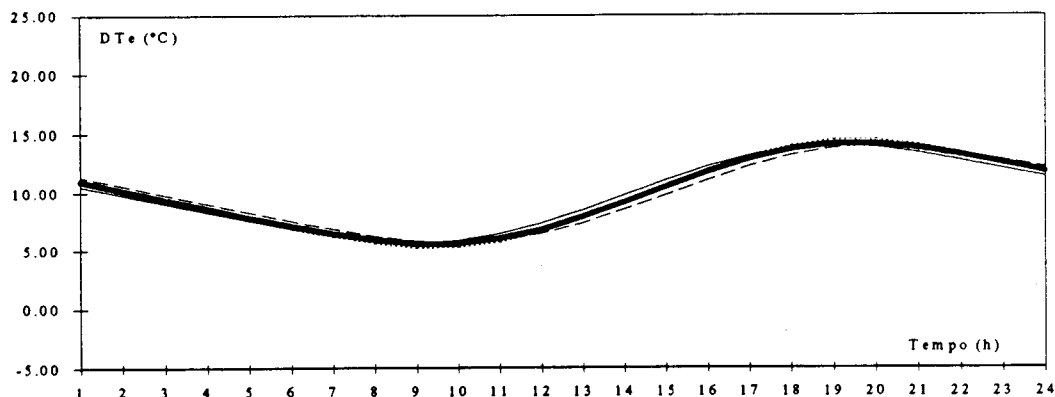


Figura III.44 - Coberturas em Desvão Não Ventilado sem Tecto Falso e com Isolante Térmico sobre a Esteira.

O erro médio absoluto máximo é de $0,46^{\circ}\text{C}$ e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 4%.

Hora	$DT_e (^{\circ}\text{C})$	Erro Absoluto Médio	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	10,96	0,27	2		
2	10,17	0,27	2		
3	9,38	0,28	2		
4	8,60	0,29	2		
5	7,84	0,29	2		
6	7,11	0,29	2		
7	6,43	0,27	2		
8	5,86	0,24	2		
9	5,53	0,22	2		
10	5,56	0,21	2		2
11	5,98	0,28	2		3
12	6,77	0,37	3		4
13	7,86	0,42	3		4
14	9,13	0,42	3		4
15	10,46	0,46	3	4	4
16	11,72	0,46	3	4	4
17	12,80	0,41	3	3	4
18	13,59	0,32	2	3	3
19	14,01	0,26	2		2
20	14,04	0,25	2		2
21	13,72	0,26	2		3
22	13,15	0,31	2		3
23	12,48	0,31	2		
24	11,73	0,30	2		

III.3.4.2.3.2. - Sub-grupo 2

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Desvão Não Ventilado sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico sobre a Esteira.

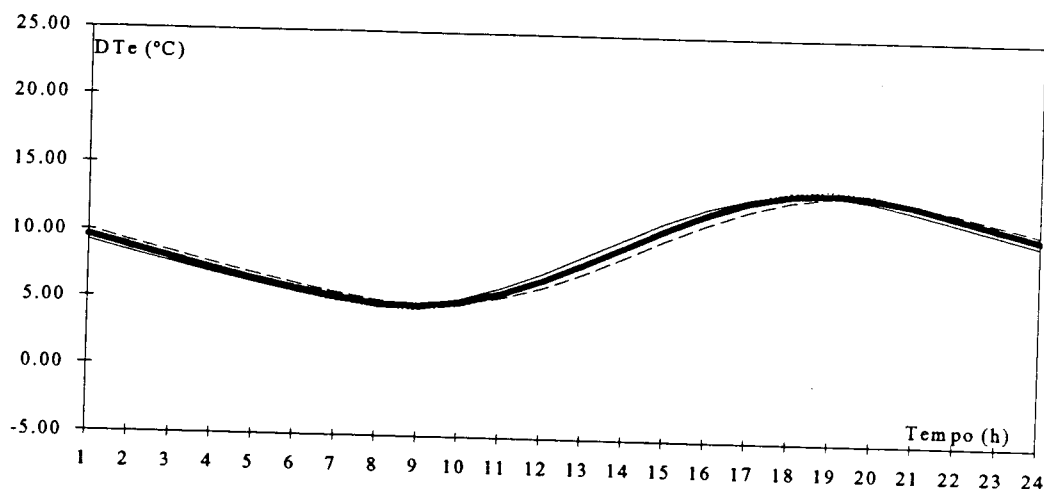


Figura III.45 - Coberturas em Desvão Não Ventilado sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico sobre a Esteira.

O erro médio absoluto máximo é de 0,74°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 5%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	9,62	0,45	3		
2	8,80	0,45	3		
3	8,01	0,44	3		
4	7,23	0,42	3		
5	6,49	0,40	2		
6	5,80	0,37	2		
7	5,18	0,33	2		
8	4,76	0,22	1		
9	4,65	0,22	1		
10	4,94	0,36	2		3
11	5,65	0,52	3		4
12	6,68	0,62	4		5
13	7,95	0,69	4		6
14	9,34	0,75	4		6
15	10,70	0,74	4	5	6
16	11,90	0,65	4	4	5
17	12,82	0,50	3	3	4
18	13,39	0,31	2	2	3
19	13,54	0,29	2		2
20	13,30	0,38	2		3
21	12,76	0,46	3		4
22	12,05	0,47	3		4
23	11,26	0,44	3		
24	10,44	0,44	3		

III.3.4.2.3.3. - Sub-grupo 3

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Desvão Não Ventilado com Tecto Falso e com Isolante Térmico sobre a Esteira.

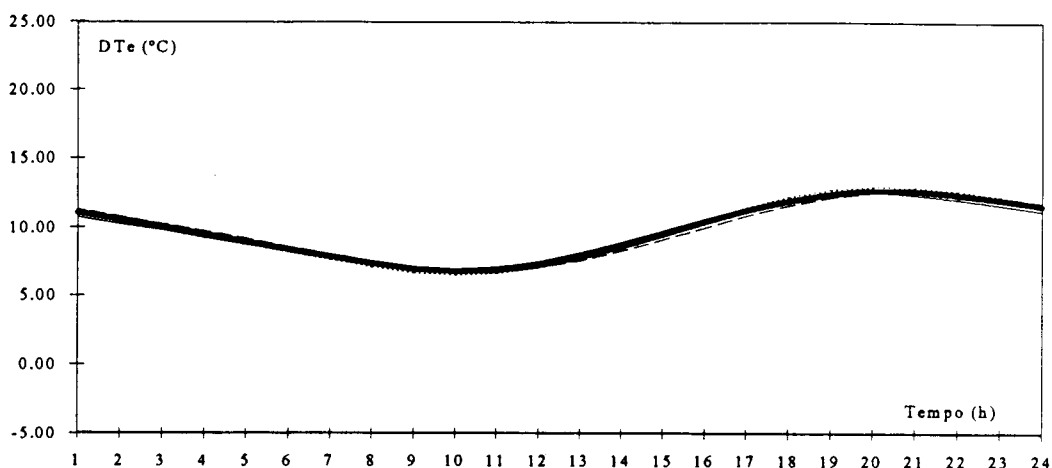


Figura III.46 - Coberturas em Desvão Não Ventilado com Tecto Falso e com Isolante Térmico sobre a Esteira.

O erro médio absoluto máximo é de 0,26°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 2%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	11,07	0,22	2		
2	10,54	0,20	2		
3	10,00	0,17	1		
4	9,44	0,18	1		
5	8,89	0,18	1		
6	8,33	0,18	1		
7	7,84	0,16	1		
8	7,34	0,18	1		
9	6,93	0,18	1		
10	6,75	0,18	1		2
11	6,82	0,16	1		2
12	7,18	0,21	2		2
13	7,78	0,23	2		2
14	8,56	0,23	2		2
15	9,45	0,25	2	2	3
16	10,36	0,26	2	2	3
17	11,21	0,25	2	2	3
18	11,91	0,21	2	2	2
19	12,41	0,21	2		2
20	12,67	0,19	2		2
21	12,63	0,19	1		2
22	12,37	0,23	2		2
23	12,00	0,24	2		
24	11,55	0,24	2		

III.3.4.2.3.4. - Sub-grupo 4

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Desvão Não Ventilado com Tecto Falso e sem Isolante Térmico sobre a Esteira.

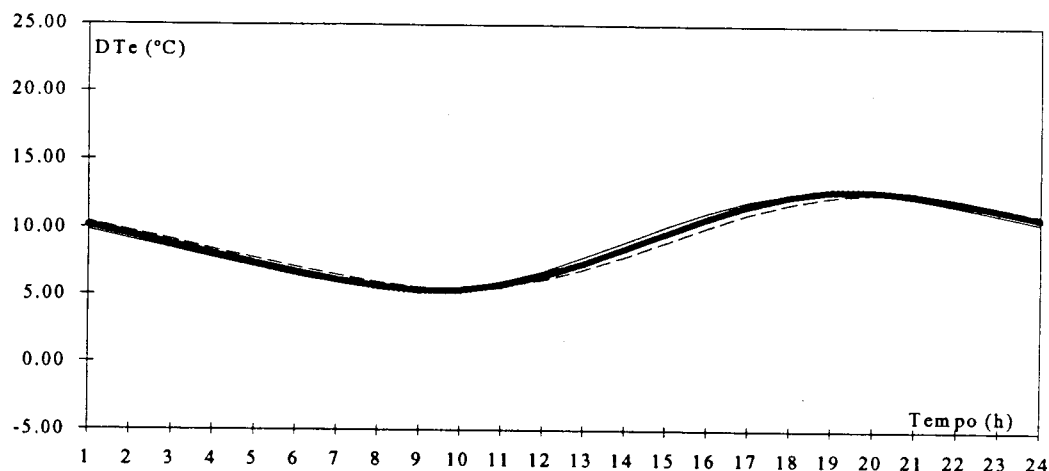


Figura III.47 - Coberturas em Desvão Não Ventilado com Tecto Falso e sem Isolante Térmico sobre a Esteira.

O erro médio absoluto máximo é de $0,64^{\circ}\text{C}$ e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 5%.

Hora	DT_e ($^{\circ}\text{C}$)	Erro Absoluto Médio	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	10,14	0,35	2		
2	9,45	0,37	2		
3	8,75	0,38	2		
4	8,06	0,39	2		
5	7,38	0,39	2		
6	6,72	0,38	2		
7	6,11	0,36	2		
8	5,61	0,30	2		
9	5,32	0,22	1		
10	5,34	0,21	1		2
11	5,71	0,34	2		3
12	6,41	0,46	3		4
13	7,35	0,52	3		5
14	8,46	0,59	4		5
15	9,62	0,64	4	5	6
16	10,72	0,62	4	5	6
17	11,66	0,54	3	4	5
18	12,35	0,42	3	3	4
19	12,72	0,28	2		3
20	12,75	0,26	2		2
21	12,50	0,30	2		3
22	12,03	0,35	2		3
23	11,45	0,35	2		
24	10,81	0,34	2		

III.3.4.2.3.5. - Sub-grupo 5

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Desvão Não Ventilado com Esteira Leve com ou sem Tecto Falso e com Isolante Térmico sobre a esteira.

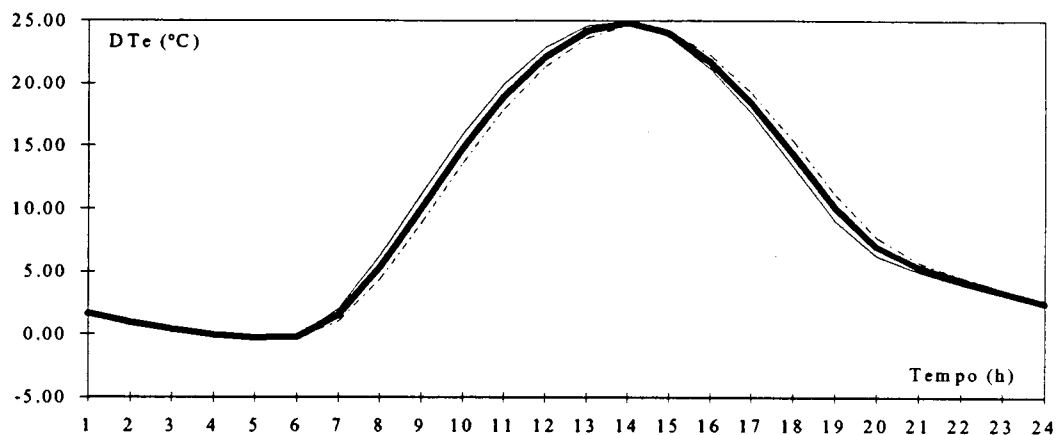


Figura III.48 - Coberturas em Desvão Não Ventilado com Esteira Leve com ou sem Tecto Falso e com Isolante Térmico sobre a esteira.

O erro médio absoluto máximo é de 0,78°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 4%.

Hora	DT_e (°C)	Erro Absoluto Médio	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	1,64	0,12	1		
2	0,91	0,12	1		
3	0,35	0,08	0		
4	-0,09	0,08	0		
5	-0,34	0,03	0		
6	-0,25	0,02	0		
7	1,53	0,34	1		
8	5,32	0,64	3		
9	10,02	0,78	3		
10	14,77	0,78	3		5
11	18,97	0,68	3		4
12	22,15	0,51	2		3
13	24,12	0,32	1		2
14	24,81	0,10	0		1
15	23,97	0,16	1	1	1
16	21,75	0,38	2	2	2
17	18,48	0,55	2	3	3
18	14,37	0,69	3	4	4
19	10,05	0,71	3		4
20	6,97	0,47	2		3
21	5,36	0,26	1		2
22	4,28	0,19	1		1
23	3,35	0,15	1		
24	2,43	0,15	1		

III.3.4.2.3.6. - Sub-grupo 6

Este sub-grupo é constituído pelas coberturas em Desvão Não Ventilado com Esteira Leve com Tecto Falso com ou sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico sobre a esteira.

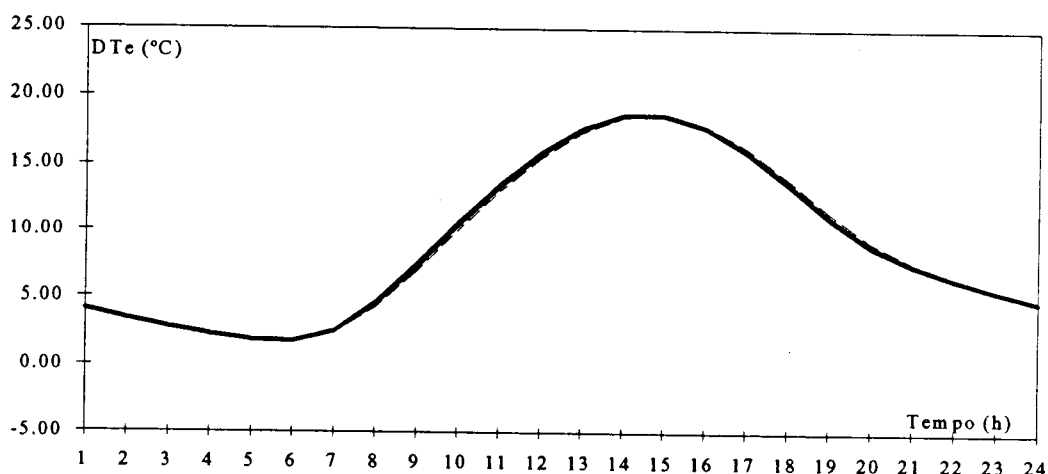


Figura III.49 - Coberturas em Desvão Não Ventilado com Esteira Leve com ou sem Tecto Falso e sem Isolante Térmico sobre a esteira.

O erro médio absoluto máximo é de 0,38°C e os erros relativos no período das 15 às 18 horas são inferiores a 2%.

Hora	DT _e (°C)	Erro Absoluto Médio	Erro Relativo (%)		
			Máximo	Méd. 15-18h	Méd. 10-22h
1	4,11	0,09	0		
2	3,39	0,09	0		
3	2,78	0,06	0		
4	2,25	0,06	0		
5	1,83	0,05	0		
6	1,73	0,00	0		
7	2,51	0,12	1		
8	4,52	0,26	1		
9	7,33	0,34	2		
10	10,45	0,38	2		3
11	13,39	0,35	2		3
12	15,82	0,29	2		2
13	17,64	0,21	1		2
14	18,65	0,11	1		1
15	18,68	0,02	0	0	0
16	17,78	0,12	1	1	1
17	16,10	0,21	1	1	2
18	13,78	0,29	2	2	2
19	11,21	0,31	2		2
20	9,02	0,25	1		2
21	7,56	0,16	1		1
22	6,54	0,13	1		1
23	5,65	0,11	1		
24	4,83	0,09	1		

III.3.4.3. - Classificação de Coberturas - Conclusão

Com este agrupamento dos diversos tipos de coberturas em três grandes grupos, cada um deles subdividido em seis sub-grupos, é possível calcular de forma precisa as cargas térmicas provenientes da quase totalidade das coberturas existentes no universo da construção civil portuguesa, ao contrário do que se passava antes da publicação do presente trabalho. Assim, o agrupamento aqui apresentado vai servir para que no Capítulo IV se possam apresentar valores de ΔT_e para as seguintes tipos de coberturas:

- coberturas em terraço com camada de forma;
- coberturas inclinadas ou terraços sem camada de forma;
- coberturas em desvão (com 3 níveis de renovação do ar - 0, 9 e 28 rph).

No decurso do estudo das diversas coberturas foram identificados alguns tipos que, por possuírem um comportamento completamente distinto dos outros e por construtivamente terem uma utilização importante, foram classificados em sub-grupos próprios e nalguns casos individualizados. São de destacar os seguintes tipos:

- coberturas de estrutura leve revestida com chapas metálicas ou de fibrocimento;
- coberturas em desvão com esteira leve;
- coberturas com estrutura de madeira descontinua.

No Anexo E encontram-se as propriedades dos materiais usadas na dedução dos Factores de Resposta. No Anexo G encontram-se tabelados os valores dos Factores de Resposta correspondentes aos 18 sub-grupos de coberturas atrás descritos e que permitem determinar, através da expressão II.50, o fluxo de calor na superfície interior (e exterior) sob quaisquer condições de temperatura interior e exterior. Conforme já referido, no Anexo C encontra-se a listagem de um programa no qual foi implementada a metodologia das funções de transferência aplicada ao cálculo de fluxos de calor e cargas térmicas através da envolvente opaca.

CAPITULO IV - Caracterização da Inércia Térmica

IV.1. - Introdução

Conforme já foi referido, para determinar as cargas térmicas provenientes dos elementos opacos foi utilizado o método das Funções de Transferência, sendo a sua determinação feita em duas fases: a primeira consistiu em determinar o fluxo de calor que atravessa o elemento opaco em regime instacionário e que chega à sua superfície interior, ou seja o ganho instantâneo; a segunda, descrita com mais pormenor neste capítulo, consiste em determinar a quantidade de calor transmitida por convecção directamente da superfície interior do elemento para o ar, e a quantidade de calor transmitida por radiação para as outras superfícies envolventes do espaço, 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 parâmetro Inércia Térmica.

Deste modo, a carga térmica, $\dot{Q}(t)$, de um espaço num determinado instante (t), além de depender do valor presente dos ganhos $\dot{q}(t)$, depende também dos valores anteriores da carga térmica $\dot{Q}(t - i\Delta)$ e dos valores anteriores dos ganhos $\dot{q}(t - i\Delta)$, ou seja, da energia armazenada na massa térmica do espaço e libertada por esta para o ar no tempo que precedeu o instante em análise. A conversão do fluxo de calor na superfície interior da parede em carga térmica do espaço é feita por recurso à função de transferência do espaço, conforme já descrito no Capítulo II:

$$\dot{Q}(t) = \sum_{i=0} v_i \dot{q}(t - i\Delta) - \sum_{i=1} \omega_i \dot{Q}(t - i\Delta) \quad (\text{II.94})$$

onde v_i e ω_i são designados por Factores de Ponderação.

O cálculo das cargas térmicas provenientes da envolvente opaca faz-se geralmente, conforme já referido, com recurso a valores de diferenças efectivas de temperatura (usualmente os CLTD's publicados pela ASHRAE), que contabilizam simultaneamente os efeitos da diferença de temperatura e da radiação solar incidente sobre a face exterior da envolvente. Os valores das diferenças efectivas de temperatura, ΔT_e , são determinados pelo quociente entre os valores da carga térmica $\dot{Q}(t)$, e o coeficiente global de transferência de calor do elemento opaco em regime permanente (K).

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

De modo a obter valores mais fiáveis para uma maior variedade de espaços com características construtivas típicas dos países mediterrânicos, nomeadamente os portugueses, foram obtidos novos conjuntos de factores de ponderação a partir de simulações detalhadas, tal como descrito mais adiante neste Capítulo. Os factores de ponderação assim obtidos foram agrupados por tipologias de comportamento

relacionadas com a inércia térmica, apresentando-se no fim deste Capítulo os valores de ΔT_e correspondentes aos tipos de inércia e de elemento construtivo.

IV.2. - Cálculo dos Factores de Ponderação

Os factores de ponderação que constam da equação II.94 podem ser calculados através de diversos modelos matemáticos [32, 56 e 65]. Neste trabalho foram utilizadas as subrotinas do programa DOE2 relativas ao cálculo dos factores de ponderação, nas quais está implementado o método descrito por Kerrish [56].

Atendendo ao exposto em II.3.1.2. e II.3.1.3., para o cálculo dos factores de ponderação dos ganhos de calor sensível provenientes dos ocupantes, equipamentos, iluminação artificial e da condução através da envolvente opaca, é utilizado um impulso unitário de radiação, q_{si} , havendo a considerar posteriormente que só uma parte deste calor é libertado por radiação, sendo a restante libertada por convecção e contribuindo de imediato para a carga térmica total.

Para o cálculo dos factores de ponderação dos ganhos de calor provenientes da radiação solar é também utilizado um impulso unitário de radiação, q_{si} . Uma vez que a totalidade do calor proveniente desta fonte tem carácter radiante, os valores da resposta do sistema a esta solicitação são iguais aos factores de ponderação dos ganhos de calor provenientes da radiação solar. Neste caso, ao contrário dos casos apontados atrás, para se obterem os factores de ponderação, não é necessário considerar a parte radiante e a parte convectiva da fonte de calor

O calor sensível libertado pelos ocupantes pode ir directamente para o ar por convecção ou para as paredes, pavimento e tecto por radiação sendo recomendado que a distribuição deste calor seja 70% radiante e 30% convectivo [7 e 8].

A grande variedade de fontes de calor que se podem classificar como equipamentos torna praticamente impossível o estabelecimento de modelos de distribuição do calor simples e precisos. As temperaturas destas fontes podem variar desde a temperatura ambiente, para os equipamentos eléctricos, até cerca de 500 °C [55], para equipamentos de preparação de alimentos. Também o uso de exaustores de fumos e odores aplicados sobre os equipamentos pode fazer variar as quantidades relativas de calor radiante e convectivo. Admite-se, como uma aproximação, que, em média, a distribuição de calor sensível libertada pelos equipamentos seja igual à dos ocupantes, ou seja, 70% radiante e 30% convectivo [7 e 8].

Em relação à iluminação artificial, as quantidades relativas de energia libertada por convecção e radiação são muito variáveis e dependem do tipo de iluminação [66]. Para os tipos de lâmpadas não ventiladas, incandescentes ou fluorescentes, a distribuição de calor é aproximadamente igual à dos ocupantes e equipamentos, ou seja, 70% radiante e 30% convectivo. No extremo oposto encontram-se as lâmpadas ventiladas com ar forçado, as quais apresentam uma distribuição de calor aproximadamente igual a 20% radiante e 80% convectivo [66]. Valores intermédios da distribuição de calor encontram-se para as lâmpadas dotadas de dispositivos de ventilação natural, nas quais o calor radiante e convectivo são aproximadamente

iguais a, respectivamente, 60% e 40%, [66]. Uma vez que o tipo de iluminação artificial mais comum é constituído por lâmpadas incandescentes ou fluorescentes não ventiladas adoptou-se neste trabalho uma distribuição de calor libertado pela iluminação igual à dos equipamentos e ocupantes, ou seja, 70% radiante e 30% convectivo.

No caso dos ganhos de calor resultantes da condução através da envolvente opaca exterior, as superfícies interiores, tal como as demais fontes de calor, realizam trocas de calor por convecção com o ar interior do compartimento e, se existirem diferenças de temperatura entre as diversas superfícies, realizam trocas de calor por radiação com as restantes superfícies interiores que confinam o compartimento. Na Figura IV.1 está representado esquematicamente o modelo térmico utilizado para simular a transferência de calor no interior de um compartimento constituído por duas paredes, onde R_C representa a resistência térmica associada às trocas de calor por convecção e R_R a resistência térmica de radiação.

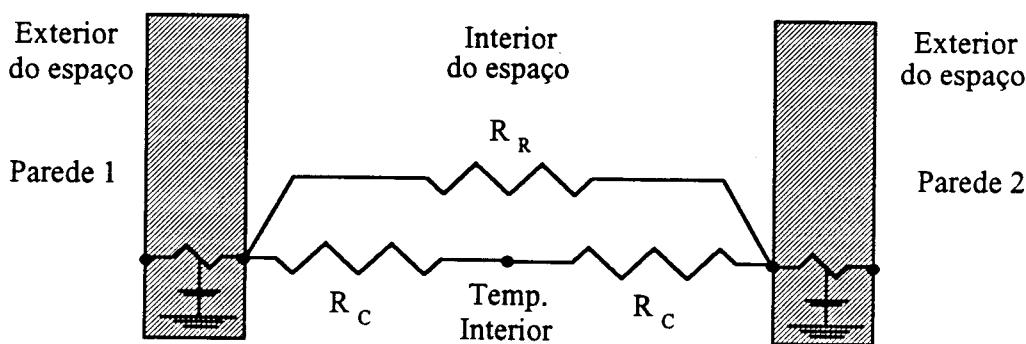


Figura IV.1 - Modelo térmico de transferência de calor num compartimento.

Foi adoptado para a resistência térmica de radiação o valor de $0,20 \text{ m}^2\text{°C/W}$, sendo este valor também o recomendado e adoptado no programa de cálculo [55]. Para a resistência térmica de convecção foram adoptados valores tais que a resistência térmica superficial total, R_{RC} , calculada pela expressão (IV.2), que combina os efeitos da radiação e da convecção, seja igual aos valores recomendados (por exemplo: paredes $R_{RC} = 0,12 \text{ m}^2\text{°C/W}$), [64].

$$h_{\text{int}} = \frac{1}{R_{RC}} = \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_R} \quad (\text{IV.2})$$

Assim, sendo conhecidos os valores das resistências térmicas superficiais de convecção e radiação podem-se estimar as fracções radiante, f_R , e convectiva, f_C , para os ganhos instantâneos de calor resultantes da condução através da envolvente opaca usando as seguintes expressões:

$$f_R + f_C = 1$$

$$f_R = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^N \frac{A_i R_{Ci}}{R_{R_i} + R_{C_i}} \quad (\text{IV.3})$$

Foi comprovado experimentalmente [67] que, com esta formulação dos fenómenos de transferência de calor no interior de um compartimento e a adopção destes valores padrão para as resistências térmicas superficiais interiores, o método dos factores de ponderação descreve adequadamente o comportamento térmico dos espaços.

Na Tabela IV.1 apresenta-se o resumo das fracções convectiva e radiante dos ganhos instantâneos de calor provenientes das diversas fontes.

Tabela IV.1 - Fracções convectiva e radiante das diversas fontes calor

Tipo de Fonte de Calor	f_R	f_C
Radiação Solar	100 %	0 %
Ocupantes, Equipamentos e Iluminação	70 %	30 %
Condução de Calor pela envolvente	equação (IV.4)	

Atendendo a que os factores de ponderação são calculados como sendo a resposta do espaço a uma excitação unitária de calor, eles reflectem as perdas do espaço para o ar exterior por condução através das paredes que limitam esse espaço. Essas perdas existem para qualquer zona que tenha um valor finito de coeficiente global de perdas (KA) para o exterior. Isto significa que uma porção dos ganhos de calor se perdem para o exterior e portanto não se transformam em carga térmica. Significa também que, se se estivesse em regime permanente, a quantidade de energia transformada em carga térmica era inferior à fornecida. Assim, a resposta a uma excitação unitária de fluxo de calor, que deveria ser igual à unidade é, no entanto, inferior, o que, em termos matemáticos, é traduzido pelo quociente entre a soma dos valores de v_i e a soma dos valores de ω_i [55].

Os factores de ponderação assim calculados são exactos para o cálculo da carga térmica do espaço para o qual eles foram determinados. No entanto, eles não podem ser aplicados com rigor para outro espaço com outro coeficiente global de perdas para o exterior. De modo a aumentar o seu campo de aplicação, é necessário normalizar os factores de ponderação calculados, tendo-se para isso definido um factor de correcção, F_c , da seguinte forma [55]:

$$F_c = \frac{\sum_{i=0} v_i}{\sum_{i=0} \omega_i} \quad (IV.4)$$

Após a determinação de F_c podem-se obter os novos conjuntos de valores de v_i normalizados correspondentes a espaços perfeitamente isolados:

$$v_{i \text{ normalizado}} = \frac{v_i}{F_c} \quad (IV.5)$$

Os valores de v_i publicados por diversos autores [33, 68 e 69], nomeadamente os tabelados nos Handbooks of Fundamentals da ASHRAE [7 e 8], foram normalizados do mesmo modo. Para se poderem aplicar os factores de ponderação normalizados a um determinado espaço é então necessário multiplicar os valores v_i pelo valor de F_c do espaço que se quer analisar. Para efeitos de aplicação prática, o valor do factor F_c pode ser calculado seguindo-se as recomendações dos Handbooks of Fundamentals da ASHRAE [7 e 8], os quais apresentam a seguinte expressão:

$$F_c = 1 - 0,0116 K_\theta \quad (\text{IV.6})$$

onde K_θ é o coeficiente linear de perdas entre o ar do espaço em análise e o ar do exterior, sendo calculado por [7 e 8]:

$$K_\theta = \frac{1}{L_f} (K_{\text{ext}} A_{\text{ext}} + K_{\text{env}} A_{\text{env}} + K_{\text{int}} A_{\text{int}})$$

em que:

L_f - é o comprimento da parede exterior, (m)

K - é o coeficiente de transferência de calor dos elementos da envolvente que comunicam com espaços não condicionados, ($\text{W/m}^2\text{°C}$). Os subscritos *ext*, *env* e *int* referem-se, respectivamente, à envolvente exterior, envidraçada e envolvente interior em contacto com espaços não condicionados.

A - é a área dos elementos da envolvente atrás referidos, (m^2).

A normalização dos factores de ponderação permite a sua aplicação a outras construções relativamente diferentes daquelas para os quais eles foram calculados. No entanto, as possibilidades de variação de condições construtivas só se aplicam, de acordo com a definição de F_c , a diferenças ao nível de áreas e coeficientes de transmissão térmica dos elementos que envolvem o espaço.

Apesar da normalização dos valores dos factores de ponderação publicados, a sua aplicabilidade ao caso português é deficiente, em virtude das grandes diferenças existentes entre as tipologias construtivas e materiais de construção utilizados. Tal como já referido, a definição de factores de ponderação adequados a uma determinada tipologia construtiva requer a execução de estudos sistemáticos, como o que se levou a cabo neste trabalho.

Esses estudos sistemáticos que permitem extrapolar resultados para a generalidade dos edifícios, têm sido essencialmente realizados nos Estados Unidos por encomenda da ASHRAE [70]. Na Europa, o estudo rigoroso do comportamento térmico dos edifícios é, na maior parte dos casos, baseado nos métodos de diferenças ou elementos finitos, havendo no entanto que referir que em França há alguma tradição de investigação no domínio das funções de transferência [69]. De qualquer forma estes estudos incidem sobre edifícios franceses, sobre os quais são feitas simulações numéricas sem um carácter sistemático e portanto gerando resultados que não são extrapoláveis a outras situações, como por exemplo o Estudo Multiparamétrico "Cité du Lièvre d' Or" onde foi realizada a exploração de casos limite, em termos de espessuras de paredes, tendo-se concluído que o algoritmo de cálculo da versão 1.C

do programa DOE-2 revelava insuficiências de precisão para paredes com espessuras superiores a 70 cm [69].

IV.3. - Caracterização dos Factores de Ponderação

Cada conjunto de factores de ponderação engloba vários elementos diferentes pelo que se torna difícil estabelecer comparações entre os diferentes conjuntos. De forma a viabilizar a classificação dos espaços, em função dos factores de ponderação, procurou-se reduzir ao mínimo o número de parâmetros a comparar. Como os ganhos de calor através dos elementos da envolvente variam ciclicamente com um período de 24 horas, e o efeito da inércia térmica se traduz por um amortecimento e um atraso na propagação da onda de calor, optou-se por caracterizar a resposta térmica dos espaços pelos dois parâmetros designados por Amplitude e Atraso.

O cálculo da amplitude e do atraso da resposta de um espaço a uma determinada excitação pode ser feito de diversas maneiras. O modo mais directo consiste em adoptar como excitação "ganho instantâneo de calor" uma senoide de amplitude unitária e período de 24 horas:

$$\dot{q}(t) = \sin\left(\frac{\pi}{12}t\right) \quad (IV.7)$$

A resposta a esta excitação é a carga térmica do espaço e continua a ser uma senoide, mas com uma amplitude (a) menor ou igual à da excitação e desfasada no tempo (ϕ):

$$\dot{Q}(t) = a \sin\left(\frac{\pi}{12}t - \phi\right) \quad (IV.8)$$

A determinação matemática da amplitude (a) é quase imediata se se conhecer o valor de $\dot{Q}(t)$ em dois instantes desfasados de $\pi/2$. Assim pode-se calcular a carga térmica para $t=0$ e $t=6$ horas.

Para $t=0$ horas, vem da equação IV.8:

$$\dot{Q}(0) = a \sin(-\phi) = -a \sin(\phi) \quad (IV.9)$$

Para $t=6$ horas, vem da equação IV.8:

$$\dot{Q}(6) = a \sin\left(\frac{\pi}{12}6 - \phi\right) = a \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) = a \cos(\phi) \quad (IV.10)$$

Elevando as equações IV.9 e IV.10 ao quadrado e somando-as membro a membro obtém-se:

$$[\dot{Q}(0)]^2 + [\dot{Q}(6)]^2 = a^2 [\sin^2 \phi + \cos^2 \phi] = a^2$$

$$a = \sqrt{[\dot{Q}(0)]^2 + [\dot{Q}(6)]^2} \quad (\text{IV.11})$$

Para calcular ϕ , divide-se membro a membro a equação IV.9 pela equação IV.10 obtendo-se:

$$\frac{\dot{Q}(0)}{\dot{Q}(6)} = \frac{-a \sin \phi}{a \cos \phi} = -\text{tg } \phi$$

$$\phi = \text{arctg} \left(-\frac{\dot{Q}(0)}{\dot{Q}(6)} \right) \quad (\text{IV.12})$$

A conversão de radianos para horas do atraso é dada por:

$$\text{Atraso} = \frac{12}{\pi} \phi \quad (\text{IV.13})$$

É de referir que a amplitude e o atraso aqui referidos representam a resposta do espaço a uma excitação térmica que já entrou no próprio espaço, o que é completamente diferente do amortecimento e desfasamento no tempo associados à condução de calor através da envolvente exterior.

Para o cálculo da amplitude e do atraso de cada espaço, as cargas térmicas, $\dot{Q}(t)$, são calculadas pela expressão II.94, utilizando os factores de ponderação correspondentes a esse espaço.

IV.4. - Comportamento Térmico de Espaços Típicos

A inércia térmica de um espaço depende dos materiais que constituem a sua envolvente (paredes, pavimento e cobertura), da resistência térmica do respectivo acabamento, da volumetria (área de pavimento e pé-direito) e da área de envidraçados [71]. Para levar a efeito a caracterização do comportamento térmico de espaços típicos foi realizado um estudo prévio de modo a aferir qual a importância relativa dos parâmetros atrás referidos. Seguidamente, e com base nos resultados obtidos nesse estudo, foram realizadas simulações sistemáticas de diversas combinações dos parâmetros indicados.

IV.4.1. - Estudo Prévio

Foi realizado um levantamento dos elementos construtivos mais frequentes nos edifícios construídos e das respectivas características termo-físicas dos materiais seus constituintes. Esse levantamento foi baseado na consulta de diversos projectos que ao longo do tempo têm vindo a ser submetidos à apreciação do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Apresentam-se de seguida os resultados desse levantamento, encontrando-se a listagem das respectivas propriedades termo-físicas no Anexo E:

- Paredes Exteriores - O tipo de parede exterior mais comum é a parede dupla de tijolo furado em que o pano exterior é de 15 cm e o pano interior de 11 ou 7 cm. Os edifícios de construção mais recente possuem uma camada de 2 cm de isolante térmico (poliestireno expandido) colocado na caixa de ar. Os revestimentos exteriores mais correntes são o tradicional reboco de argamassa e os elementos cerâmicos vidrados. Pelo interior, o revestimento mais comum é reboco de argamassa de cimento e cal-hidráulica.
- Pavimentos e Tectos - A estrutura resistente mais comum consiste em lajes que podem ser maciças, com espessuras que oscilam entre 10 e 15 cm, ou aligeiradas, com espessuras entre 12 e 25 cm. O revestimento inferior mais corrente é o estuque e superiormente, além da camada de regularização de 3 a 5 cm, é frequente encontrar-se alcatifa fina ou espessa, parquet, soalho, mosaico cerâmico e tijoleira. Embora exigido pelo RCCTE [2], o isolamento das lajes é ainda pouco frequente.
- Paredes Interiores - As paredes interiores mais correntes são executadas em tijolo furado de 7 cm, rebocadas de ambos os lados com argamassa de cimento e cal-hidráulica, ou azulejos se se tratarem de zonas húmidas como cozinhas e instalações sanitárias. No entanto, verifica-se que, em construções de qualidade, as paredes interiores que separam os compartimentos onde se produzem mais ruídos, como cozinhas e quartos de banho, são de tijolo de 11 cm.

Quanto à volumetria, foi definido um espaço com uma geometria tipo que representa a maior parte dos casos que ocorrem na prática e consiste num compartimento pertencente a um piso intermédio de um edifício de vários andares. Deste modo, o espaço possui uma única parede exterior, na qual se localiza um vão envidraçado, e os restantes elementos da envolvente são interiores, confinando com outros espaços que se supõe estarem à mesma temperatura, conforme se encontra esquematizado na Figura IV.2. As paredes exteriores possuem, em regra, vãos envidraçados constituídos por vidros simples montados em caixilharias metálicas. As dimensões dos vãos são variáveis, ocupando em média 50% da área da parede exterior.

Embora os elementos interiores tenham um comportamento adiabático por confinarem espaços à mesma temperatura, a sua capacidade de armazenamento térmico não é desprezável em virtude de possuírem uma massa significativa, como é característico das construções portuguesas. Como o modelo matemático utilizado no cálculo dos factores de ponderação contabiliza esse efeito de armazenamento térmico, o facto de se terem considerado apenas espaços com um único elemento exterior não

restringe a aplicabilidade dos resultados a outros espaços com mais do que um elemento exterior, como se poderá verificar no final deste Capítulo, em IV.8.

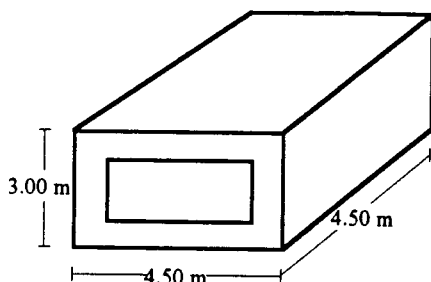


Figura IV.2. - Esquema do espaço tipo

Os factores de ponderação relativos à radiação solar, iluminação artificial, ocupantes, equipamentos e condução pela envolvente foram calculados atendendo aos resultados do levantamento efectuado, tendo sido considerados vários tipos de lajes com os respectivos acabamentos. Os resultados que a seguir se apresentam referem-se apenas aos ganhos de condução. No entanto, como o comportamento dos espaços em relação às outras fontes de calor é idêntico, como adiante se verá, as conclusões são também válidas para essas fontes de calor.

Numa primeira fase foram comparados os resultados relativos a paredes interiores de tijolo furado de 7 cm com os relatados às de 11 cm, como se pode observar nas Tabelas IV.2 e IV.3 para o atraso e nas Tabelas IV.4 e IV.5 para a amplitude.

Tabela IV.2 - Atraso (horas) - Paredes Interiores Tijolo Furado de 7 cm

Tipo de Laje	s/ revestimento	Tijoleira	Parquet	Alcatifa Fina
Betão Maciço - 10 cm	1,295	1,332	1,279	1,203
Betão Maciço - 15 cm	1,172	1,208	1,157	1,095
Betão Maciço - 20 cm	1,075	1,102	1,063	1,020
Blocos Cerâmicos 1 fiada furos	1,262	1,292	1,244	1,176
Blocos Cerâmicos 2 ou 3 fiadas furos	1,215	1,243	1,200	1,142
Blocos Betão Leve ou Corrente	1,268	1,297	1,250	1,182

Tabela IV.3 - Atraso (horas) - Paredes Interiores Tijolo Furado de 11 cm

Tipo de Laje	s/ revestimento	Tijoleira	Parquet	Alcatifa Fina
Betão Maciço - 10 cm	1,300	1,338	1,282	1,205
Betão Maciço - 15 cm	1,174	1,209	1,159	1,100
Betão Maciço - 20 cm	1,078	1,106	1,070	1,027
Blocos Cerâmicos 1 fiada furos	1,273	1,304	1,254	1,184
Blocos Cerâmicos 2 ou 3 fiadas furos	1,225	1,256	1,210	1,150
Blocos Betão Leve ou Corrente	1,280	1,310	1,261	1,190

Da observação das Tabelas IV.2 e IV.3 verifica-se que os valores do atraso variam relativamente pouco, estando os seus valores compreendidos entre um mínimo de 1,020 e um máximo de 1,338 horas. Pode-se verificar ainda o facto de que se substituir a parede interior de tijolo de 7 cm por uma de 11 cm, o atraso sofre um acréscimo de cerca de 0,010 horas, o que em média representa uma variação de 1%. Este valor não tem significado, pelo que, em termos do atraso da propagação da onda de calor, para a tipologia de espaço de referência que foi considerada é indiferente adoptar uma parede interior de tijolo de 7 cm ou de 11 cm.

Tabela IV.4 - Amplitude - Paredes Interiores Tijolo Furado de 7 cm

Tipo de Laje	s/ revestimento	Tijoleira	Parquet	Alcatifa Fina
Betão Maciço - 10 cm	0,604	0,613	0,618	0,632
Betão Maciço - 15 cm	0,581	0,584	0,594	0,611
Betão Maciço - 20 cm	0,572	0,572	0,583	0,601
Blocos Cerâmicos 1 fiada furos	0,606	0,614	0,619	0,630
Blocos Cerâmicos 2 ou 3 fiadas furos	0,604	0,610	0,615	0,627
Blocos Betão Leve ou Corrente	0,609	0,617	0,622	0,632

Tabela IV.5 - Amplitude - Paredes Interiores Tijolo Furado de 11 cm

Tipo de Laje	s/ revestimento	Tijoleira	Parquet	Alcatifa Fina
Betão Maciço - 10 cm	0,581	0,589	0,594	0,607
Betão Maciço - 15 cm	0,560	0,563	0,594	0,587
Betão Maciço - 20 cm	0,552	0,551	0,561	0,577
Blocos Cerâmicos 1 fiada furos	0,584	0,591	0,596	0,606
Blocos Cerâmicos 2 ou 3 fiadas furos	0,582	0,588	0,593	0,603
Blocos Betão Leve ou Corrente	0,586	0,594	0,598	0,608

Da observação das Tabelas IV.4 e IV.5 verifica-se que os valores da amplitude estão compreendidos entre um mínimo de 0,551 e um máximo de 0,632, valores a que corresponde uma classificação de inércia térmica média ou forte, calculada através do método do RCCTE, como se verá mais adiante. Pode-se verificar ainda o facto de que se substituir a parede interior de tijolo de 7 cm por uma de 11 cm, o que supostamente conduziria a uma inércia mais forte, apenas diminuiu a amplitude em valores que oscilam entre 0,020 a 0,025, o que em média representa uma variação de 3%. Esta diferença, tal como para o caso do atraso, tem um significado relativamente pequeno quando se pretende estabelecer uma tipologia de comportamento. Este fenómeno resulta do facto de a massa das paredes de tijolo de 11 cm ser em média superior em 30 Kg/m² à massa das paredes de tijolo de 7 cm [72], o que para a tipologia de espaço considerada representa também uma diferença na massa útil, tal como definida no RCCTE, de 30 Kg por unidade de área de pavimento.

Do atrás exposto concluiu-se, portanto, que nas construções correntes é praticamente equivalente, em termos de inércia térmica, utilizarem-se paredes interiores de tijolo furado de 7 cm ou de 11 cm, pelo que foi decidido prosseguir o estudo apenas com paredes interiores de 7 cm, uma vez que estas são mais representativas da tipologia construtiva corrente.

Para finalizar a simulação numérica dos espaços típicos atrás identificados, foram simulados ainda compartimentos com a laje revestida a soalho sobre câmara de ar e com alcatifa espessa. A Tabela IV.6 ilustra as combinações realizadas e mostra os valores do atraso e da amplitude.

Os resultados destas simulações são idênticos entre si, o que quer dizer que, em termos de comportamento térmico, é equivalente ter-se um pavimento revestido com alcatifa espessa ou com um soalho sobre câmara de ar. Através da Tabela IV.6 pode-se verificar que o atraso varia entre o valor mínimo de 1,006 e o máximo de 1,173 horas, e a amplitude varia entre o valor mínimo de 0,614 e o máximo de 0,642,

valores que quando comparados com os das Tabelas IV.2 a IV.5, revelam que não houve um aumento significativo da amplitude e do atraso.

Tabela IV.6 - Paredes Interiores Tijolo Furado de 7 cm

Tipo de Laje	Atraso (horas)		Amplitude	
	Soalho	Alcatifa Espessa	Soalho	Alcatifa Espessa
Betão Maciço - 10 cm	1,173	1,160	0,641	0,641
Betão Maciço - 15 cm	1,085	1,069	0,623	0,622
Betão Maciço - 20 cm	1,020	1,006	0,615	0,614
Blocos Cerâmicos 1 fiada furos	1,145	1,135	0,640	0,639
Blocos Cerâmicos 2 ou 3 fiadas furos	1,114	1,106	0,638	0,637
Blocos Betão Leve ou Corrente	1,150	1,140	0,642	0,641

A Figura IV.3 mostra graficamente um conjunto de pontos que ilustra o comportamento térmico da maioria dos edifícios construídos em Portugal segundo a descrição atrás apresentada.

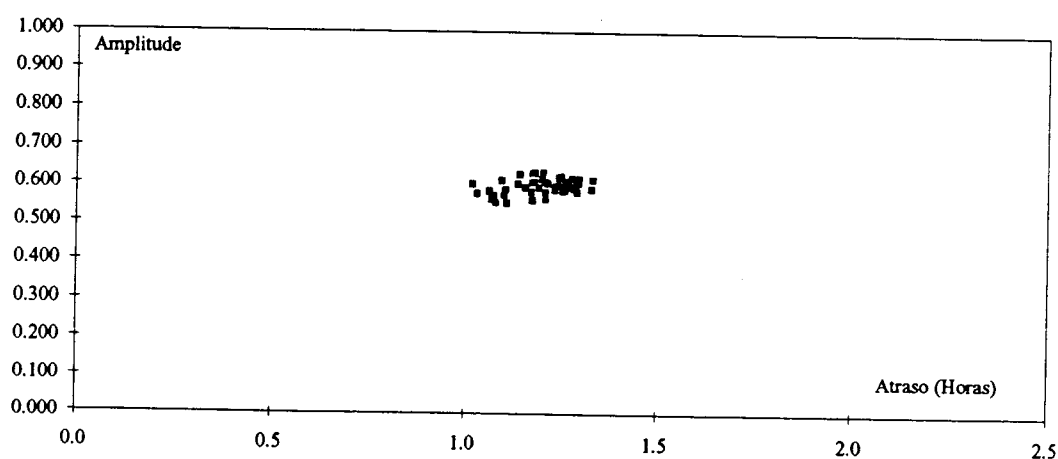


Figura IV.3 - Amplitude e atraso de espaços correntes

Da observação da Figura IV.3 verifica-se que, apesar de se terem considerado diversos tipos de pavimentos revestidos superiormente também de forma diversa, as amplitudes e os atrasos resultantes são semelhantes entre si, ou seja, os espaços correntes têm comportamentos semelhantes na conversão dos ganhos de calor instantâneos em cargas térmicas, concluindo-se, portanto, que eles deverão ser classificados como tendo a mesma tipologia ou, pelo menos, com tipologias semelhantes.

Embora o objectivo principal deste trabalho seja caracterizar as cargas térmicas de arrefecimento em edifícios pesados, ou seja com inércia térmica forte, foi decidido, para que os resultados produzidos tenham uma campo de aplicação mais vasto, alargar o âmbito deste estudo a inércias térmicas mais fracas. Para encontrar compartimentos de inércia térmica mais fraca foram então simulados compartimentos interiormente revestidos com materiais isolantes. A constituição base desses compartimentos é idêntica à dos anteriores em termos de parede exterior, vão envidraçado e paredes interiores, existindo apenas as seguintes diferenças no

pavimento e tecto: Laje de Pavimento - constituída por laje aligeirada com blocos de betão leve com acabamentos superior em soalho sobre câmara de ar e inferior em estuque; Laje de Tecto - constituição igual ao Pavimento.

A descrição dos pormenores que marcam a diferença em relação à constituição base, assim como os valores do atraso e amplitude correspondentes à simulação destes espaços constam da Tabela IV.7 e estão representados graficamente na Figura IV.4.

Tabela IV.7 - Atraso e Amplitude de espaços revestidos com isolante.

Descrição dos Acabamentos	Atraso (h)	Amplitude
Tecto Falso em Madeira sob Câmara de Ar.	1,033	0,675
Pavimento forrado com 3 de Poliestireno Expandido.	1,053	0,658
Pavimento forrado com 6 cm de Poliestireno Expandido.	1,041	0,656
Pavimento e Tecto revestidos com 3 cm de Poliestireno Expandido.	1,049	0,738
Paredes Interiores, Pavimento e Tecto revestidos com 1 cm de Aglomerado Negro de Cortiça.	0,693	0,720
idem com 2 cm.	0,480	0,761
idem com 3 cm.	0,385	0,790
idem com 4 cm.	0,340	0,812
idem com 5 cm.	0,317	0,828
idem com 6 cm.	0,307	0,840
idem com 7 cm.	0,303	0,849
idem com 8 cm.	0,303	0,856
idem com 1 cm de Poliestireno Expandido.	0,651	0,732
idem com 2 cm Poliestireno Expandido.	0,440	0,773
Laje Flutuante em que a camada resiliente é constituída por Aglomerado Negro de Cortiça e coberta por uma camada de betão de 3 cm, revestimento superficial superior Alcatifa Espessa.	1,133	0,638
idem com 2 cm de Poliestireno Expandido.	1,026	0,688
Pavimento e Tecto revestidos com 3 cm de Aglomerado Negro de Cortiça.	0,918	0,728

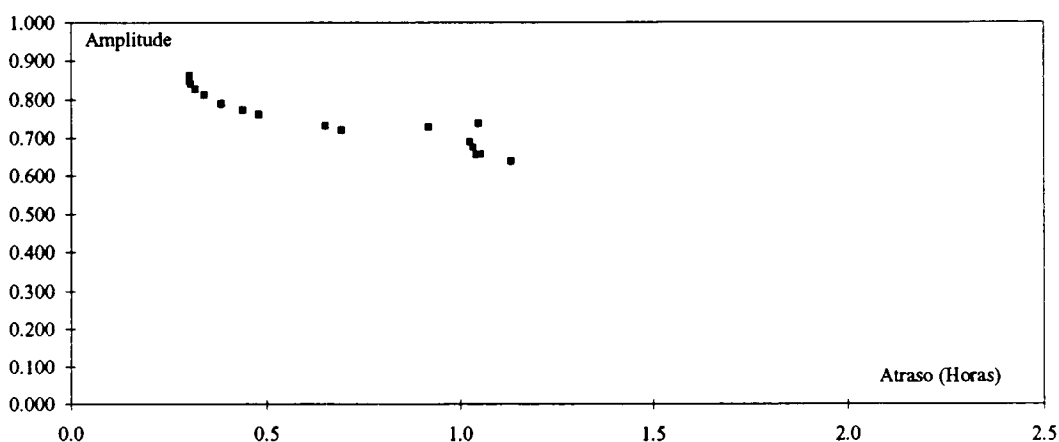


Figura IV.4 - Atraso e amplitude de espaços revestidos interiormente com isolante.

Dentre estes últimos espaços há alguns que não se podem considerar comuns. Aqueles que, pelas suas características, poderão ter maior representatividade são os que constam da Tabela IV.8. Atendendo a que estes espaços têm inércia térmica fraca, aproveitou-se a oportunidade para verificar qual o efeito que se obteria, em termos de

amplitude e atraso, se se substituissem as paredes de tijolo de 7 cm por paredes de tijolo de 11 cm. Os resultados desta experiência constam também da Tabela IV.8, e da sua análise pode-se mais uma vez concluir que é praticamente equivalente, em termos de inércia térmica, utilizarem-se paredes interiores de tijolo furado de 7 ou de 11 cm.

Tabela IV.8 - Atraso e Amplitude de espaços correntes revestidos com isolante.

Descrição dos Acabamentos	Tijolo de 7 cm		Tijolo de 11 cm	
	Atraso	Amplitude	Atraso	Amplitude
Tecto Falso em Madeira sob Câmara de Ar.	1,033	0,675	1,141	0,650
Paredes Interiores, Pavimento e Tecto revestidos com 1 cm de Aglomerado Negro de Cortiça.	0,693	0,720	0,787	0,693
idem com 2 cm.	0,480	0,761	0,536	0,732
Laje Flutuante com camada resiliente de Aglomerado Negro de Cortiça coberta por camada de betão de 3 cm, revestimento superficial superior Alcatifa Espessa.	1,133	0,638	1,242	0,616
idem com 2 cm de Poliestireno Expandido.	1,026	0,688	1,130	0,665
Pavimento e Tecto revestidos com 3 cm de Aglomerado Negro de Cortiça.	0,918	0,728	0,994	0,703

O facto de se terem calculado os atrasos e amplitudes dos outros espaços serve não só para se verificar a sensibilidade do binómio atraso/amplitude aos diferentes revestimentos mas também para ilustrar que se, nos edifícios portugueses, forem utilizados os materiais de construção correntemente usados em Portugal, só se conseguem obter espaços com inércias térmicas reduzidas se os elementos construtivos forem revestidos interiormente com materiais isolantes.

Apresentam-se, na Figura IV.5, as amplitudes e atrasos correspondentes aos espaços até ao momento estudados de modo a poder-se verificar com mais facilidade as diferenças de comportamento que existem entre os edifícios representativos da construção civil portuguesa e aqueles que de algum modo terão uma inércia térmica mais fraca devido ao uso de revestimentos isolantes ou ao uso elementos construtivos sem massa apreciável.

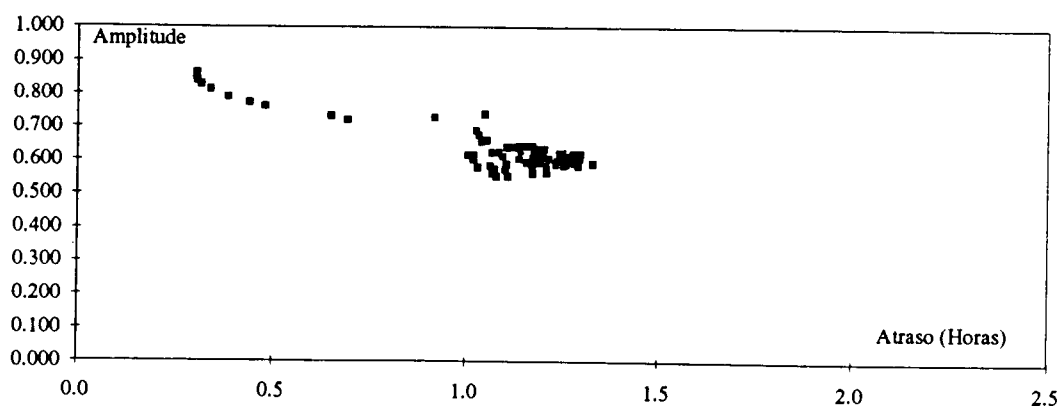


Figura IV.5 - Atraso e amplitude dos espaços definidos no estudo prévio.

De modo a tornar este trabalho ainda mais abrangente, foi decidido completar este estudo prévio com a simulação sistemática de diversas combinações de soluções construtivas. Assim, nas secções seguintes será analisado o comportamento térmico de espaços através da variação de parâmetros que até agora não foram analisados como por exemplo: a volumetria, a dimensão do vão envidraçado na parede exterior, o tipo de tecto e respectivo acabamento e o tipo de parede exterior.

IV.4.2. - Variações Paramétricas dos Espaços

Para proceder ao estudo das combinações dos diversos parâmetros que influenciam o comportamento térmico de um espaço foi considerado um espaço base igual ao já definido no estudo prévio e que consiste num compartimento pertencente a um piso intermédio tipo de um edifício de vários andares. Para proceder a esta análise foram seleccionados os parâmetros que mais influenciam [71 e 73] a resposta térmica de um espaço, ou seja:

1. - Volumetria do espaço
2. - Dimensão do vão envidraçado na parede exterior
3. - Tipo de estrutura horizontal
4. - Acabamento do pavimento
5. - Acabamento do tecto
6. - Tipo de parede exterior

A partir do espaço base foram substituídos sistematicamente os elementos correspondentes aos parâmetros referidos de tal modo que se possa averiguar qual o efeito que produzem na resposta térmica. Foram calculados os factores de ponderação de cada combinação, perfazendo 384 casos diferentes. Se a este número se adicionar o número de casos do estudo prévio (89), obtém-se o número 473, que constitui a totalidade de situações analisadas neste trabalho.

Mais adiante, em IV.8, mostra-se a aplicabilidade dos resultados obtidos a espaços com mais do que um elemento exterior, espaços sobre o solo ou espaços com paredes interiores muito pesadas.

IV.4.2.1. - Volumetria do Espaço

Foram considerados dois volumes: um normal e outro de grandes dimensões, conforme se pode ver na Figura IV.6. Embora as dimensões deste último não sejam muito correntes, a não ser nos escritórios do tipo "open-space", o objectivo que se pretendeu alcançar foi o de enfatizar o efeito da dimensão do espaço.

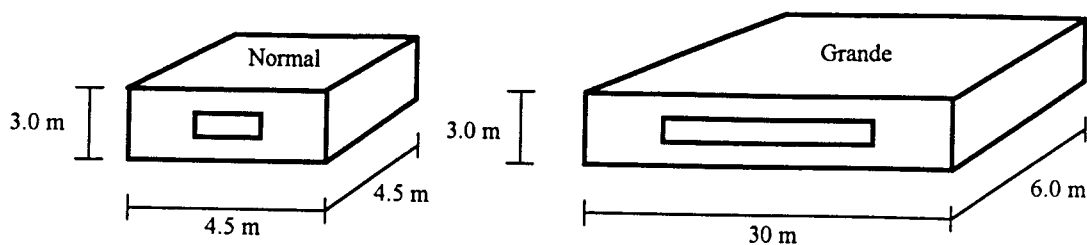


Figura IV.6 - Esquema da volumetria dos espaços simulados

IV.4.2.2. - Dimensão do Vão Envidraçado na Parede Exterior

Foram considerados vãos envidraçados com três tipos de dimensões:

1. - 0% da área da parede exterior ocupada pelo envidraçado
2. - 50% da área da parede exterior ocupada pelo envidraçado
3. - 100% da área da parede exterior ocupada pelo envidraçado

IV.4.2.3. - Tipo de Estrutura Horizontal

Foram considerados três tipos de estruturas horizontais:

1. Laje Maciça de Betão Armado



2. Laje Aligeirada



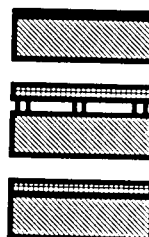
3. Pavimento em Madeira



IV.4.2.4. - Acabamento do pavimento

Foram considerados três tipos de acabamentos do pavimento:

1. Alcatifa fina ou parquet
2. Soalho ou alcatifa espessa
3. Tijoleira



No caso dos pavimentos de madeira só foram consideradas duas hipóteses de acabamento: a existência ou não de alcatifa.

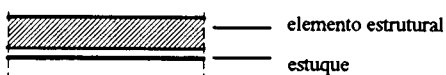
IV.4.2.5. - Acabamento do Tecto

Nos tectos em que o elemento estrutural é constituído por laje maciça ou aligeirada foram considerados dois tipos de acabamentos:

1. Com tecto falso suspenso



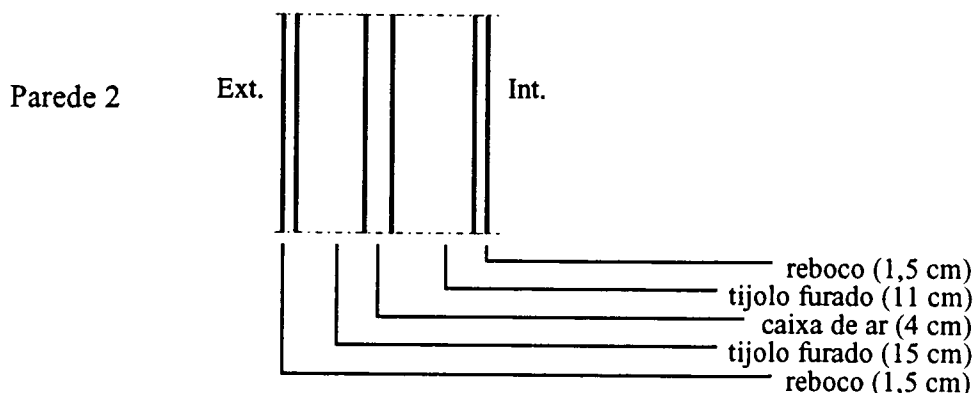
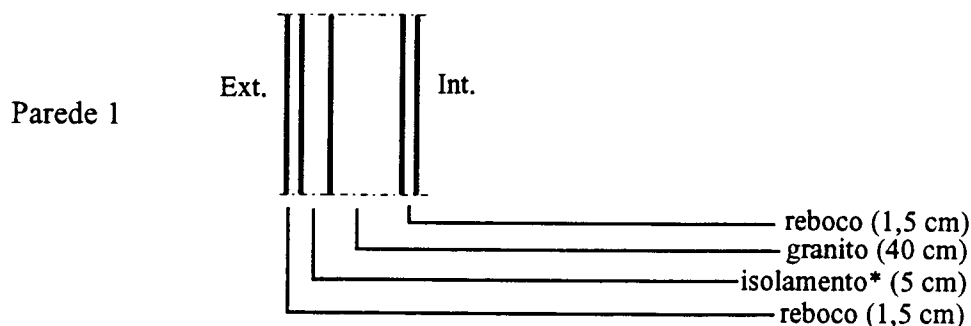
2. Sem tecto falso



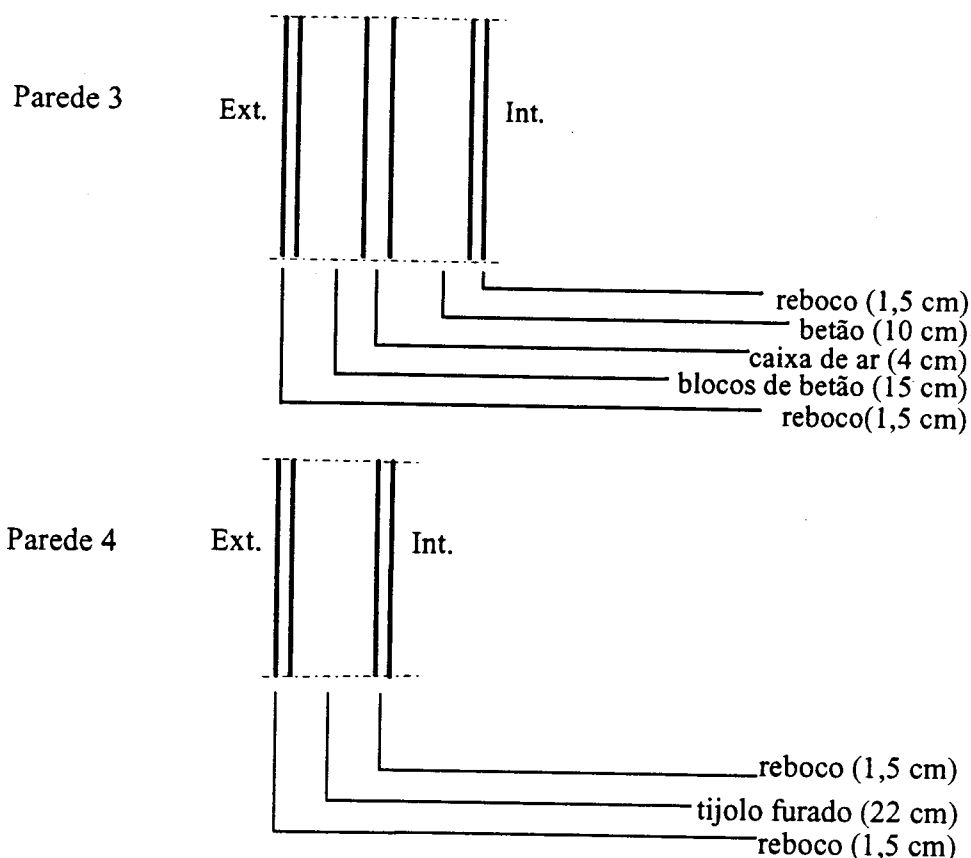
Nos tectos em que o elemento estrutural é constituído por madeira foram também considerados dois tipos de acabamentos: 1) com tecto falso suspenso idêntico ao caso anterior; 2) sem tecto falso mas neste caso deixando-se o elemento estrutural sem qualquer revestimento.

IV.4.2.6. - Tipo de parede exterior

Foram considerados quatro tipos de paredes exteriores:



* - de acordo com o estudo de sensibilidade efectuado, o comportamento de um espaço que possui uma parede de granito isolada exteriormente é equivalente ao de um espaço que possui uma parede de granito não isolada



IV.5. - Classificação de Espaços Baseada na Amplitude e Atraso

Cada espaço, definido como uma combinação dos parâmetros atrás descritos, tem uma resposta que, na generalidade, difere de caso para caso, muito embora possa haver muitos espaços com respostas praticamente idênticas. Nas Figuras IV.7, IV.8 e IV.9 mostram-se os resultados da simulação da totalidade dos espaços estudados através de conjuntos de pontos, definidos pelo atraso e pela amplitude, para cada tipo de ganho de calor. Como se pode verificar pela observação destas figuras, existem algumas diferenças na ordem de grandeza quer da amplitude quer do atraso em relação aos diferentes tipos de ganhos, especialmente em relação aos ganhos de calor da radiação solar quando comparados com os restantes. No entanto, pode-se também verificar que há uma correspondência na distribuição dos pontos no plano xy para os três tipos de ganhos de calor. Essa correspondência pode-se observar, por exemplo, para um espaço que seja caracterizado por uma grande amplitude e um pequeno atraso em relação aos ganhos de calor pela envolvente, verificando-se que ele também é caracterizado por uma grande amplitude e um pequeno atraso em termos dos ganhos de calor de iluminação, ocupantes e equipamentos, bem como da radiação solar, e vice-versa.

De modo a evitar ter que calcular um conjunto individual de ΔT_e , CLF_{ocup} e CLF_{rad} para cada espaço, é desejável identificar os espaços que têm respostas térmicas idênticas e agrupá-los num reduzido número de espaços-tipo. A existência da correspondência entre as diferentes fontes de calor mostra que cada espaço deve ser

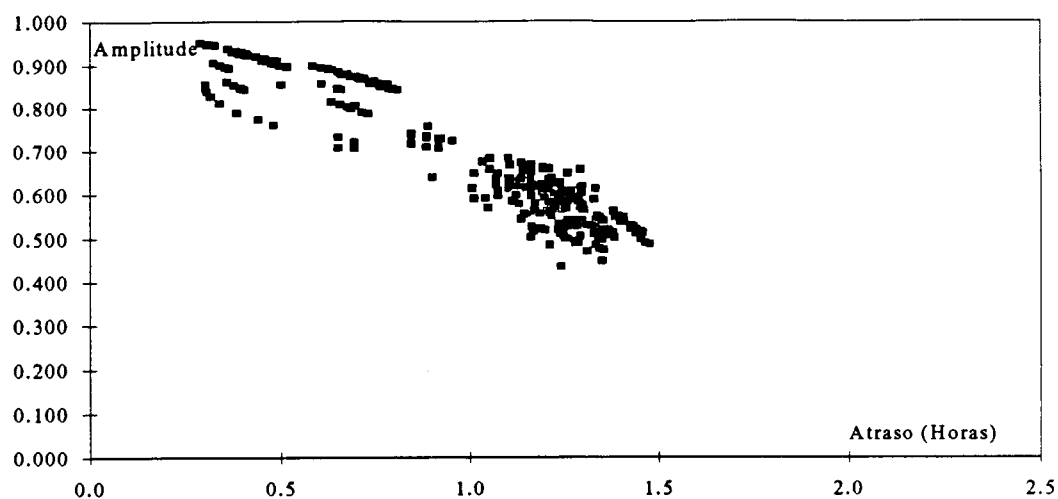


Figura IV.7 - Comportamento dos espaços simulados (condução)

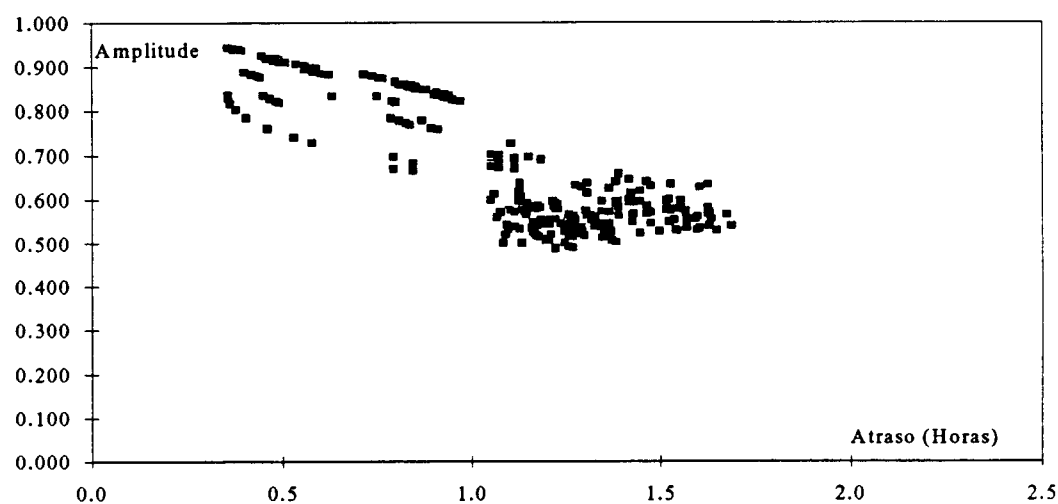


Figura IV.8 - Comportamento dos espaços simulados (ilum., ocup. e equip.)

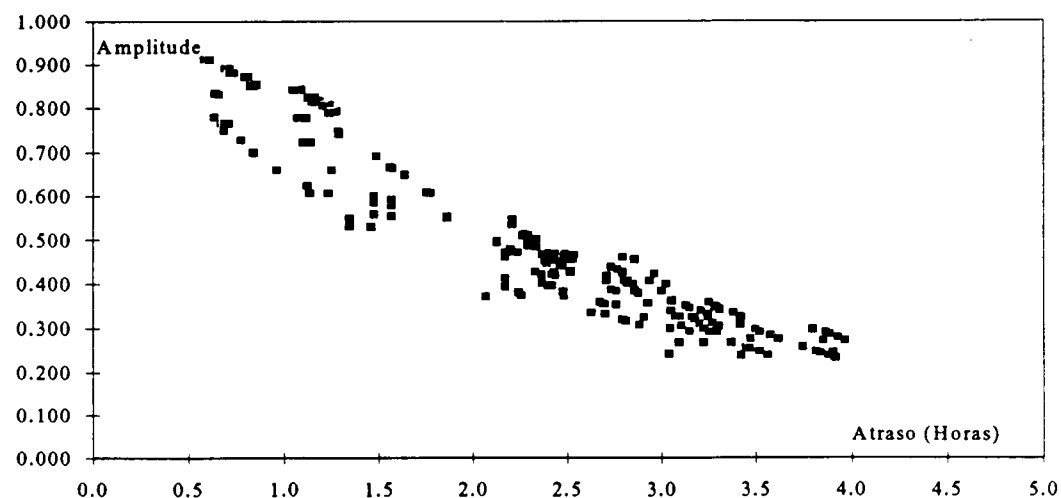


Figura IV.9 - Comportamento dos espaços simulados (radiação solar)

classificado independentemente do tipo de ganho de calor, ou seja, devem ser identificados conjuntos de pontos homólogos de tal modo que um determinado espaço não possa ter uma classificação para um tipo de ganho de calor e outra classificação diferente para outro tipo de ganho de calor.

Os espaços representados por pontos que se encontrem próximos uns dos outros têm comportamentos semelhantes entre si em termos de carga térmica, uma vez que a excitação "ganho de calor instantâneo" utilizada para cada fonte de calor é igual em todos os espaços. Isto sugere que pontos suficientemente próximos podem ser agrupados e representados por um único ponto do grupo. O erro que assim se comete no cálculo da carga térmica de um espaço será proporcional à distância que o separa do ponto "médio" representativo do grupo. Tem-se, portanto, um erro associado à amplitude e outro ao atraso.

Tendo-se verificado, no decorrer deste estudo, que existe uma correspondência entre a amplitude e a inércia térmica, estando associadas menores amplitudes a inércias maiores, foi feito o agrupamento dos espaços de tal forma que, em simultâneo, fosse minimizado o erro associado a cada grupo, e que, por outro lado, este agrupamento fosse compatível com as três classes de inércia correntemente admitidas para classificação dos edifícios.

Como o objectivo deste trabalho é a determinação de novos valores de ΔT_e e CLF que permitam aumentar o rigor do cálculo de cargas térmicas dos edifícios portugueses, o valor do erro associado a cada grupo não deverá ser superior aos valores internacionalmente considerados razoáveis para este efeito [68], ou seja, deverão ser inferiores a +/-10% para a amplitude e +/-0,5 horas para o atraso.

De forma a compatibilizar o agrupamento aqui proposto com as classes de inércia definidas no RCCTE (Inércia Fraca, Média e Forte) a margem de erro admitida foi pontualmente excedida em 1% no caso dos ganhos de condução e no caso dos ganhos de iluminação, ocupantes e equipamentos, como se pode verificar nas Tabelas IV.9 a IV.10, onde estão identificados, para cada tipo de ganho de calor, os valores limites e médios de cada grupo, bem como os erros cometidos em cada agrupamento.

Atendendo a que existe uma maior dispersão das respostas dos espaços em relação aos ganhos de calor provenientes da radiação solar do que em relação aos restantes ganhos de calor, para se poder cumprir a meta de o erro de cada grupo ser inferior a 10% para a amplitude e 0,5 horas para o atraso, foi necessário criar seis grupos. Na Tabela IV.12 estão identificados, para este ganho de calor, os valores limites e médios de cada grupo, bem como os erros cometidos em cada agrupamento.

Nas Figuras IV.10 e IV.11 encontram-se representados graficamente os 3 grupos no caso dos ganhos de calor por condução através da envolvente e dos ganhos de calor da iluminação, ocupantes e equipamentos, podendo-se verificar que a dispersão dos pontos é relativamente reduzida.

Na Figura IV.12 encontram-se representados graficamente os 6 grupos para o caso dos ganhos de calor provenientes da radiação solar, podendo-se verificar que se encontram representados, a traço interrompido, os limites dos grupos correspondentes às inércias Fraca, Média e Forte.

Tabela IV.9 - Condução

Inércia	Limites do grupo	Amplitude	Atraso	Erro (%) Ampl.	Erro (h) Atraso
FRACA	Máximo	0,92	0,89	+/-10	+/-0,30
	Médio	0,83	0,59		
	Mínimo	0,73	0,29		
MEDIA	Máximo	0,73	1,34	+/-11	+/-0,34
	Médio	0,65	0,99		
	Mínimo	0,57	0,65		
FORTE	Máximo	0,57	1,48	+/-10	+/-0,23
	Médio	0,51	1,25		
	Mínimo	0,46	1,03		

Tabela IV.10 - Iluminação, Ocupantes e Equipamentos

Inércia	Limites do grupo	Amplitude	Atraso	Erro (%) Ampl.	Erro (h) Atraso
FRACA	Máximo	0,94	1,10	+/-11	+/-0,37
	Médio	0,83	0,73		
	Mínimo	0,73	0,36		
MEDIA	Máximo	0,73	1,62	+/-10	+/-0,41
	Médio	0,65	1,21		
	Mínimo	0,58	0,79		
FORTE	Máximo	0,58	1,69	+/-8	+/-0,32
	Médio	0,53	1,37		
	Mínimo	0,49	1,06		

Tabela IV.11 - Radiação solar

Inércia	Limites do grupo	Amplitude	Atraso	Erro (%) Ampl.	Erro (h) Atraso
Grupo 1 FRACA	Máximo	0,90	1,48	+/-10	+/-0,50
	Médio	0,82	0,98		
	Mínimo	0,74	0,48		
Grupo 2 FRACA	Máximo	0,74	1,77	+/-10	+/-0,50
	Médio	0,67	1,27		
	Mínimo	0,60	0,77		
Grupo 3 MEDIA	Máximo	0,60	2,35	+/-11	+/-0,50
	Médio	0,53	1,85		
	Mínimo	0,47	1,35		
Grupo 4 MEDIA	Máximo	0,47	3,02	+/-11	+/-0,50
	Médio	0,42	2,51		
	Mínimo	0,37	2,02		
Grupo 5 FORTE	Máximo	0,37	3,63	+/-10	+/-0,50
	Médio	0,33	3,13		
	Mínimo	0,30	2,63		
Grupo 6 FORTE	Máximo	0,30	3,96	+/-10	+/-0,50
	Médio	0,27	3,46		
	Mínimo	0,24	2,96		

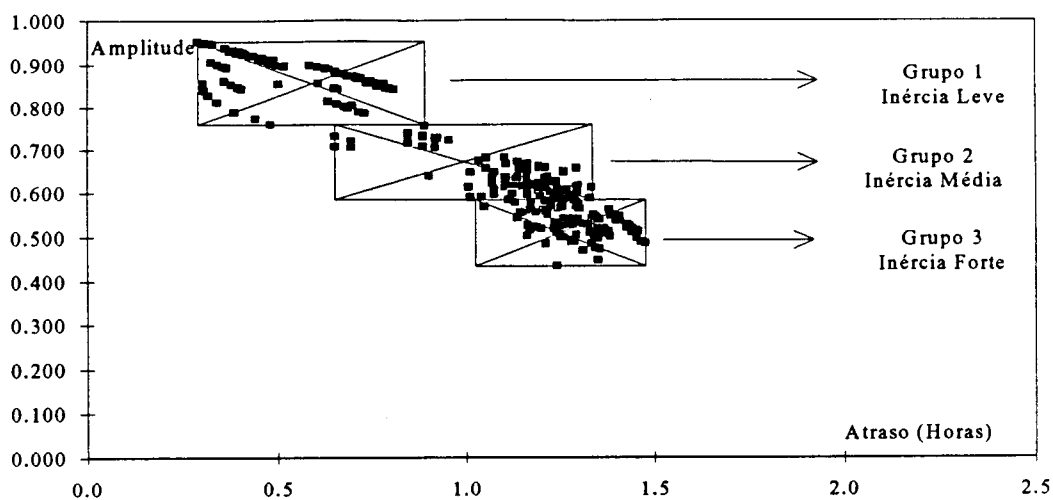


Figura IV.10 - Agrupamento dos espaços simulados (condução)

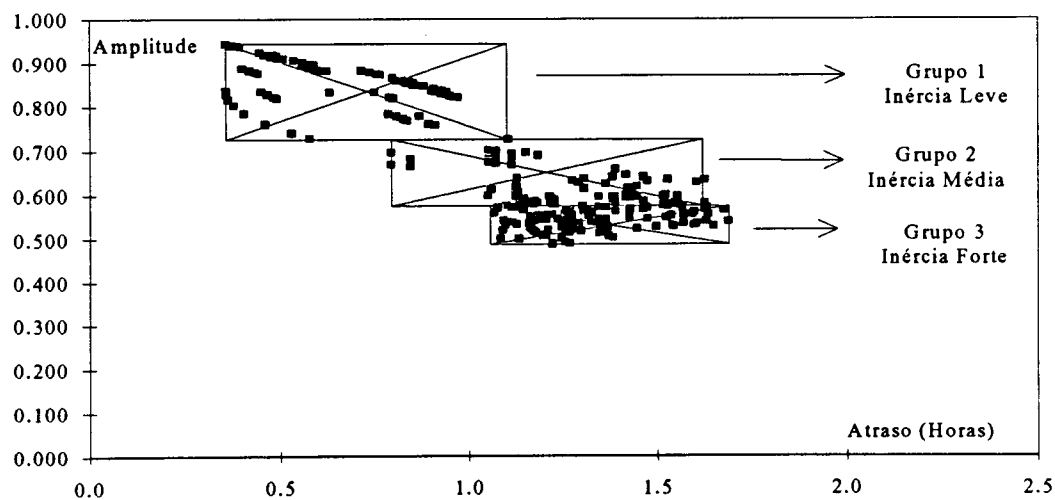


Figura IV.11 - Agrupamento dos espaços simulados (ilum., ocup. e equip.)

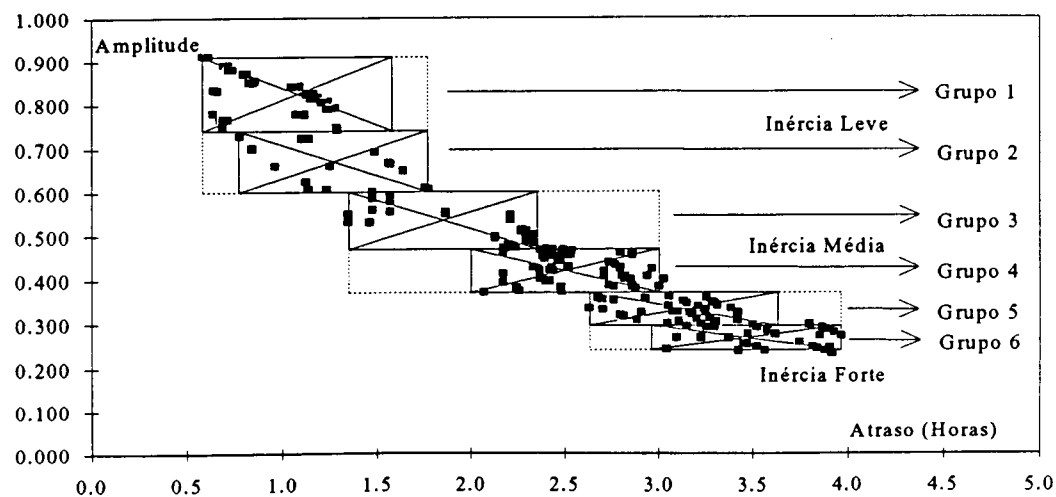


Figura IV.12 - Agrupamento dos espaços simulados (radiação solar)

Analisando a Tabela IV.9 verifica-se que para os ganhos de calor por condução os erros associados ao valor médio de cada grupo variam entre $\pm 10\%$ e $\pm 11\%$, para a amplitude, e $\pm 0,23$ h e $\pm 0,34$ h, para o atraso. Estes valores dos erros são bastante reduzidos e, portanto, os pontos médios de cada grupo representam com precisão suficiente o comportamento térmico dos espaços pertencentes a cada agrupamento em relação aos referidos ganhos de calor.

Na Tabela IV.10 verifica-se que para os ganhos de calor da iluminação, ocupantes e equipamentos os erros associados ao valor médio de cada grupo variam entre $\pm 8\%$ e $\pm 11\%$, para a amplitude, e $\pm 0,32$ h e $\pm 0,37$ h, para o atraso. Tal como no caso anterior estes valores dos erros são bastante reduzidos e, portanto, os pontos médios de cada grupo representam com precisão suficiente o comportamento térmico dos espaços pertencentes a cada agrupamento.

Em relação aos ganhos de calor resultantes da incidência da radiação solar nas superfícies interiores do espaço (Tabela IV.11) verifica-se que, adoptando-se os seis grupos propostos, os erros associados ao valor médio de cada grupo são da mesma ordem de grandeza que nos casos anteriores, variando entre $\pm 10\%$ e $\pm 11\%$, para a amplitude. Os limites de cada grupo em relação ao atraso foram escolhidos de forma a incluir todos os pontos sem, contudo, se exceder o erro de $\pm 0,50$ horas. Assim como nos casos anteriores, estes valores dos erros são bastante reduzidos e, portanto, os pontos médios de cada grupo representam com precisão suficiente o comportamento térmico dos espaços pertencentes a cada agrupamento.

A título informativo refere-se que no caso dos ganhos provenientes da radiação solar, se se tivesse querido manter a compatibilidade com as classes de inércia definidas no RCCTE e, portanto, manter a classificação dos espaços em 3 grupos, os erros associados ao valor médio de cada grupo seriam da ordem dos 20%, variando entre $\pm 20\%$ e $\pm 24\%$, para a amplitude. Para o atraso aumentaria a magnitude do erro, variando entre $\pm 0,64$ h e $\pm 0,84$ h.

Esta maior magnitude dos erros no agrupamento dos espaços teria como consequência, no cálculo das cargas térmicas de arrefecimento de um espaço, uma imprecisão de mais ou menos 1 a 1,6 horas na determinação da hora de ocorrência da carga térmica máxima, o que não é aceitável, atendendo a que os ganhos de calor resultantes da incidência da radiação solar constituem normalmente a componente mais importante da carga térmica de um edifício.

Por fim refira-se que, se em vez de se adoptarem os valores médios aqui prescritos para a conversão da radiação solar em carga térmica do espaço, for contabilizada toda a radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, estar-se-ão a cometer erros que podem variar entre $+ 10\%$ e $+ 65\%$, resultando sempre uma majoração excessiva das cargas térmicas que terá como consequência um acréscimo desnecessário da potência instalada.

IV.6. - Análise de Resultados

Conforme já referido, para este estudo foram seleccionados os parâmetros que têm maior influência no comportamento térmico dos espaços podendo-se proceder agora à valorização qualitativa da sua importância relativa.

Apresenta-se, exemplificativamente para o caso dos ganhos de calor de condução e para os ganhos de calor de iluminação, ocupantes e equipamentos, nas Tabelas IV.12 a IV.14 a classificação atribuída a cada espaço. No caso dos ganhos provenientes da radiação solar obter-se-iam as mesmas conclusões, apenas com a diferença de existirem 6 grupos, em vez de 3.

Tabela IV.12 - Espaços com Pavimento em Laje de Betão Maciço

	Tipo de Parede	Alcatifa				Soalho				Tijoleira			
		C/ Tecto Falso		S/ Tecto Falso		C/ Tecto Falso		S/ Tecto Falso		C/ Tecto Falso		S/ Tecto Falso	
		N	G	N	G	N	G	N	G	N	G	N	G
0	P1	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3
0	P2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
0	P3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3
0	P4	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
50	P1	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
50	P2	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2
50	P3	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2
50	P4	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2
100	P1	2	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2
100	P2	2	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2
100	P3	2	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2
100	P4	2	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2

Tabela IV.13 - Espaços com Pavimento em Laje Aligeirada

	Tipo de Parede	Alcatifa				Soalho				Tijoleira			
		C/ Tecto Falso		S/ Tecto Falso		C/ Tecto Falso		S/ Tecto Falso		C/ Tecto Falso		S/ Tecto Falso	
		N	G	N	G	N	G	N	G	N	G	N	G
0	P1	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
0	P2	2	1	3	2	2	1	3	2	3	2	3	2
0	P3	2	1	3	2	2	1	3	2	3	2	3	2
0	P4	2	1	3	2	2	1	3	2	3	2	3	2
50	P1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
50	P2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
50	P3	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
50	P4	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
100	P1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
100	P2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
100	P3	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
100	P4	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1

Tabela IV.14 - Espaços com Pavimento em Madeira

Vidro (%)	Tipo de Parede	Alcatifa				S/ Alcatifa			
		C/ Tecto Falso		S/ Tecto Falso		C/ Tecto Falso		S/ Tecto Falso	
		N	G	N	G	N	G	N	G
0	P1	3	1	3	1	3	1	3	1
0	P2	2	1	2	1	2	1	2	1
0	P3	2	1	2	1	2	1	2	1
0	P4	2	1	2	1	2	1	2	1
50	P1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	P2	1	1	1	1	1	1	1	1
50	P3	1	1	1	1	1	1	1	1
50	P4	1	1	1	1	1	1	1	1
100	P1	1	1	1	1	1	1	1	1
100	P2	1	1	1	1	1	1	1	1
100	P3	1	1	1	1	1	1	1	1
100	P4	1	1	1	1	1	1	1	1

Assim, da análise global da classificação atribuída conclui-se de imediato que o parâmetro que mais afecta o comportamento térmico de um espaço é a sua dimensão, estando associadas maiores amplitudes a espaços maiores, ou seja, a espaços com inércias térmicas mais fracas. Nas Tabelas IV.12 a IV.14, os espaços de maior dimensão encontram-se referenciados pela letra G, enquanto que os de menor dimensão estão referenciados pela letra N. Este fenómeno acontece porque foi alterada a proporção entre a massa e o volume, isto é, no caso dos espaços de maiores dimensões existe menos quantidade de massa relativamente ao volume e, portanto, os elementos construtivos, como o pavimento, o tecto e as paredes, têm relativamente menor capacidade para armazenar o calor do que no caso de espaços mais pequenos.

Em segundo plano, em termos de influência no comportamento, está o tipo de estrutura horizontal e o respectivo acabamento superior e inferior.

Por último, as dimensões do vão envidraçado e o tipo de parede exterior são os parâmetros que menor influência têm quando comparados com os outros.

Analisando os resultados relativos aos espaços com pavimento em laje de betão maciço, Tabela IV.12, verifica-se que os efeitos da variação dos restantes parâmetros são idênticos ao esperado. Assim, em relação ao acabamento do pavimento, verifica-se que a alcatifa fina ou parquet e o soalho ou alcatifa espessa têm comportamentos semelhantes, e conduzem a amplitudes maiores (inércias térmicas menores) do que o revestimento a tijoleira. Em relação ao acabamento do tecto, verifica-se que a existência de tecto falso acarreta a diminuição da massa útil do tecto, o que se traduz por um aumento da amplitude. O mesmo acontece com o aumento da área de envidraçados na parede exterior, a que corresponde uma diminuição da massa total da parede e, consequentemente da massa útil, o que se traduz por um aumento da amplitude.

Por último, em relação ao tipo de parede exterior, a massa é decrescente pela seguinte ordem:

- 1 - Parede de granito de 40 cm com ou sem isolante (5 cm colocado pelo exterior);

- 3 - Parede dupla de 10 cm de betão e blocos de betão de 15 cm;
- 2 - Parede dupla de tijolo furado 11 + 15 cm;
- 4 - Parede simples de tijolo furado de 22 cm,

Embora a massa da parede exterior tenha menos influência que os outros parâmetros, a sua diminuição também conduz ao aumento da amplitude e à consequente diminuição da inércia térmica.

A análise dos resultados relativos aos espaços com pavimento em laje aligeirada, Tabela IV.13, conduz basicamente às mesmas conclusões que as tiradas para os espaços com pavimento em laje de betão maciço. As diferentes classificações atribuídas resultam unicamente da diferença de massas e conductibilidades térmicas dos materiais constituintes dos dois tipos de elementos horizontais.

Os resultados relativos aos espaços com pavimento em madeira, Tabela IV.14, são na sua maioria classificados como pertencendo ao grupo 1, Inércia Leve, embora se verifique que alguns deles estejam incluídos nos grupos 2 e 3. Apesar destes espaços possuírem o pavimento em madeira, ou seja, um tipo de pavimento que não contribui para o armazenamento de calor no interior do espaço, eles podem ter inércia térmica média ou até mesmo forte, uma vez que a massa pode estar contida noutros elementos construtivos.

No caso presente, como as paredes interiores são de tijolo revestidas com reboco e as paredes exteriores são ou de pedra, ou de tijolo ou de betão, também revestidas com reboco, resultam assim espaços ainda com alguma capacidade de armazenamento térmico, explicando deste modo a inércia térmica ser média ou forte, sobretudo em espaços de pequena dimensão.

Esta situação é semelhante à que ocorre nos tradicionais edifícios mediterrânicos, construídos com paredes resistentes de elevada espessura, normalmente em pedra, com pavimentos e tectos em madeira e divisórias interiores também em madeira ou tabique. Nestes tipos de construções, como o pavimento praticamente não tem massa, são os restantes elementos que contribuem de forma relevante para a inércia térmica.

No caso presente, verifica-se que é equivalente ter-se o pavimento de madeira recoberto com alcatifa ou não, assim como é equivalente adoptar-se ou não um tecto falso suspenso. A equivalência destes parâmetros no comportamento térmico dos espaços era esperada uma vez que tanto a madeira como a alcatifa e o tecto falso são elementos isolantes e, portanto, sem capacidade para armazenar calor. Em relação ao volume, ao tipo de parede exterior e à percentagem de área da parede exterior ocupada pelo envidraçado, os efeitos da variação destes parâmetros nos espaços com pavimento em madeira são idênticos aos dos espaços com pavimento em laje de betão maciço ou aligeirada.

IV.7. - Proposta de Novos Valores de CLTD/CLF

Conforme já foi referido, verificou-se que existe uma relação entre a amplitude e a massa superficial útil existente dentro do espaço (M_u - tal como é definida no RCCTE), a qual, por sua vez, define a inércia térmica [2]. Assim, tendo como

objectivo uma caracterização da resposta térmica dos espaços baseada na inércia térmica, foram considerados os espaços com dimensões e elementos construtivos correntes e foi analisada a relação entre a massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento e a amplitude do espaço.

Os novos valores de CLTD/CLF e de ΔT_e que a seguir se irão apresentar têm por base a relação existente entre a amplitude e a massa superficial útil. Assim, na secção IV.7.1. apresenta-se a relação entre a amplitude e a inércia térmica; na secção IV.7.2., apresentam-se os factores de ponderação em função da classificação da inércia dos espaços; em IV.7.3., apresentam-se os novos valores de CLTD/CLF adequados às diferentes classes de inércia; em IV.7.4., apresentam-se os valores propostos de ΔT_e para possível adopção pelo RCCTE e, por último, em IV.7.5., apresentam-se os factores de ponderação em função da massa superficial útil existente dentro do espaço.

IV.7.1. - Relação entre a Amplitude e a Inércia Térmica

Nas Figuras IV.13 a IV.15 pode-se observar que a relação entre a massa superficial útil e a amplitude não é exactamente linear. No entanto, essa relação poderá ser linearizada, sem erros significativos, se forem considerados vários conjuntos de pontos para os quais a relação for aproximadamente linear. Atendendo-se a que a dependência da amplitude com a massa superficial útil vai diminuindo à medida que a massa aumenta, foram tentadas diversas regressões lineares variando-se para tal os limites dos conjuntos de pontos considerados de modo minimizar os erros associados à correlação estabelecida para cada conjunto. Das diversas tentativas efectuadas as que obtiveram melhores resultados foram aquelas que estabeleciam, como limites dos conjuntos de pontos, valores da massa superficial útil entre 140 e 175 Kg/m² e entre 380 e 450 Kg/m². Face ao exposto e de modo a compatibilizar os valores aqui apresentados com a classificação de inércia que consta do RCCTE [2], para se estabelecer a correlação entre a amplitude e a massa distinguiram-se os espaços consoante eles têm $M_u < 150 \text{ Kg/m}^2$, $150 \text{ Kg/m}^2 \leq M_u < 400 \text{ Kg/m}^2$ e $400 \text{ Kg/m}^2 \leq M_u$.

Da regressão linear entre a amplitude de cada fonte de calor e a massa superficial útil por metro quadrado de área útil de pavimento, para os conjuntos de pontos relativos às inércias térmicas Leve, Média e Forte, obtiveram-se as equações IV.14 a IV.16, respectivamente para os ganhos de calor por condução, da iluminação, ocupantes e equipamentos e radiação solar. Através destas relações encontradas entre a amplitude e a massa útil é possível obter resposta para duas questões importantes relativas ao comportamento térmico dos espaços:

- 1) Quais os factores de resposta que caracterizam um dado espaço?
- 2) Se a massa útil de um dado espaço for alterada, como por exemplo em consequência da substituição do revestimento de algum ou de alguns dos elementos construtivos, qual será o seu comportamento térmico, ou seja, quais serão os factores de resposta térmica do espaço.

As respostas a estas questões obtêm-se através do cálculo da amplitude média esperada para o espaço, recorrendo-se para tanto às equações IV.14 a IV.16. Nas secções seguintes far-se-á a exemplificação da aplicação deste conceito aos diferentes casos.

$$\text{Amp. Cond.} = \begin{cases} -0,001646 \times M_u + 0,976902, & \text{se } M_u < 150 \text{ Kg/m}^2 \\ -0,000789 \times M_u + 0,859922, & \text{se } 150 \text{ Kg/m}^2 \leq M_u < 400 \text{ Kg/m}^2 \\ -0,000191 \times M_u + 0,632066, & \text{se } 400 \text{ Kg/m}^2 \leq M_u \end{cases} \quad (\text{IV.14})$$

$$\begin{matrix} \text{Amp.} \\ \text{Illum.} \\ \text{Ocup.} \\ \text{Equip.} \end{matrix} = \begin{cases} -0,001850 \times M_u + 0,970100, & \text{se } M_u < 150 \text{ Kg/m}^2 \\ -0,000551 \times M_u + 0,781345, & \text{se } 150 \text{ Kg/m}^2 \leq M_u < 400 \text{ Kg/m}^2 \\ -0,000180 \times M_u + 0,641094, & \text{se } 400 \text{ Kg/m}^2 \leq M_u \end{cases} \quad (\text{IV.15})$$

$$\begin{matrix} \text{Amp.} \\ \text{Rad.} \\ \text{Sol.} \end{matrix} = \begin{cases} -0,002445 \times M_u + 0,955363, & \text{se } M_u < 150 \text{ Kg/m}^2 \\ -0,001021 \times M_u + 0,743484, & \text{se } 150 \text{ Kg/m}^2 \leq M_u < 400 \text{ Kg/m}^2 \\ -0,000246 \times M_u + 0,435617, & \text{se } 400 \text{ Kg/m}^2 \leq M_u \end{cases} \quad (\text{IV.16})$$

Os erros médios e máximos associados aos valores obtidos por regressão linear são relativamente reduzidos, podendo-se visualizar através das Figuras IV.13 a IV.15 onde, além das rectas de regressão, estão também representados, em função da massa superficial útil, os valores da amplitude obtidos anteriormente. Na Tabela IV.15 encontram-se discriminados, para cada classe de inércia e para cada fonte de calor, os valores dos referidos erros.

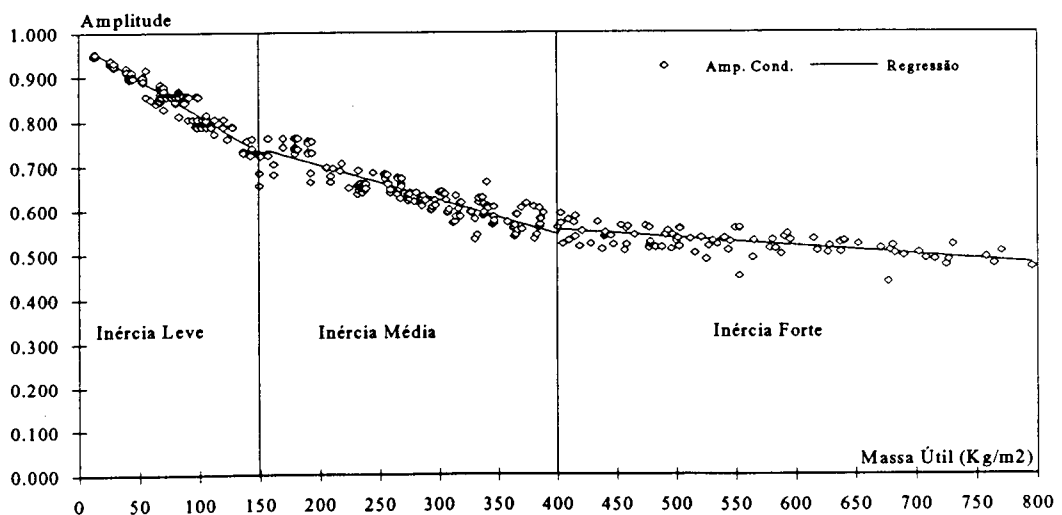


Figura IV.13 - Regressão linear entre a amplitude e a massa útil (condução)

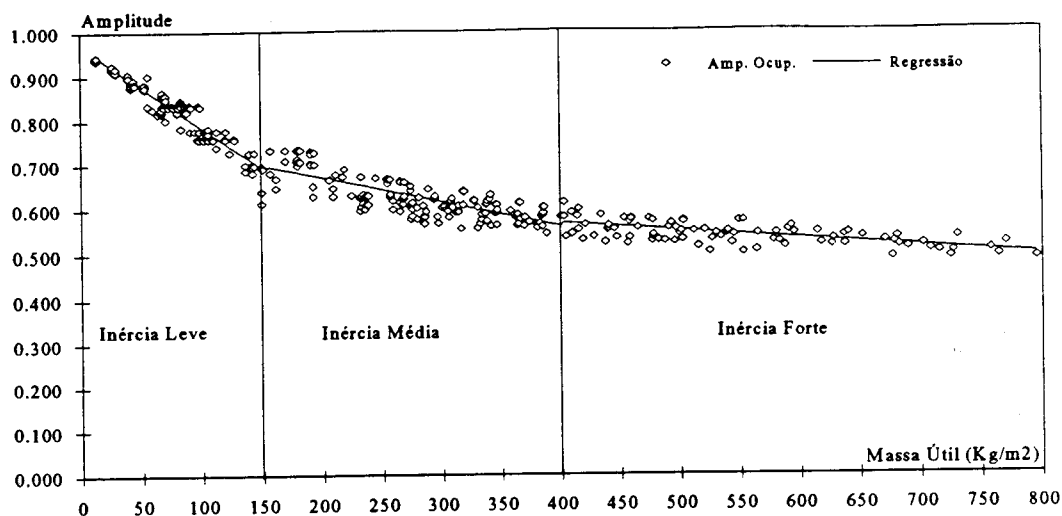


Figura IV.14 - Regressão linear entre a amplitude e a massa útil (ilum., ocup. e equip)

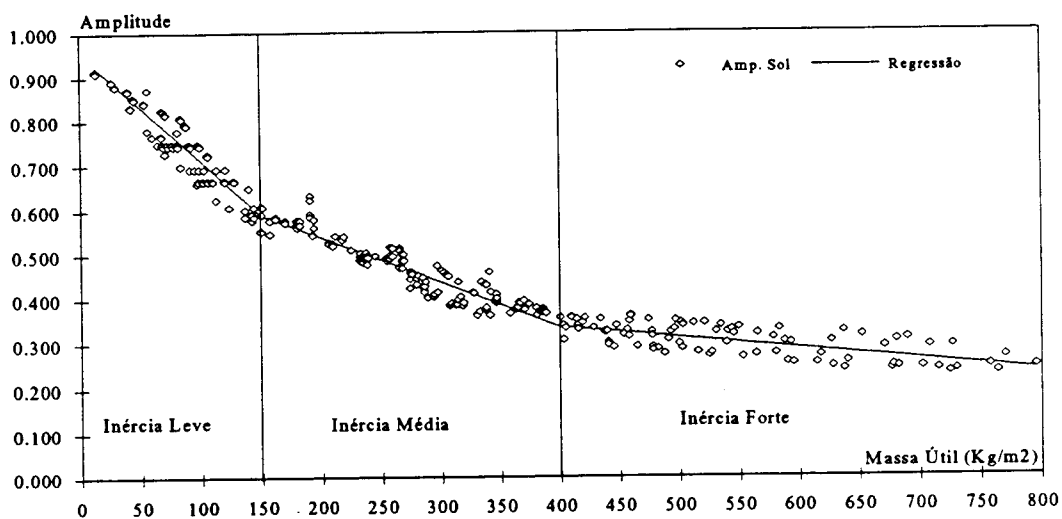


Figura IV.15 - Regressão linear entre a amplitude e a massa útil (radiação solar)

Tabela IV.15 - Erro médios e máximos resultantes da regressão linear.

Classe de Inércia	Condução		Ilum., Ocup. e Equip.		Radiação Solar	
	Erro Méd	Erro Máx	Erro Méd	Erro Máx	Erro Méd.	Erro Máx.
Leve	1%	7%	2%	9%	2%	8%
					3%	9%
Média	3%	8%	4%	10%	3%	10%
					4%	11%
Forte	3%	9%	3%	9%	5%	9%
					7%	10%

IV.7.2. - Factores de Ponderação para cada Classe de Inércia

Admitindo-se que cada classe de inércia é caracterizada pelo valor médio da massa superficial útil da classe, ou seja, que a inércia térmica leve equivale um valor de M_{11} igual a 75 Kg/m², a inércia média 275 Kg/m² e a inércia forte 600 Kg/m², através das equações das rectas de regressão atrás obtidas, otêm-se os correspondentes valores esperados da amplitude para cada classe de inércia. Tendo-se em atenção o que foi referido em IV.5, em relação aos ganhos da radiação solar, os valores da massa a adoptar serão: Inércia Leve 37,5 e 112,5 Kg/m²; Inércia Média 212,5 e 337,5 Kg/m² e Inércia Forte 500 e 700 Kg/m². Os valores da amplitude para cada classe de inércia e para os diversos tipos de ganhos são os que constam da Tabela IV.16.

Em relação ao atraso, o seu valor aumenta com o aumento da massa superficial útil. No entanto, existe uma relativa dispersão dos valores do atraso, como se pode ver nas Figuras IV.10 a IV.12. Nas Tabelas IV.9 a IV.11 encontram-se os valores do atraso correspondentes às classes de inércia definidas para os diferentes ganhos de calor.

Apresentam-se na Tabela IV.16 os valores da amplitude e do atraso típicos de cada classe de inércia térmica.

Tabela IV.16 - Amplitude e Atraso típicos de cada classe de inércia térmica

Inércia Térmica	M_{11} (Kg/m ²)	Amplitude Condução	Amplitude Ilu., Ocup. e Equip.	M_{11} (Kg/m ²)	Amplitude Radiação Solar
Leve	75	0,853	0,831	37,5	0,864
				112,5	0,680
Média	275	0,643	0,630	212,5	0,527
				337,5	0,399
Forte	600	0,518	0,533	500	0,312
				700	0,263

Inércia Térmica	M_{11} (Kg/m ²)	Atraso (h) Condução	Atraso (h) Ilu., Ocup. e Equip.	M_{11} (Kg/m ²)	Atraso (h) Radiação Solar
Leve	75	0,59	0,73	37,5	0,98
				112,5	1,27
Média	275	0,99	1,21	212,5	1,85
				337,5	2,51
Forte	600	1,25	1,37	500	3,13
				700	3,46

Finalmente, após a determinação dos valores da amplitude típicos de cada classe de inércia, pode-se percorrer o caminho inverso identificando quais os espaços a que correspondem esses valores da amplitude e os correspondentes Factores de Ponderação. Apresentam-se então na Tabela IV.17 os Factores de Ponderação típicos de cada classe de inércia térmica obtidos da forma referida.

Tabela IV.17 - Factores de Ponderação típicos de cada classe de inércia térmica

Ganhos de calor por condução através da envolvente						
Inércia	Amplitude	v_0	v_1	v_2	ω_1	ω_2
Leve	0,857	0,68613	-0,59394	0,10158	0,98169	-0,17547
Média	0,656	0,54810	-0,72817	0,22685	1,44951	-0,49629
Forte	0,527	0,43088	-0,63494	0,22299	1,61240	-0,63133
Ganhos de calor provenientes da iluminação, ocupantes e equipamentos						
Leve	0,835	0,62776	-0,52184	0,08786	0,98170	-0,17548
Média	0,633	0,49555	-0,54788	0,12419	1,27257	-0,34444
Forte	0,543	0,45126	-0,66986	0,23754	1,61240	-0,63134
Ganhos de calor resultantes da penetração da radiação solar através dos envidraçados						
Leve 1	0,852	0,62079	-0,51319	0,08619	0,98164	-0,17543
Leve 2	0,656	0,52388	-0,69385	0,22719	1,45446	-0,51168
Média 3	0,532	0,36992	-0,37830	0,08373	1,24241	-0,31776
Média 4	0,412	0,24773	-0,24375	0,04805	1,32382	-0,37585
Forte 5	0,314	0,13443	-0,13444	0,02125	1,57542	-0,59666
Forte 6	0,256	0,11083	-0,09378	0,00928	1,46294	-0,48927

IV.7.3. - Valores de CLTD e CLF para cada Classe de Inércia

Como os factores de ponderação que constam da Tabela IV.17 são valores típicos para cada classe de inércia, então, através da equação II.94 e dos Factores de Resposta obtidos no Capítulo III, é possível determinar os valores instantâneos de CLTD para efeito do cálculo de cargas térmicas provenientes dos elementos opacos da envolvente. Igualmente através da equação II.94 e dos factores de ponderação que constam da Tabela IV.17 se podem calcular valores instantâneos de CLF para o cálculo das cargas térmicas provenientes da penetração da radiação solar através dos envidraçados e valores instantâneos de CLF para o cálculo das cargas térmicas provenientes da iluminação, ocupantes ou equipamentos.

Nos Anexos H, I e J encontram-se tabelados os valores instantâneos de CLTD adequados para paredes, coberturas e envidraçados, respectivamente. Nos Anexos L e M encontram-se tabelados os valores instantâneos de CLF adequados ao cálculo das cargas térmicas devidas, respectivamente, à radiação e aos ocupantes, equipamentos e iluminação.

Nos casos de inércias térmicas média ou forte, como são os casos mais frequentes em Portugal [71], os valores da amplitude são menores do que os que se obteriam se se aplicassem os factores de ponderação publicados nos últimos Handbooks of Fundamentals da ASHRAE, incluindo o de 1993, conforme se pode verificar na Tabela IV.18, onde se encontram os valores da amplitude dos diversos grupos da ASHRAE e a majoração desses valores em relação aos correspondentes valores propostos na Tabela IV.17.

Comparando os valores da amplitude, para cada classe de inércia, constantes da Tabela IV.18 com os constantes na Tabela IV.17, pode-se concluir que, se forem

aplicados os factores de ponderação publicados pela ASHRAE, se majoram as cargas térmicas em aproximadamente 10% nos casos de inércia média e de 20 a 30% nos casos de inércia forte em relação aos valores que se obteriam se fossem usados os factores de ponderação propostos na Tabela IV.17. Portanto, para os edifícios correntemente construídos em Portugal, a classificação aqui proposta apresenta resultados bastante abrangentes e ao mesmo tempo com uma precisão muito superior à classificação actualmente utilizada.

Tabela IV.18 - Amplitude dos grupos da ASHRAE

Classe de Inércia	Condução		Ilum., Ocup. e Equip.		Radiação Solar	
	Amplitude	Maj. (%)	Amplitude	Maj. (%)	Amplitude	Maj. (%)
Leve	0,779	-9	0,777	-8	0,708	-5
Média	0,706	8	0,687	9	0,536	9
Forte	0,683	30	0,676	25	0,356	19

IV.7.4. - Valores propostos de ΔT_e para adopção pelo RCCTE

Encontram-se tabelados nos Anexos H, I e J, juntamente com os já referidos valores instantâneos de CLTD, os valores propostos de ΔT_e para adopção pelo RCCTE, para os diferentes grupos de paredes e de coberturas e para as três classes de inércia térmica.

Na Tabela IV.19 apresenta-se, como exemplo, um resumo dos valores propostos de ΔT_e para paredes e para espaços com inércia média. Para comparação com os valores propostos também se apresentam, na Tabela IV.19, os actuais valores de ΔT_e publicados no RCCTE. Como se pode verificar, nalguns casos, os valores propostos diferem substancialmente dos valores actuais, havendo a destacar que na maior parte dos casos são inferiores aos existentes. O erro cometido nos casos mais desfavoráveis é de 11% [74] e ocorre para, as paredes classificadas no Grupo 4, cuja constituição se encontra descrita na Tabela III.10.

Tabela IV.19 - Valores propostos e existentes de $\Delta T_e(^{\circ}\text{C})$ no RCCTE (na zona V2)

Valores Propostos								
Paredes	Norte	Nordeste	Este	Sudeste	Sul	Sudoeste	Oeste	Noroeste
Grupo 1	0.0	3.1	5.8	4.8	1.9	4.4	5.3	2.8
Grupo 2	3.1	6.5	9.3	8.1	4.9	7.1	7.9	5.6
Grupo 3	3.0	7.1	10.3	8.8	5.0	6.7	7.2	5.1
Grupo 4	3.6	8.1	11.5	10.0	5.9	7.7	8.1	5.8
Grupo 5	0.2	4.5	8.0	6.6	2.6	4.7	5.3	2.7
Grupo 6	4.2	9.2	13.1	11.5	6.9	8.7	9.0	6.4
Grupo 7	4.8	9.5	13.4	12.1	7.7	10.0	10.4	7.6
Valores do RCCTE								
Leves	2.0	5.5	8.0	7.5	5.5	6.5	7.0	4.5
Médias	2.5	7.0	10.5	9.5	6.0	6.5	7.0	4.5
Pesadas	5.5	10.5	12.5	11.5	8.0	11.5	10.0	5.0

Em relação às coberturas, apresenta-se na Tabela IV.20, tal como para as paredes, um resumo dos valores propostos de ΔT_e para coberturas correntes e para espaços com

inércia média. Nessa tabela também se apresentam os actuais valores de ΔT_e publicados no RCCTE para efeitos de comparação com os propostos.

Tabela IV.20 - Valores propostos e existentes de $\Delta T_e(^{\circ}\text{C})$ para coberturas correntes (na zona V2)

	Cor	Coberturas			
		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	2,0	3,0
	Escura	11,5	7,5	7,5	10,0

Como, actualmente, o RCCTE não contém valores de ΔT_e para as coberturas leves de chapa metálica ou de fibrocimento, as coberturas inclinadas de estrutura descontínua e para as coberturas em desvão com esteira leve, torna-se necessário definir valores adequados para estes tipos. Esses valores encontram-se também no Anexo M, conforme já referido, apresentando-se na Tabela IV.21 um resumo dos valores propostos de ΔT_e , para este tipo de coberturas e para espaços com inércia média. O erro cometido nos casos mais desfavoráveis é de 8% [75] e ocorre para as coberturas inclinadas ou em terraço sem camada de forma com tecto falso e com isolante térmico.

Tabela IV.21 - Valores propostos de ΔT_e para coberturas leves (na zona V2)

Tipo de Cobertura	Cor	$\Delta T_e (^{\circ}\text{C})$
Chapa metálica ou de fibrocimento	Clara	11,0
	Escura	24,0
Inclinada com estrutura descontínua	Clara	12,2
	Escura	25,5
Desvão Ventilado com esteira leve	Clara	4,6
	Escura	9,6
Desvão Não Ventilado com esteira leve	Clara	5,5
	Escura	12,3

Os valores propostos mostram claramente que, para as paredes e as coberturas dos edifícios com as características construtivas portuguesas e/ou dos países da orla mediterrânica, os valores de ΔT_e até agora disponíveis não são adequados para o dimensionamento de sistemas de climatização. Também em relação à regulamentação portuguesa relativa ao comportamento térmico dos edifícios, os valores propostos contribuem não só para o refinamento do cálculo mas também permitem fazer a análise de um maior número de soluções construtivas.

IV.7.5. - Factores de Ponderação em Função da Massa Superficial Útil

No caso de se optar pelo método das Funções de Transferência para o cálculo das cargas térmicas, a precisão pode ser substancialmente melhorada se, em vez de se usar um conjunto de Factores de Ponderação para cada classe de inércia e para cada tipo de ganho de calor, como é o caso dos valores que constam da Tabela IV.17, forem utilizados os Factores de Ponderação que constam das Tabelas IV.22 a IV.24. Nestas

tabelas, os Factores de Ponderação encontram-se relacionados com diversos valores da massa superficial útil e, portanto, deste modo é possível encontrar valores mais precisos do que através da Tabela IV.17.

Nas Tabelas IV.22 a IV.24 o erro associado à amplitude de cada conjunto de factores de ponderação foi calculado em relação à amplitude que se obteria, para cada valor da massa superficial útil, se fossem utilizadas as equações da regressão linear (equações IV.14 a IV.15). Define-se na expressão seguinte a forma de calcular o referido erro:

$$\text{Erro} = \frac{\text{Amp} - \text{Amp}_{\text{reg}}}{\text{Amp}_{\text{reg}}} \times 100\% \quad (\text{IV.17})$$

Tabela IV.22 - Factores de Ponderação dos ganhos de condução

Massa (Kg/m ²)	Amp. Reg.	Erro (%)	Amp.	Atr. (h)	V ₀	V ₁	V ₂	ω ₁	ω ₂
26	0,934	0,08	0,933	0,382	0,83290	-0,90526	0,23421	1,14808	-0,30993
79	0,846	1,25	0,857	0,803	0,68613	-0,59394	0,10158	0,98169	-0,17547
120	0,780	0,91	0,787	1,029	0,61241	-0,73990	0,21770	1,34510	-0,43530
150	0,730	0,50	0,734	0,884	0,61382	-0,83098	0,26683	1,46666	-0,51632
206	0,698	0,20	0,699	1,071	0,55623	-0,73621	0,22964	1,46666	-0,51632
265	0,651	0,73	0,656	1,041	0,54810	-0,72817	0,22685	1,44951	-0,49629
314	0,612	0,53	0,609	1,268	0,49860	-0,62147	0,17934	1,37860	-0,43507
364	0,573	0,87	0,578	1,214	0,44600	-0,60483	0,18757	1,53143	-0,56017
409	0,554	1,77	0,564	1,205	0,44009	-0,61158	0,19673	1,55707	-0,58231
453	0,546	0,67	0,542	1,258	0,42900	-0,59665	0,19397	1,55135	-0,57767
500	0,537	1,45	0,529	1,323	0,40633	-0,55694	0,17603	1,55133	-0,57676
578	0,522	1,00	0,527	1,163	0,43088	-0,63494	0,22299	1,61240	-0,63133
640	0,510	0,42	0,512	1,328	0,40116	-0,56829	0,18947	1,58340	-0,60574
702	0,498	0,79	0,502	1,253	0,40630	-0,58432	0,19891	1,58753	-0,60842
758	0,487	0,94	0,492	1,287	0,39090	-0,54642	0,17759	1,56183	-0,58390
795	0,480	1,96	0,471	1,310	0,38120	-0,54356	0,18290	1,57954	-0,60008

Tabela IV.23 - Factores de Ponderação dos ganhos da ilum., ocup. e equip.

Massa (Kg/m ²)	Amp. Reg.	Erro (%)	Amp.	Atr. (h)	V ₀	V ₁	V ₂	ω ₁	ω ₂
26	0,922	0,06	0,921	0,465	0,79923	-0,85634	0,21895	1,14810	-0,30994
79	0,823	1,40	0,835	0,981	0,62776	-0,52184	0,08786	0,98170	-0,17548
120	0,749	1,24	0,758	1,259	0,54622	-0,63657	0,18054	1,34510	-0,43530
150	0,693	0,87	0,699	1,071	0,55623	-0,73621	0,22964	1,46666	-0,51632
206	0,668	1,91	0,681	0,844	0,60372	-0,72859	0,18727	1,29694	-0,35934
265	0,636	0,40	0,633	1,274	0,49555	-0,54788	0,12419	1,27257	-0,34444
314	0,608	2,93	0,591	1,145	0,46496	-0,63654	0,20031	1,53143	-0,56017
364	0,581	0,50	0,578	1,134	0,45945	-0,64423	0,21002	1,55707	-0,58231
409	0,567	1,15	0,561	1,599	0,42402	-0,50884	0,14129	1,37860	-0,43507
453	0,560	0,82	0,555	1,183	0,44842	-0,62915	0,20706	1,55135	-0,57767
500	0,551	1,49	0,543	1,244	0,42579	-0,58949	0,18913	1,55133	-0,57676
578	0,537	1,10	0,543	1,089	0,45126	-0,66986	0,23754	1,61240	-0,63134
640	0,526	0,23	0,527	1,245	0,42111	-0,60210	0,20333	1,58340	-0,60574
702	0,515	0,65	0,518	1,172	0,42654	-0,61851	0,21286	1,58753	-0,60842
758	0,505	0,48	0,507	1,204	0,41116	-0,58017	0,19108	1,56183	-0,58390
795	0,498	2,22	0,487	1,222	0,40182	-0,57807	0,19679	1,57954	-0,60008

Tabela IV.24 - Factores de Ponderação da radiação solar

Massa (Kg/m ²)	Amp. Reg.	Erro (%)	Amp.	Atr. (h)	V ₀	V ₁	V ₂	ω ₁	ω ₂
26	0,891	4,60	0,852	1,003	0,62079	-0,51319	0,08619	0,98164	-0,17543
79	0,748	3,46	0,736	1,305	0,54811	-0,64869	0,19194	1,33625	-0,42762
120	0,664	0,95	0,656	1,320	0,52388	-0,69385	0,22719	1,45446	-0,51168
150	0,591	1,99	0,601	1,475	0,43616	-0,52845	0,14346	1,42198	-0,47316
206	0,525	0,36	0,532	1,945	0,36992	-0,37830	0,08373	1,24241	-0,31776
265	0,471	3,98	0,493	2,125	0,30332	-0,25074	0,02260	1,17567	-0,25085
314	0,439	2,68	0,412	2,482	0,24773	-0,24375	0,04805	1,32382	-0,37585
364	0,382	3,94	0,358	2,673	0,17228	-0,15409	0,01409	1,44982	-0,48210
409	0,358	1,47	0,340	2,733	0,16216	-0,15221	0,01798	1,48958	-0,51752
453	0,319	1,60	0,319	2,793	0,15204	-0,15033	0,02187	1,52934	-0,55293
500	0,298	0,57	0,314	2,923	0,13443	-0,13444	0,02125	1,57542	-0,59666
578	0,311	1,58	0,298	3,210	0,13924	-0,13479	0,01863	1,52636	-0,54944
640	0,258	0,02	0,278	2,544	0,14959	-0,13492	0,01072	1,41060	-0,43598
702	0,245	2,66	0,256	3,366	0,11083	-0,09378	0,00928	1,46294	-0,48927
758	0,248	1,19	0,246	3,831	0,08612	-0,06524	0,00407	1,50679	-0,53175
795	0,246	2,16	0,245	3,902	0,08654	-0,06824	0,00419	1,53939	-0,56188

IV.8. - Utilização e Extrapolação dos Resultados

As relações apresentadas nas secções anteriores entre a massa útil e a amplitude para os vários tipos de ganhos de calor foram obtidas para espaços com dimensões correntes possuindo apenas uma parede exterior e confinando lateral, superior e inferiormente com outros espaços à mesma temperatura. No entanto, há casos em que se torna necessário calcular as cargas térmicas de espaços que possuem mais do que uma parede exterior e/ou casos em que o espaço se encontra sob uma cobertura exterior.

Com o objectivo de mostrar que os resultados obtidos podem ser aplicados a casos diferentes dos casos estudados, foi considerado um espaço base sobre o qual se introduziram algumas modificações, tendo sido calculados os diversos factores de ponderação e as respectivas amplitudes. O espaço base considerado possui dimensões correntes, sendo o pavimento e o tecto constituídos por uma laje aligeirada, a parede exterior é dupla de tijolo vazado (15+11 cm) com isolamento na caixa de ar e as paredes interiores são de tijolo vazado de 7 cm. A primeira modificação consistiu em transformar uma das paredes interiores numa parede exterior, ficando o espaço a possuir duas paredes exteriores. A segunda modificação consistiu em transformar mais uma parede interior noutra parede exterior, ficando o espaço a possuir três paredes exteriores. A terceira, e última, modificação consistiu em transformar o espaço base num espaço sob uma cobertura exterior, ficando o espaço a possuir uma parede exterior e uma laje de cobertura exterior.

Os resultados destas modificações encontram-se resumidos na Tabela IV.25, podendo-se verificar que as amplitudes calculadas a partir dos factores de ponderação, determinados exclusivamente para estes casos, são aproximadamente iguais às amplitudes que se obteriam pela utilização das equações de regressão linear (equações IV.14 a IV.16).

Também em relação ao atraso, os valores calculados a partir dos factores de ponderação, determinados exclusivamente para estes casos, são aproximadamente iguais aos valores que se obteriam pela utilização dos factores de ponderação que constam das Tabelas IV.22 a IV.24

Tabela IV.25 - Comparação entre espaços com mais do que um elemento exterior

Descrição dos Espaços	Massa Útil (Kg/m ²)	Condução		Illum., Ocup. e Equip.		Radiação Solar	
		Amp. Calc.	Amp. Regr.	Amp. Calc.	Amp. Regr.	Amp. Calc.	Amp. Regr.
1 parede exterior	662	0.506	0.506	0.522	0.520	0.273	0.281
2 paredes exteriores	688	0.498	0.501	0.517	0.513	0.266	0.269
3 paredes exteriores	715	0.491	0.496	0.512	0.508	0.259	0.255
cobertura exterior	549	0.542	0.527	0.542	0.556	0.300	0.300

Como se mostrou, os resultados obtidos neste trabalho podem ser utilizados para a generalidade dos casos, uma vez que o modelo utilizado na determinação dos factores de ponderação é sensível à quantidade de massa de armazenamento térmico existente nos elementos da envolvente exterior e interior do espaço. Assim, antes de se proceder ao cálculo das cargas térmicas, sugere-se que seja calculada a massa superficial útil, tal como ela foi definida [2], de modo a ser identificada a classe de inércia térmica que caracteriza o espaço. Uma vez conhecida a inércia, as cargas térmicas podem ser calculadas pelo método CLTD/CLF, usando-se para tal as Tabelas que se encontram nos Anexos H, I, J, L e M, ou pelo método das Funções de Transferência, usando-se os Factores de Ponderação que constam da Tabela IV.17.

No caso de se pretender melhorar a precisão do cálculo das cargas térmicas, deve-se optar pelo método das Funções de Transferência, utilizando-se os Factores de Ponderação que constam das Tabelas IV.22 a IV.24, tal como referido em IV.7.5.

IV.9. - Conclusões

Atendendo aos bons resultados alcançados neste estudo e à falta de investigação nacional e europeia neste domínio, este trabalho pode-se transformar num importante documento de consulta quer para investigadores como para projectistas. Apresentam-se a seguir as principais conclusões:

1. A resposta térmica de um espaço pode ser expressa através da amplitude e do atraso da onda de propagação de calor.
2. Cada espaço tem uma resposta própria. No entanto, para as construções correntes, as respostas são muito semelhantes entre si, pelo que se comete um erro relativamente pequeno se se agruparem os espaços de acordo com a sua tipologia de comportamento.
3. A resposta térmica de um espaço depende, por ordem decrescente de importância de: volumetria, tipo de estrutura horizontal e respectivo acabamento superior e inferior, dimensões do vão envidraçado e tipo de parede exterior.

4. Valores da amplitude próximos da unidade e quase nulos para o atraso são uma característica dos espaços com inércia fraca. No entanto, para as tipologias construtivas correntes em Portugal, estes valores só se conseguem obter se os espaços forem revestidos interiormente com materiais isolantes.
5. Através do uso dos Factores de Ponderação, determinados neste Capítulo, calcularam-se valores instantâneos e médios de ΔT_e (CLTD's) e de CLF's que permitem quer uma avaliação mais correcta da cargas térmicas de projecto, como a adopção por parte do RCCTE e do RQCSE de valores mais adequados às características construtivas dos edifícios portugueses.

CAPÍTULO V - Validação dos Novos Valores Propostos para o Cálculo das Cargas Térmicas de Arrefecimento

V.1. - Introdução

O objectivo deste capítulo é validar os novos valores propostos nos capítulos anteriores. Para tal serão apresentados alguns exemplos de aplicação dos valores propostos ao cálculo das cargas térmicas, sendo os resultados obtidos comparados com as cargas térmicas de arrefecimento medidas experimentalmente. A comparação entre os valores medidos e os calculados é realizada por vários processos, evidenciando os resultados que existe uma melhoria significativa da precisão do cálculo de cargas térmicas se forem adoptados os novos valores propostos quer de $\Delta T_e/CLF$ como dos coeficientes das funções de transferência.

Para se poder alcançar o objectivo atrás exposto apresentam-se de forma sistemática as possibilidades de utilização dos resultados obtidos neste trabalho no cálculo das cargas térmicas de arrefecimento de edifícios portugueses. Deste modo apresentam-se neste capítulo dois métodos para o cálculo: O primeiro é o Método das Funções de Transferência, para o qual são propostos novos valores dos factores de resposta térmica e novos factores de ponderação; O segundo método, é uma versão simplificada do primeiro, e é designado por Método CLTD/CLF, para o qual são propostos novos valores de CLTD (ΔT_e) e CLF. Nas secções seguintes, identifica-se o local onde se pode encontrar cada um dos valores propostos.

V.2. - Instalação Experimental

Com o objectivo de se poderem validar experimentalmente os novos valores de CLTD/CLF, Factores de Ponderação e Factores de Resposta propostos neste trabalho para o cálculo das cargas térmicas de arrefecimento reais dos edifícios recorreu-se às células de teste do LECTE da Secção de Fluidos e Calor da FEUP, situadas no "Campus" do LNETI no Porto. Foram escolhidas duas células idênticas mas construídas com materiais diferentes e, por isso, com níveis de inércia térmica distintos, tendo, esta sido ainda modificada no decorrer das experiências para obter uma maior gama de valores experimentais. As células de teste foram cuidadosamente instrumentadas de modo a permitir obter valores medidos fiáveis. Por outro lado, cada célula de teste foi dotada de uma unidade de refrigeração, de modo a poder-se manter um regime termostatzado durante a estação quente.

Durante as experiências, as células de teste estiveram sujeitas a factores climáticos reais (radiação solar e temperatura exterior), tendo sido medidos não só estes parâmetros como também a temperatura ambiente interior e a temperatura do ar à entrada e saída dos equipamentos de climatização.

V.2.1. - Descrição das Células de Teste

As células de teste estão orientadas a Sul e localizadas lado a lado, separadas por uma distância de 3 metros, como se pode ver na Figura V.1.

Estas células de teste têm apenas um compartimento com as seguintes dimensões internas:

Comprimento	4,00 m
Profundidade	3,00 m
Pé-direito	2,55 m

A cor da superfície exterior de ambas as células de teste é creme. No interior, as paredes e tecto são amarelo claro e o pavimento é em cimento cinzento.

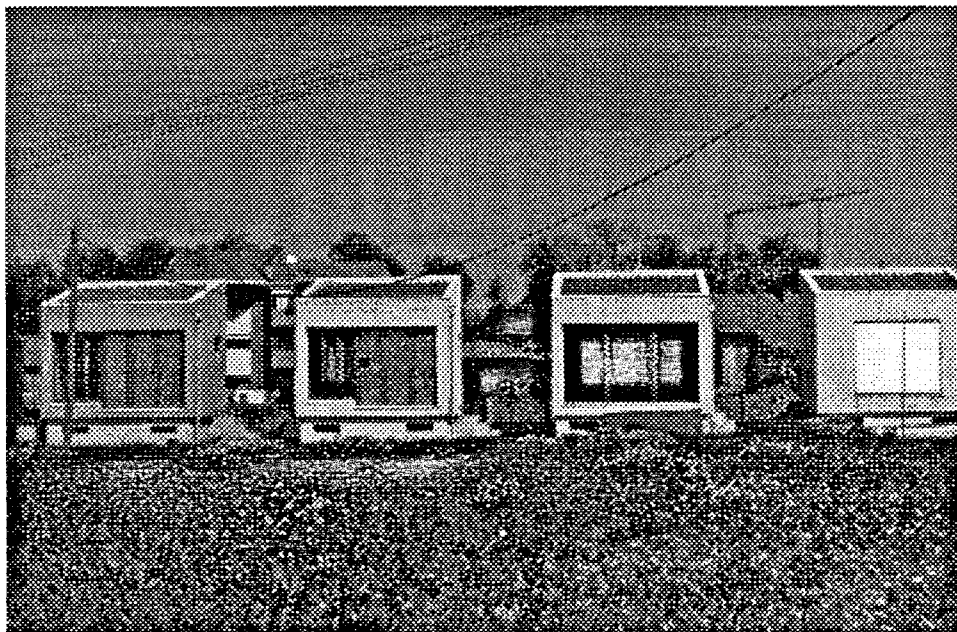


Figura V.1 - Células de teste

A única diferença entre as células de teste é o tipo de envolvente de cada uma: enquanto uma das células tem parede simples isolada pelo exterior, a outra tem uma parede dupla sem qualquer espécie de isolamento.

A célula de teste isolada está representada esquematicamente nas Figura V.2 a V.4 e possui a seguinte estrutura:

- Paredes exteriores: blocos de betão com 20 cm de espessura recobertos pelo exterior com uma camada de 5 cm de poliestireno expandido. As superfícies exterior e interior estão rebocadas com argamassa com uma espessura de 0,5 cm.
- Pavimento: laje maciça de betão com a espessura de 20 cm, isolada pelo exterior com uma camada de 3 cm de poliestireno extrudido. Esta estrutura não contacta com o solo como se pode ver na Figura V.4. A superfície interior está recoberta, para efeitos de regularização da superfície, com uma camada de argamassa de cimento de 1 cm.
- Cobertura: desvão ventilado em que a laje de esteira é aligeirada com blocos cerâmicos de 12 cm, possuindo uma camada de compressão em betão de 3 cm de

espessura isolada superiormente com 3 cm de poliestireno extrudido. A superfície interior é revestida com reboco de 0,5 cm.

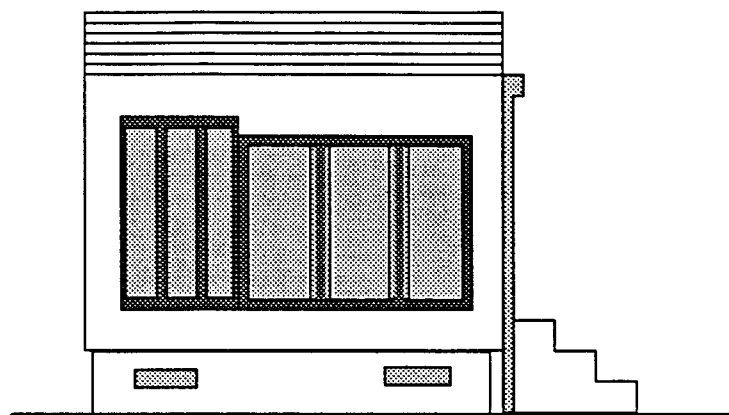


Figura V.2 - Alçado da célula de teste isolada.

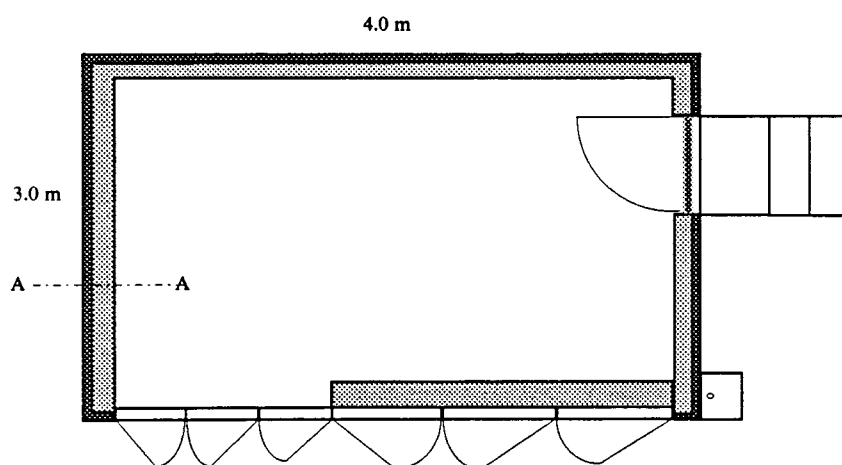


Figura V.3 - Planta da célula de teste isolada.

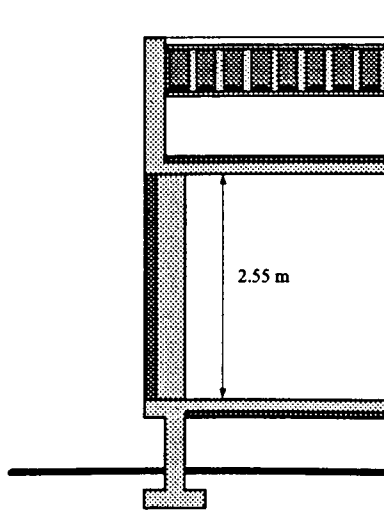


Figura V.4 - Corte A-A da célula de teste isolada.

Nas Figuras V.5 a V.8 encontram-se esquemas detalhados dos pormenores construtivos da estrutura das paredes, cobertura, pavimento e porta da célula de teste isolada.

A célula de teste não isolada possui a seguinte estrutura:

- Paredes exteriores: duplas de alvenaria de tijolo vazado, sendo a espessura do pano exterior de 15 cm e a do interior de 7 cm, com uma caixa de ar de 4 cm de espessura. As superfícies exterior e interior estão rebocadas com argamassa com uma espessura de 1 cm.
- Pavimento: laje aligeirada com blocos cerâmicos de 16 cm e uma camada de compressão de 4 cm, sem qualquer espécie de isolante térmico. A superfície interior é regularizada com uma camada de argamassa de cimento de 1 cm.
- Cobertura: desvão ventilado em que a laje de esteira é aligeirada com blocos cerâmicos de 12 cm, possuindo uma camada de compressão em betão de 3 cm de espessura. A superfície interior é revestida com reboco de 0,5 cm.

Nas Figuras V.9 a V.12 encontram-se esquemas detalhados dos pormenores construtivos da estrutura das paredes, cobertura pavimento e porta da célula de teste não isolada.

As propriedades térmicas dos materiais utilizados na construção das células de teste encontram-se na Tabela V.1. Estas propriedades térmicas foram já utilizadas em diversos estudos anteriores dos mesmos materiais, tendo permitido sempre alcançar bons resultados [14, 35, 76 e 77].

Tabela V.1 - Propriedades térmicas dos materiais das células de teste

Material	λ (W/m °K)	ρ (Kg/m ³)	c_p (J/Kg °K)
Betão	1,80	2100	1080
Tijolo	0,44	1100	936
Isolante	0,04	25	1000
Reboco	1,15	1800	837

Ambas as células de teste têm uma porta com 1,69 m² de área, localizada na superfície Este. O coeficiente de transferência de calor da porta é de 0,935 W/m² °K. Nas Figuras V.8 e V.12 mostram-se esquematicamente os detalhes destas portas.

Em cada célula de teste existe uma janela localizada na fachada Sul. A janela é idêntica nas duas células de teste, possuindo uma área total de 2,68 m², e é constituída por três vidros duplos, cada qual com uma área de 0,6 m², montados numa caixilharia de madeira com aproximadamente 0,29 m² por cada vidro. O coeficiente de transferência de calor médio da janela é de 3,3 W/m² °K [77].

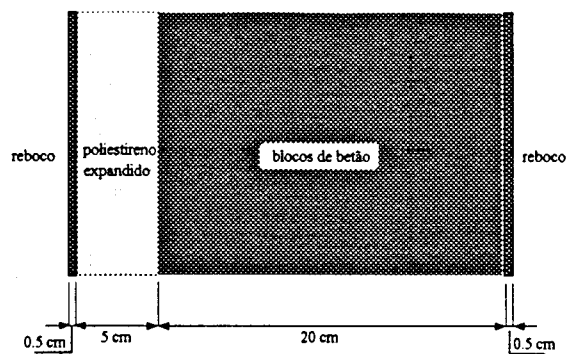


Figura V.5 - Paredes da célula de teste isolada

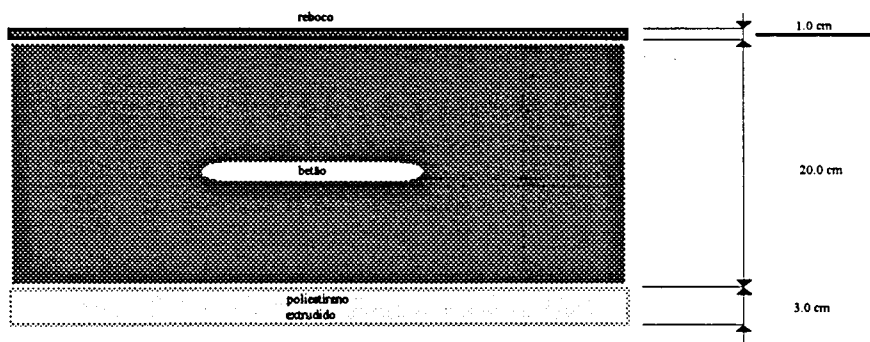


Figura V.6 - Pavimento da célula de teste isolada

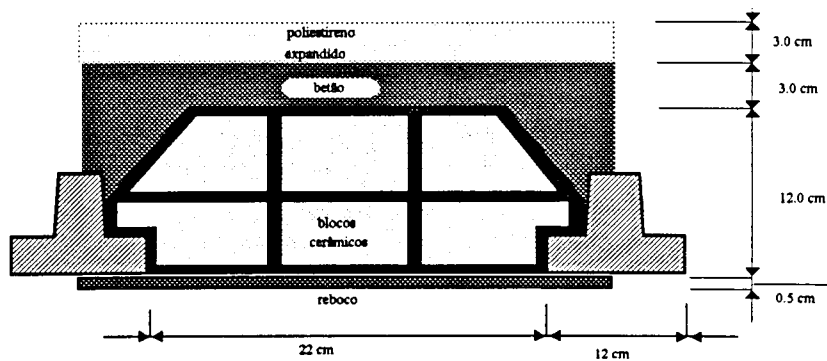


Figura V.7 - Cobertura da célula de teste isolada

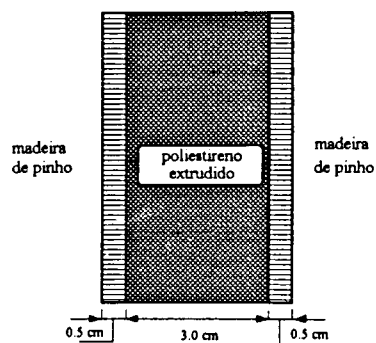


Figura V.8 - Porta da célula de teste isolada

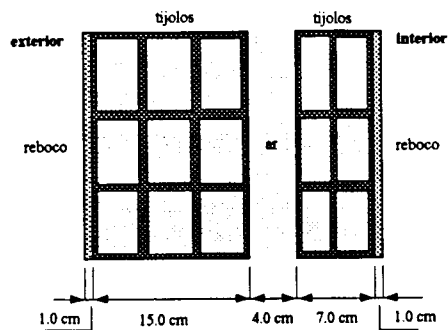


Figura V.9 - Paredes da célula de teste não isolada

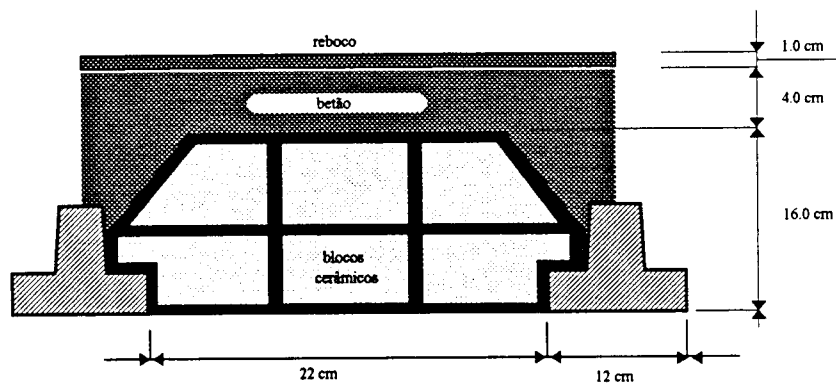


Figura V.10 - Pavimento da célula de teste não isolada

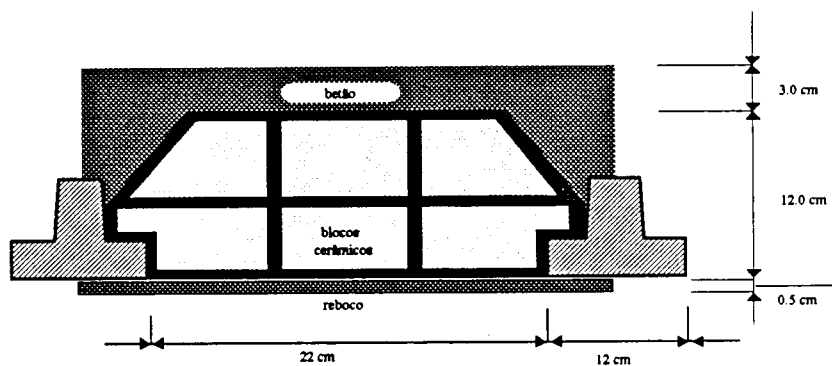


Figura V.11 - Cobertura da célula de teste não isolada

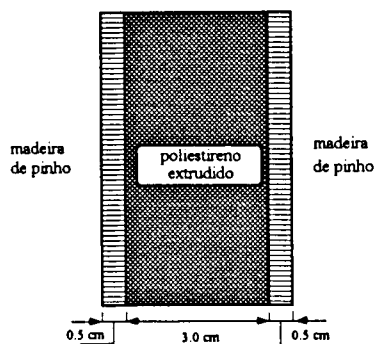


Figura V.12 - Porta da célula de teste não isolada

Existe também localizada na fachada Sul de cada célula uma parede de Trombe possuindo uma área total de 5,36 m². A parede de Trombe é constituída por blocos de betão de 15 cm de espessura revestidos de ambos os lados com 2,5 cm de argamassa de cimento. O vão é preenchido por três vidros duplos, cada qual com uma área de 1,2 m², montados numa caixilharia de madeira com aproximadamente 0,59 m² por cada vidro. Estes vidros foram revestidos exteriormente com uma película de alumínio de forma a reduzir os ganhos através da parede de Trombe, os quais, após esta operação, passaram a ter a ordem de grandeza dos ganhos através de uma parede bem isolada ($K_{\text{médio}}=1,1 \text{ W/m}^2\text{°C}$, [77]), conforme se pode ver na Figura V.13. Esta representa o fluxo de calor na superfície interior desta parede, medido com um fluxímetro de alta precisão montado a meio da sua superfície interior e pintado da mesma cor da parede de forma a evitar diferenças na radiação emitida pela parede e pelo fluxímetro.

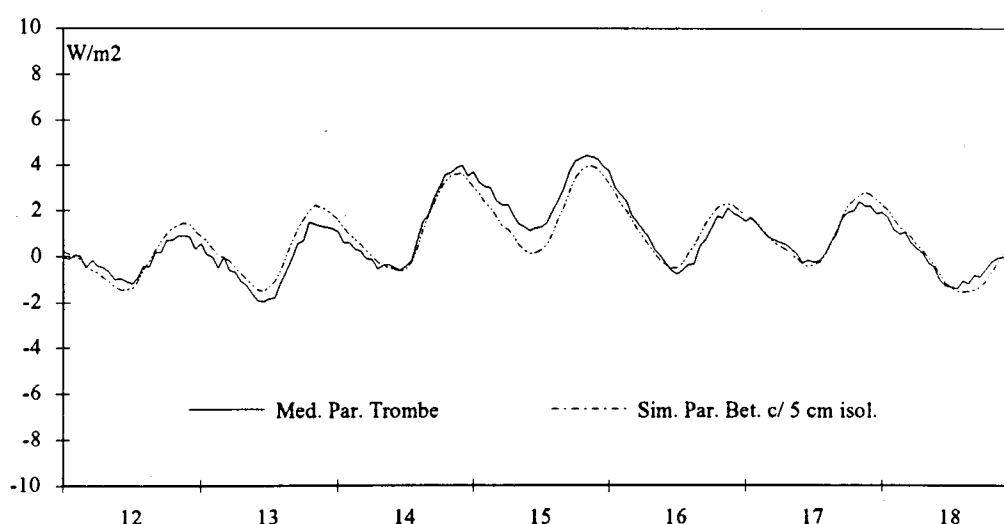


Figura V.13 - Fluxo de calor na superfície interior da parede de Trombe

Com base nas propriedades térmicas dos materiais que constam da Tabela V.1 e nas suas características geométricas, calcularam-se os coeficientes de transferência de calor e massas dos diversos elementos construtivos. Nas Tabelas V.2 e V.3 encontram-se, respectivamente para cada célula, os valores dos coeficientes de transferência de calor dos diversos elementos construtivos, as correspondentes áreas e massas úteis calculadas de acordo com o critério definido no RCCTE.

Tabela V.2 - Coeficientes de transferência de calor, áreas e massas úteis da célula isolada

Elemento	K (W/m ² °K)	Área (m ²)	Massa Útil (Kg)
Parede Norte	0,65	10,20	300
Parede Oeste	0,65	7,65	300
Parede Sul	0,65	3,16	300
Parede de Trombe	1,62	5,36	150
Envidraçado	3,30	1,68	0
Parede Este	0,65	5,96	300
Porta	0,94	1,69	0
Pavimento	0,86	12,00	300
Cobertura	0,83	12,00	160

Tabela V.3 - Coeficientes de transferência de calor, áreas e massas úteis da célula não-isolada

Elemento	K (W/m ² °K)	Área (m ²)	Massa (Kg)
Parede Norte	1,17	10,20	95
Parede Oeste	1,17	7,65	95
Parede Sul	1,17	3,16	95
Parede de Trombe	1,62	5,36	150
Envidraçado	3,30	1,68	0
Parede Este	1,17	5,96	95
Porta	0,94	1,69	0
Pavimento	1,80	12,00	95
Cobertura	1,95	12,00	80

V.2.2. - Renovação do Ar nas Células de Teste

Em cada célula foram realizados diversos testes de infiltração de ar de modo a determinar a permeabilidade da envolvente e a poder-se estimar a infiltração média de ar. Para realizar os ensaios recorreu-se ao método dos gases traçadores, o qual consiste em injectar no edifício a ensaiar um gás de características conhecidas numa concentração bastante superior à sua concentração normal na atmosfera e seguidamente medir o decaimento da concentração desse gás ao longo do tempo.

Antes de se realizarem os ensaios procedeu-se à calafetação de todas as frinchas de modo a minimizar as trocas de calor devido à infiltração de ar. O valor médio da taxa de renovação de ar por infiltração dentro de cada célula situa-se entre 0,25 e 0,30 rph, o que constitui um valor relativamente baixo.

Como os testes foram realizados sob diferentes condições de incidência e intensidade do vento conduzindo todos praticamente aos mesmos resultados, isto indica que o nível de infiltrações é praticamente independente da direcção e velocidade do vento, sob condições normais, uma vez que as principais passagens para a infiltração de ar não dependem directa ou indirectamente da incidência do vento. Apresenta-se na Figura V.14 para as duas células a variação típica com o tempo dos valores medidos da concentração e as correlações obtidas.

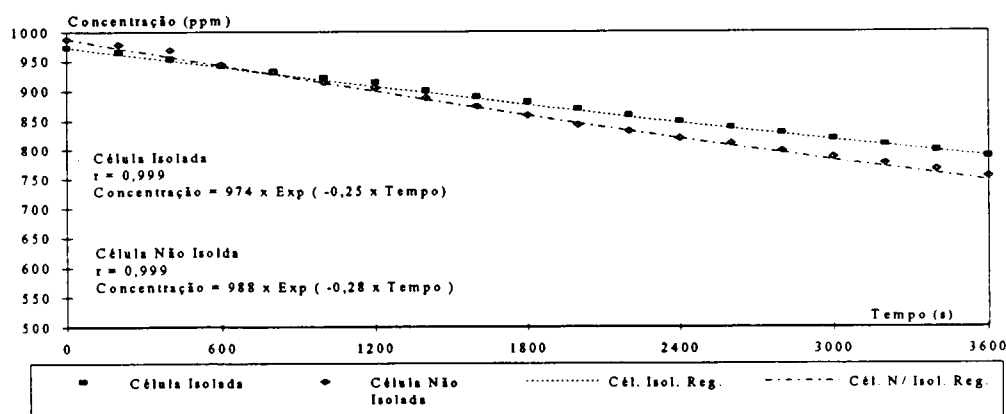


Figura V.14 - Valores típicos medidos da concentração e as correlações obtidas.

V.2.3. - Controlo da Temperatura nas Células de Teste

Originalmente, as células de teste não possuíam meios para controlar a temperatura interior excepto dois pequenos aquecedores eléctricos usados para controlo termostático durante experiências anteriores levadas a cabo durante a estação fria. Como o objectivo desta experiência foi estudar as células durante o Verão, foi instalada uma unidade de refrigeração em cada célula de modo a também ser possível o controlo termostático durante a estação quente.

De modo a que o coeficiente de convecção no interior das células não sofresse grandes variações e de modo a manter os ganhos internos constantes no interior das células, durante os períodos em que foram feitas medições, o ventilador dos aparelhos de ar-condicionado foi sempre mantido em funcionamento, quer a unidade de refrigeração estivesse a trabalhar ou não.

V.2.4. - Instrumentação das Células de Teste

Cada célula de teste foi equipada com 6 sensores de temperatura (termopares do tipo T), três localizados no centro para medir a temperatura ambiente interior, dois nas grelhas de saída de ar do aparelho de refrigeração para medir a temperatura do ar depois refrigerado e um na entrada de ar do mesmo para medir a temperatura do ar antes de ser refrigerado pela referida unidade. Todos estes termopares foram calibrados individualmente com um banho termostático. Os termopares foram todos protegidos com barreiras anti-radiação para maior precisão de leitura.

A temperatura ambiente exterior foi também medida com termopares do tipo T calibrados do mesmo modo. Foi medida em três pontos diferentes, dois ao nível do solo e um a 5 m de altura acima do solo. Todos estes sensores de temperatura foram protegidos da radiação solar e da radiação de grande comprimento de onda através de escudos de radiação de maior dimensão do que os usados no interior. Na Figura V.15 mostram-se estes dois tipos de escudos colocados na proximidade um do outro para efeitos de comparação.

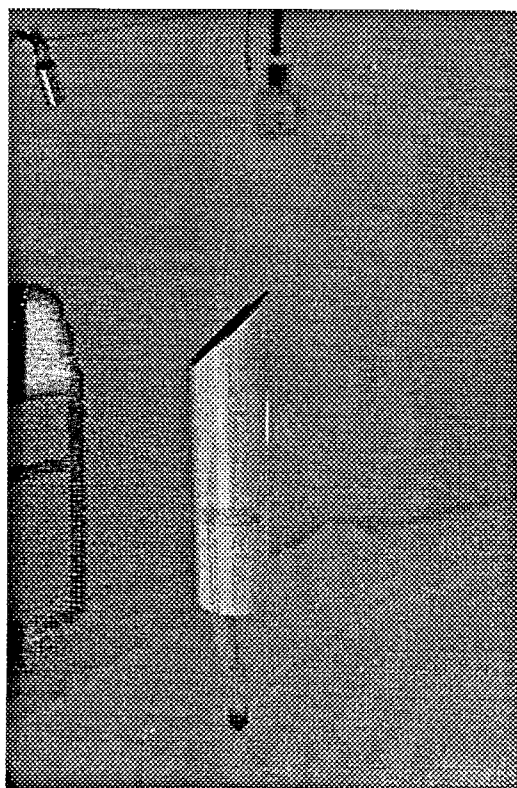


Figura V.15 - Escudos de radiação utilizados na medição da temperatura do ar.

A radiação solar foi medida com três piranômetros de alta precisão, um para a radiação global em superfície horizontal, outro para a radiação difusa em superfície horizontal e finalmente outro para radiação global em superfície vertical orientada a Sul.

V.2.5. - Cálculo da Potência de Refrigeração

A potência de refrigeração foi calculada indirectamente através de dois parâmetros medidos separadamente: 1) a diferença de temperaturas entre a entrada e saída de ar de cada aparelho de ar-condicionado; 2) o caudal de ar que circula através de cada aparelho de ar-condicionado.

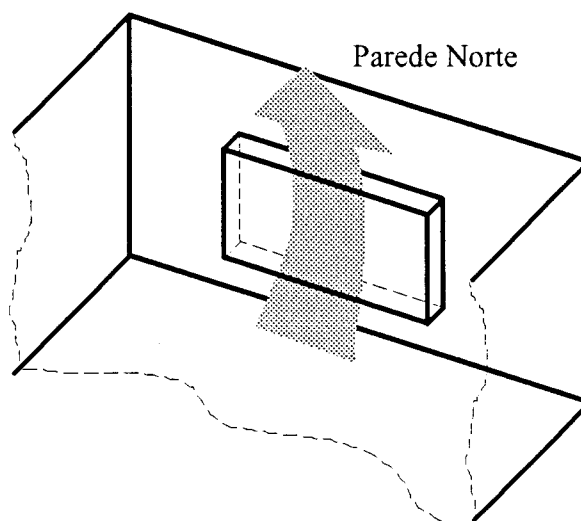


Figura V.16 - Esquema da circulação do ar através da unidade interior de climatização.

A diferença de temperaturas entre a entrada e saída de ar de cada aparelho de refrigeração foi medida com termopares do tipo T conforme referido na secção anterior.

O caudal de ar que circula através de cada aparelho de ar-condicionado é praticamente constante e foi cuidadosamente determinado através de uma série de medidas da velocidade do ar realizadas em 48 pontos ao longo da grelha de saída de cada unidade utilizando-se para o efeito uma sonda térmica, cuja precisão é $\pm 2,5\%$ [78]. A velocidade média do ar foi calculada usando-se estes 48 valores medidos, e o caudal médio de ar através dos aparelhos foi calculado multiplicando a velocidade média pela área da grelha de saída ($727,2 \text{ cm}^2$) [78]. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela V.4. A última coluna nesta tabela mostra também a comparação entre o caudal indicado pelo fabricante ($0,26 \text{ m}^3/\text{s}$) e o caudal medido. Esta comparação mostra que o caudal medido é menor que o indicado pelo fabricante, apesar de ser uma diferença relativamente pequena.

Tabela V.4 - Caudal medido do ar através dos aparelhos de ar-condicionado

Unidade	Vel. média do ar (m/s)	Caudal médio (m³/s)	ΔV fab./med. (%)
Célula isolada	2,90	0,21	19
Célula não-isolada	3,00	0,22	15

Conhecendo-se a diferença de temperaturas entre a entrada e a saída de uma unidade de ar-condicionado e o caudal de ar que o atravessa, a potência de refrigeração pode-se calcular através das seguintes equações:

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{\text{ent}} - T_{\text{sai}}) \quad (\text{V.1})$$

O valor do calor específico do ar a pressão constante, c_p , usado na equação V.1 é constante e é adoptado o seu valor para condições normais de pressão e temperatura, ou seja, igual a 1005 J/Kg°K.

O caudal mássico, $\dot{m}$, pode-se calcular como:

$$\dot{m} = \rho \dot{V} \quad (\text{V.2})$$

em que $\dot{V}$ é o caudal de ar que atravessa a unidade de refrigeração (Tabela V.4).

A densidade do ar, ρ , pode ser calculada por:

$$\rho = \frac{P}{287 \times (T + 273,15)} \quad (\text{V.3})$$

O valor da pressão, P , usado na equação V.3 é constante e corresponde à pressão atmosférica normal, ou seja, 101325 N/m².

O erro cometido na quantificação da potência de refrigeração depende, essencialmente, do erro cometido na medição da temperatura do ar à entrada e à saída de cada aparelho de ar-condicionado. Atendendo a que o erro da medição da temperatura do ar com termopares do tipo T pode ser de $\pm 0,1^\circ\text{C}$, da efectivação dos cálculos da potência de refrigeração atrás indicados resulta que o máximo erro cometido na avaliação da potência de refrigeração é de 58 W e 61 W, respectivamente, para as unidades de ar-condicionado da célula isolada e para a célula não isolada. Face aos valores medidos nas experiências, conforme descrito mais adiante, isto representa um erro de cerca de 5% do valor máximo medido para a carga térmica de cada uma das células.

V.2.6. - Experiências Realizadas

A sequência dos testes realizados foi exactamente a mesma nas duas células de teste e começou simultaneamente nas duas no dia 1 de Julho. Os termostatos das unidades de

ar-condicionado foram regulados de tal forma que a temperatura interior das células de teste foi sempre mantida igual 20,6 °C. Ao longo do Verão foram realizadas três experiências, tendo cada uma a duração de um mês.

A primeira experiência teve início no dia 1 e terminou em 31 de Julho não tendo sido feita qualquer alteração construtiva às células de teste durante este período. A massa superficial útil por unidade de área de pavimento de cada célula foi calculada de acordo com a metodologia descrita no RCCTE [2], tendo-se chegado ao valor de 680 Kg/m², no caso da célula isolada, e de 330 Kg/m², no caso da célula não isolada. Segundo o critério de classificação do RCCTE, adoptado também neste trabalho conforme oportunamente foi referido, a inércia térmica da célula isolada é Forte e a da não isolada é Média.

A segunda experiência teve início no dia 1 e terminou em 31 de Agosto tendo sido neste período alterada a inércia térmica das duas células através do revestimento do pavimento com uma camada de 1 cm de espessura de poliestireno expandido na sua face superior. A massa superficial útil por unidade de área de pavimento passou a ser de 380 Kg/m² no caso da célula isolada e de 180 Kg/m² no caso da célula não isolada. Segundo o critério de classificação do RCCTE a inércia térmica de ambas as células é Média.

A terceira experiência teve início no dia 1 e terminou em 30 de Setembro. Neste período, a inércia térmica das células foi novamente alterada através do revestimento do tecto com uma camada de 1 cm de espessura de poliestireno expandido. A massa superficial útil por unidade de área de pavimento passou a ser de 220 Kg/m² no caso da célula isolada e de 100 Kg/m² no caso da célula não isolada. Segundo o critério de classificação do RCCTE, a inércia térmica da célula isolada é Média e a da não isolada é Fraca.

V.3. - Cálculo das Cargas Térmicas

As cargas térmicas de arrefecimento das duas células de teste foram calculadas por quatro processos que doravante passarão a ser designados por Métodos 1 a 4:

Método 1 Método das Funções de Transferência em que são usados os Factores de Resposta Térmica e os Factores de Ponderação dos espaços determinados neste trabalho. Os Factores de Ponderação dos espaços utilizados correspondem às três classes de inércia definidas no RCCTE.

Método 2 Método das Funções de Transferência em que os Factores de Resposta Térmica e os Factores de Ponderação dos espaços usados também foram determinados neste trabalho. Este processo de cálculo distingue-se do anterior porque os Factores de Ponderação dos espaços utilizados correspondem às massas úteis de armazenamento térmico atrás calculadas em vez de corresponderem às classificações de inércia dos espaços definidas no RCCTE.

Método 3 Método CLTD/CLF em que são usados os valores de ΔT_e e CLF calculados neste trabalho.

Método 4 Método CLTD/CLF em que são usados os valores de CLTD e CLF tabelados pela ASHRAE.

No Anexo N apresenta-se um guia prático para o cálculo das cargas térmicas de arrefecimento em edifícios, onde se mostra o modo de aplicação quer do Método das Funções de Transferência quer do Método CLTD/CLF utilizando os novos valores dos Factores de Resposta, dos Factores de Ponderação, dos CLTD's (ΔT_e 's) e dos CLF's propostos neste trabalho e identificando-se o local onde se pode encontrar cada um dos valores propostos.

V.4. - Resultados do Cálculo das Cargas Térmicas

Atendendo a que os valores de CLTD e CLF tabelados, quer nos "Handbook of Fundamentals" quer neste trabalho, foram calculados para uma sequência de dias iguais, o cálculo das cargas térmicas das células de teste correspondente a cada experiência foi efectuado também para os últimos dias de uma série dias idênticos existentes na sequência medida (ver Figuras V.17 a V.19). Estudos realizados com o programa DOE2 revelaram, que para estas duas células de teste, são necessários três dias aproximadamente iguais de modo a que se dissipe o efeito de um dia excepcionalmente quente ou frio. Assim, foram escolhidos os períodos de 12 a 17 de Julho, de 13 a 18 de Agosto e de 10 a 15 de Setembro como sendo os períodos de sequências de dias idênticos correspondentes, respectivamente, à 1^a, 2^a e 3^a experiência.

Nas Figuras V.17 a V.19 mostra-se a evolução da temperatura exterior ao longo dos referidos períodos, podendo-se verificar que em qualquer dos casos a evolução das temperaturas a satisfaz o critério exposto, ou seja, durante cada um destes períodos não existe um ou mais dias excepcionalmente quente ou frio.

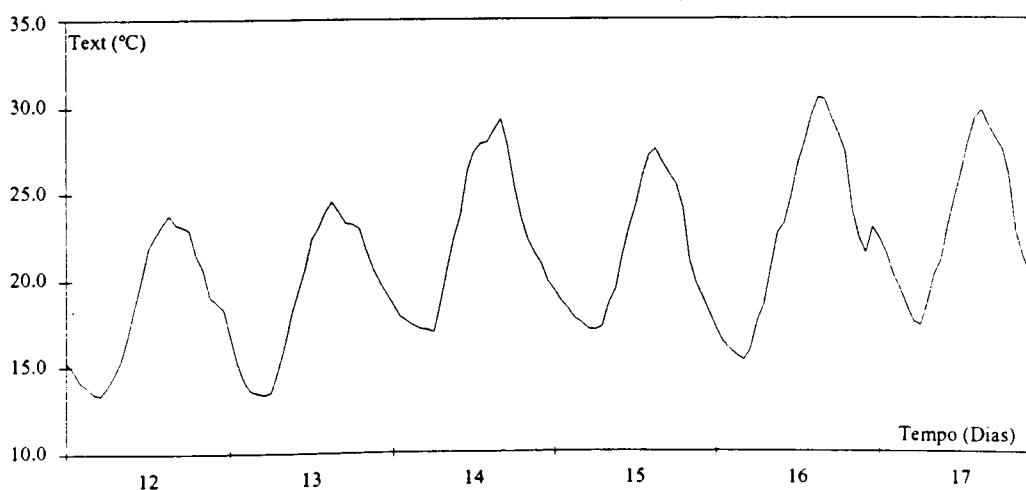


Figura V.17 - Evolução da temperatura exterior dos dias 12 a 17 de Julho.

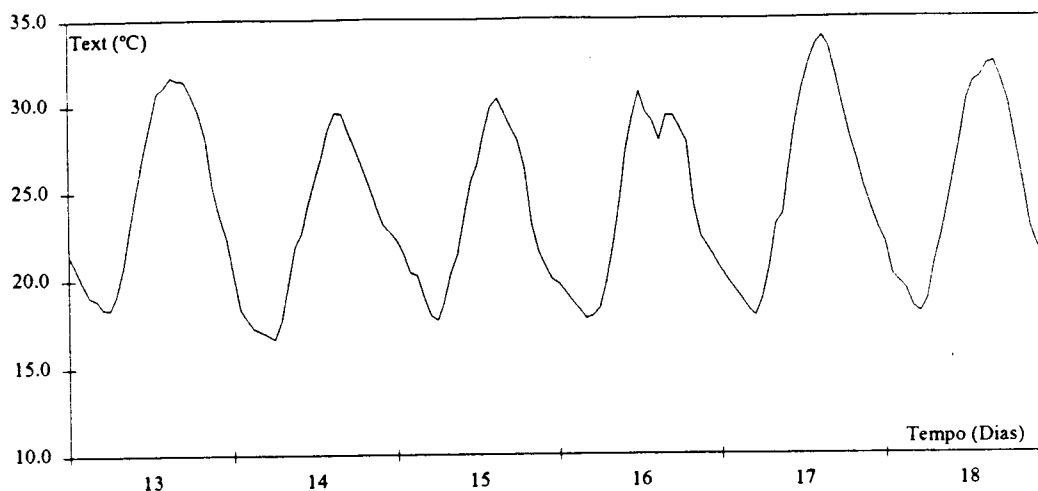


Figura V.18 - Evolução da temperatura exterior dos dias 13 a 18 de Agosto.

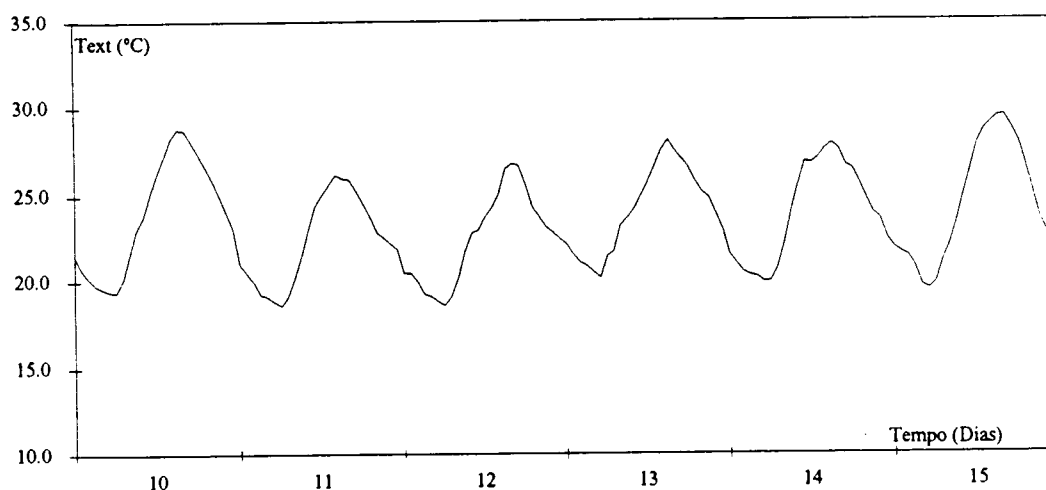


Figura V.19 - Evolução da temperatura exterior dos dias 10 a 15 de Setembro.

Antes de se passar à análise detalhada do cálculo das cargas térmicas das células de teste relativamente às experiências realizadas importa referir que foram feitas as seguintes simplificações:

- A porta existente na fachada Este de cada célula foi contabilizada como se se tratasse de uma zona corrente de parede. O erro introduzido com esta simplificação é muito reduzido uma vez que a área da porta é pequena, quando comparada com o resto da parede, e possui 3 cm de isolamento térmico aplicado no seu interior, o que faz com que o coeficiente de transferência de calor da porta se assemelhe ao do da secção corrente da parede em cada célula.
- Em relação à parede de Trombe existente na fachada Sul procedeu-se do mesmo modo que em relação à porta. Além do facto de não haver valores de CLTD adequados a este tipo de elementos nas tabelas publicadas pela ASHRAE, como a superfície dos envidraçados se encontrava recoberta por uma película altamente reflectora a parede de Trombe tinha um comportamento idêntico ao de uma parede bem isolada, conforme já referido anteriormente (ver Figura V.13).

- Em relação ao pavimento como não há radiação solar incidente sobre a superfície exterior o ganho de calor instantâneo é relativamente pequeno e deve-se apenas ao diferencial de temperaturas existente entre o exterior e o interior. Tal como na metodologia tradicional do cálculo de cargas térmicas, o ganho de calor instantâneo foi contabilizado considerando-se que a transferência de calor através deste elemento se realizava em regime permanente.

V.4.1. - Cargas Térmicas da Célula Isolada (1ª experiência)

Apresenta-se na Figura V.20 a evolução das cargas térmicas nos últimos três dias do período correspondente à 1ª experiência. A potência de refrigeração da unidade de ar-condicionado e os valores instantâneos da carga térmica representados graficamente, foram obtidos por cada processo de cálculo descrito. Da observação da Figura V.20 pode-se verificar que a carga térmica que mais se aproxima da medida é a calculada pelo Método 2, seguindo-se, por ordem decrescente, as cargas térmicas calculadas pelos Métodos 1, 3 e 4.

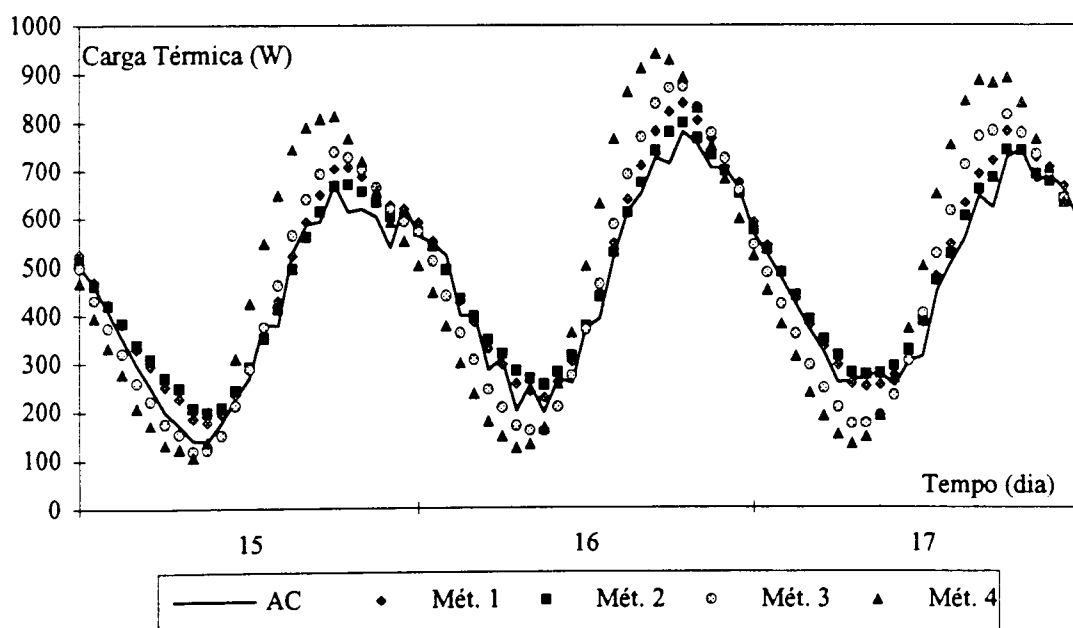


Figura V.20 - Cargas térmicas da célula isolada (1ª experiência)

De modo a exemplificar a boa aproximação à realidade que se consegue obter com os Métodos 1, 2 e 3, apresentam-se na Tabela V.5, para o primeiro dia dos três dias representados na Figura V.20, os valores dos erros absolutos das cargas térmicas, calculadas pelos diversos processos, em relação à potência de refrigeração. Como se pode verificar esses erros representam em média 7% no caso do Método 1, 6% (Método 2), 13% (Método 3) e 26% (Método 4). Os erros em relação ao pico de potência máxima descem para, respectivamente, 6%, 3%, 12% e 24%.

Tabela V.5 - Potência de refrigeração e erros de cálculo

Hora Legal	AC (W)	Erro 1 (W)	Erro 2 (W)	Erro 3 (W)	Erro 4 (W)
1	505	21	6	6	36
2	461	9	1	29	65
3	409	14	11	36	77
4	353	28	31	32	75
5	298	30	40	39	89
6	250	45	59	29	77
7	200	51	69	25	68
8	173	55	75	19	48
9	142	44	65	23	35
10	139	39	59	18	0
11	176	17	33	25	33
12	228	8	16	16	82
13	272	20	20	16	154
14	381	20	29	5	168
15	378	53	34	84	271
16	525	3	29	39	220
17	587	6	25	53	205
18	594	55	21	99	216
19	672	33	4	68	143
20	613	94	58	115	155
21	619	69	37	83	101
22	603	60	31	62	54
23	540	88	64	80	53
24	629	10	27	36	76

	Erro 1 (%)	Erro 2 (%)	Erro 3 (%)	Erro 4 (%)
Erro Médio Dia 15	9	7	11	26
Erro Médio Dia 16	7	5	13	26
Erro Médio Dia 17	7	5	14	26
Erro Médio de 15-17	7	6	13	26
Erro Médio no Pico	6	3	12	24

No Anexo O, nas Tabelas O.1 a O.4, encontram-se os valores instantâneos da carga térmica da célula de teste isolada relativos à 1ª experiência e que foram obtidos por cada processo de cálculo descrito. Apresentam-se também nessas tabelas os diversos valores intermédios da sequência de cálculo.

V.4.2. - Cargas Térmicas da Célula Não Isolada (1ª experiência)

Apresenta-se na Figura V.21 a evolução das cargas térmicas nos últimos três dias do período correspondente à 1ª experiência. A potência de refrigeração da unidade de ar-condicionado e os valores instantâneos da carga térmica representados graficamente, foram obtidos por cada processo de cálculo descrito. Da observação da Figura V.21 pode-se verificar que, tal como no caso da célula isolada, a carga térmica que mais se aproxima da medida é a calculada pelo Método 2, seguindo-se, por ordem decrescente, as cargas térmicas calculadas pelos Métodos 1, 3 e 4.

A boa aproximação dos valores medidos da potência de refrigeração da unidade de ar-condicionado que os Métodos 1, 2 e 3 conseguem alcançar pode ser observada na

Tabela V.6, na qual se encontram, para o primeiro dia da sequência representada na Figura V.21, os valores dos erros absolutos das cargas térmicas calculados pelos diversos processos em relação à potência de refrigeração. Como se pode verificar esses erros representam em média 5% no caso do Método 1, 4% (Método 2), 10% (Método 3) e 18% (Método 4). Os erros em relação ao pico de potência máxima mantêm-se aproximadamente iguais, ou seja, respectivamente, 5%, 2%, 10% e 20%.

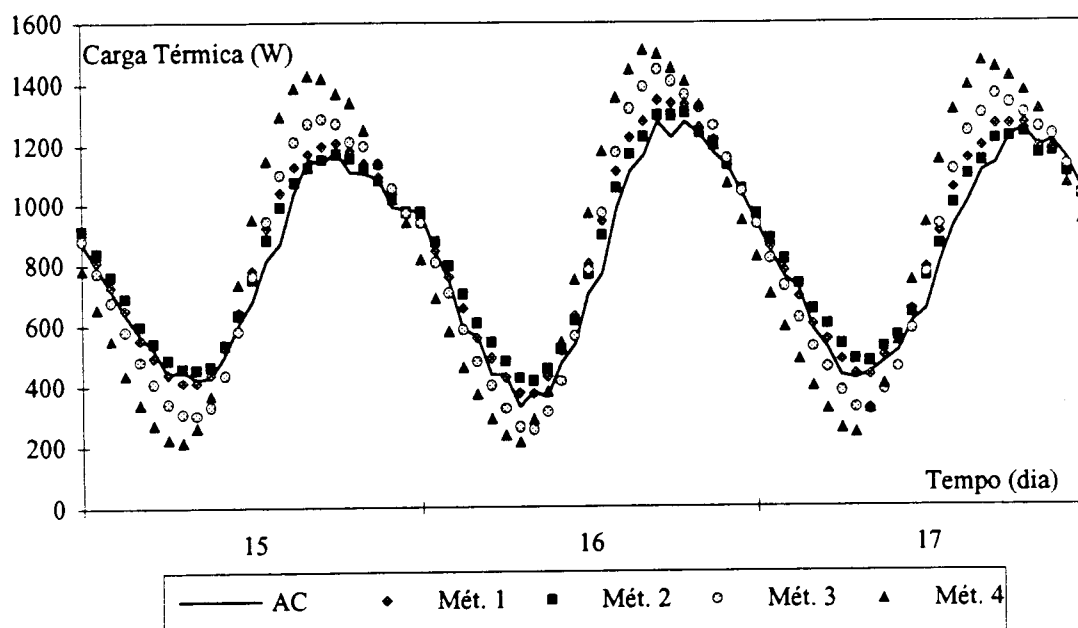


Figura V.21 - Cargas térmicas da célula não isolada (1ª experiência)

Tabela V.6 - Potência de refrigeração e erros de cálculo

Hora Legal	AC (W)	Erro 1 (W)	Erro 2 (W)	Erro 3 (W)	Erro 4 (W)
1	875	25	40	6	90
2	793	19	44	19	136
3	718	11	44	39	165
4	640	11	50	58	204
5	572	19	26	93	232
6	520	26	22	113	247
7	436	1	50	97	209
8	453	42	4	147	237
9	421	11	30	119	159
10	428	9	35	98	61
11	500	25	32	68	36
12	605	38	27	23	131
13	682	97	70	80	270
14	813	106	66	130	335
15	872	168	118	226	425
16	1038	89	38	173	352
17	1151	20	28	120	279
18	1139	57	12	147	283
19	1178	30	9	94	192
20	1110	72	44	101	231
21	1103	35	15	95	148
22	1086	6	6	47	53
23	989	43	40	64	28
24	981	15	8	12	40

(continua)

(continuação da Tabela V.6)

	Erro 1 (%)	Erro 2 (%)	Erro 3 (%)	Erro 4 (%)
Erro Médio Dia 15	5	4	10	20
Erro Médio Dia 16	6	4	10	17
Erro Médio Dia 17	5	5	11	18
Erro Médio de 15-17	5	4	10	18
Erro Médio no Pico	5	2	10	20

No Anexo O, nas Tabelas O.5 a O.8, encontram-se os valores instantâneos da carga térmica da célula de teste isolada relativos à 1ª experiência e que foram obtidos por cada processo de cálculo descrito. Apresentam-se também nessas tabelas os diversos valores intermédios da sequência de cálculo.

V.4.3. - Cargas Térmicas da Célula Isolada (2ª experiência)

Em relação à 2ª experiência o cálculo das cargas térmicas foi realizado de igual modo que em relação à 1ª experiência. Tal como nas secções anteriores, observando-se a evolução das cargas térmicas da célula isolada, na Figura V.22, pode-se verificar igualmente que a carga térmica que mais se aproxima da medida é a calculada pelo Método 2, seguindo-se as cargas térmicas calculadas pelos Métodos 1, 3 e 4.

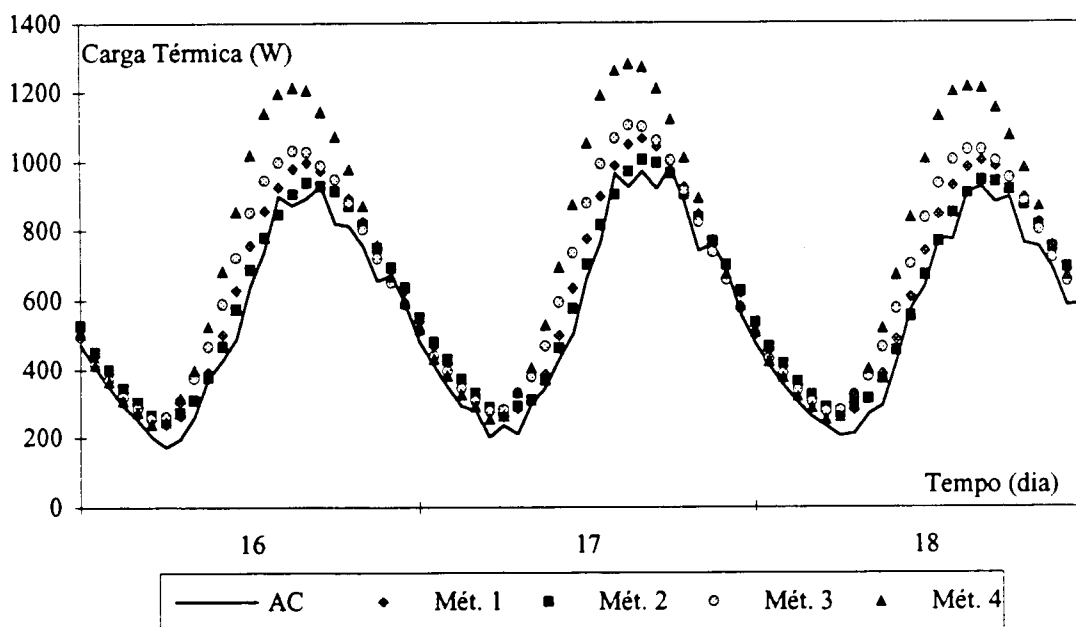


Figura V.22 - Cargas térmicas da célula isolada (2ª experiência)

A aproximação aos valores medidos da potência de refrigeração que os diversos métodos conseguem alcançar, pode ser observada na Tabela V.7, na qual se encontram, para o dia 16 de Agosto, os valores dos erros absolutos das cargas térmicas calculadas pelos diversos processos em relação à potência de refrigeração. Como se pode verificar esses erros representam em média 5% no caso do Método 1, 4% (Método 2), 10% (Método 3) e 27% (Método 4). Os erros em relação ao pico de potência máxima mantêm-se aproximadamente iguais para os Métodos 1, 2 e 3, sendo, respectivamente, 6%, 4%, 12% e aumentam substancialmente no caso do Método 4, para o qual atingem 29%.

Tabela V.7 - Potência de refrigeração e erros de cálculo

Hora Legal	AC (W)	Erro 1 (W)	Erro 2 (W)	Erro 3 (W)	Erro 4 (W)
1	475	47	55	22	31
2	409	32	43	7	5
3	351	39	51	19	15
4	297	36	48	23	12
5	255	37	50	32	21
6	204	48	62	53	37
7	173	66	80	87	76
8	196	67	77	112	121
9	263	47	46	112	139
10	374	19	3	96	153
11	428	76	41	163	258
12	493	136	82	229	362
13	642	115	46	210	380
14	741	116	38	205	400
15	901	25	55	99	297
16	874	106	32	158	340
17	895	104	45	135	312
18	931	43	2	58	214
19	820	126	94	128	253
20	812	79	59	67	167
21	757	69	58	45	116
22	655	97	94	65	102
23	671	17	20	20	2
24	591	38	45	2	2

	Erro 1 (%)	Erro 2 (%)	Erro 3 (%)	Erro 4 (%)
Erro Médio Dia 16	6	5	12	28
Erro Médio Dia 17	5	4	10	26
Erro Médio Dia 18	6	4	10	27
Erro Médio de 16-18	5	4	10	27
Erro Médio no Pico	6	4	12	29

V.4.4. - Cargas Térmicas da Célula Não Isolada (2ª experiência)

Na Figura V.23 está representada graficamente a evolução das cargas térmicas da célula não isolada durante a 2ª experiência, verificando-se que a carga térmica calculada pelos Métodos 1, 2 e 3 se aproxima igualmente da potência de refrigeração medida. Continua a ser o Método 4 (Método CLTD/CLF usando os valores tabelados pela ASHRAE) aquele que mais se afasta dos valores medidos.

Na Tabela V.8 pode-se verificar que, para o dia 16 de Agosto, os erros absolutos das cargas térmicas calculadas pelos diversos processos em relação à potência de refrigeração representam em média 5% no caso do Método 1, 4% (Método 2), 6% (Método 3) e 12% (Método 4). Os erros em relação ao pico de potência máxima mantêm-se aproximadamente iguais, ou seja, respectivamente, 4%, 2%, 7% e 14%.

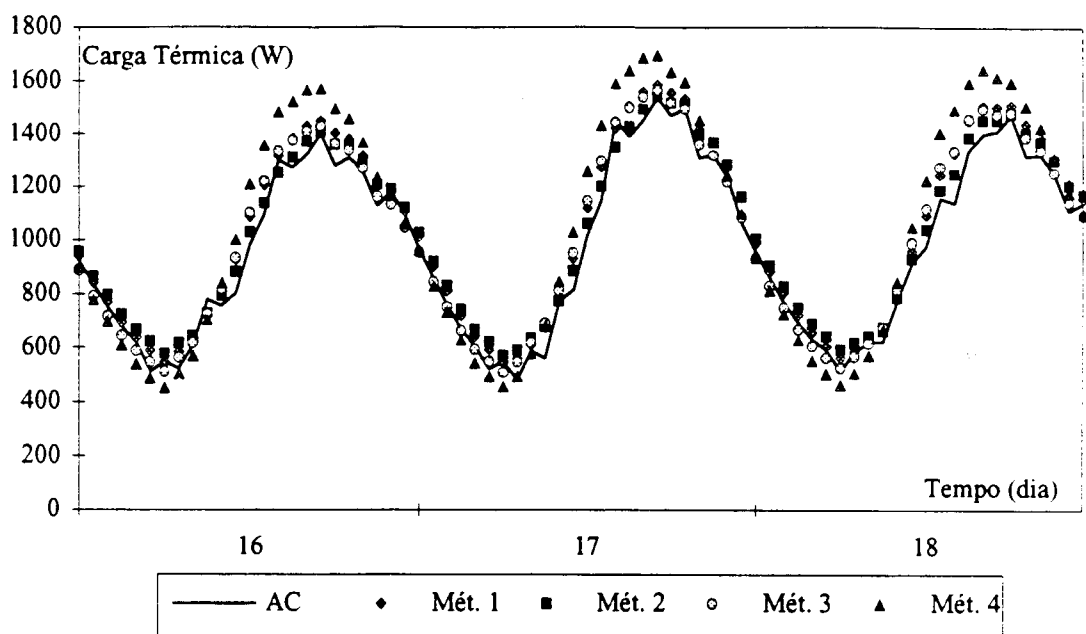


Figura V.23 - Cargas térmicas da célula não isolada (2ª experiência)

Tabela V.8 - Potência de refrigeração e erros de cálculo

Hora Legal	AC (W)	Erro 1 (W)	Erro 2 (W)	Erro 3 (W)	Erro 4 (W)
1	924	16	33	34	24
2	837	3	27	46	58
3	753	17	43	36	55
4	680	14	44	36	72
5	622	15	47	34	84
6	510	77	112	36	22
7	550	3	27	40	98
8	522	62	92	41	19
9	611	13	33	5	40
10	782	62	53	56	77
11	757	55	38	63	88
12	807	119	76	127	195
13	982	104	48	118	226
14	1093	112	45	127	264
15	1301	16	49	33	184
16	1270	111	41	107	254
17	1324	105	46	87	244
18	1404	44	4	25	168
19	1278	127	83	85	220
20	1311	68	42	28	148
21	1258	59	43	12	110
22	1129	90	78	33	105
23	1183	1	8	51	17
24	1096	13	25	49	34

	Erro 1 (%)	Erro 2 (%)	Erro 3 (%)	Erro 4 (%)
Erro Médio Dia 16	6	4	5	12
Erro Médio Dia 17	6	6	6	10
Erro Médio Dia 18	5	5	6	12
Erro Médio de 16-18	5	4	6	12
Erro Médio no Pico	4	2	7	14

V.4.5. - Cargas Térmicas da Célula Isolada (3ª experiência)

Em relação à 3ª experiência, o cálculo das cargas térmicas foi realizado de igual modo que em relação à 1ª e à 2ª experiências. Na Figura V.24 está representada graficamente a evolução das cargas térmicas da célula isolada durante a 3ª experiência, verificando-se que as cargas térmicas que mais se aproximam dos valores medidos são as cargas térmicas calculadas pelos Métodos 2 e 1, seguindo-se as cargas térmicas calculadas pelos Métodos 3 e 4.

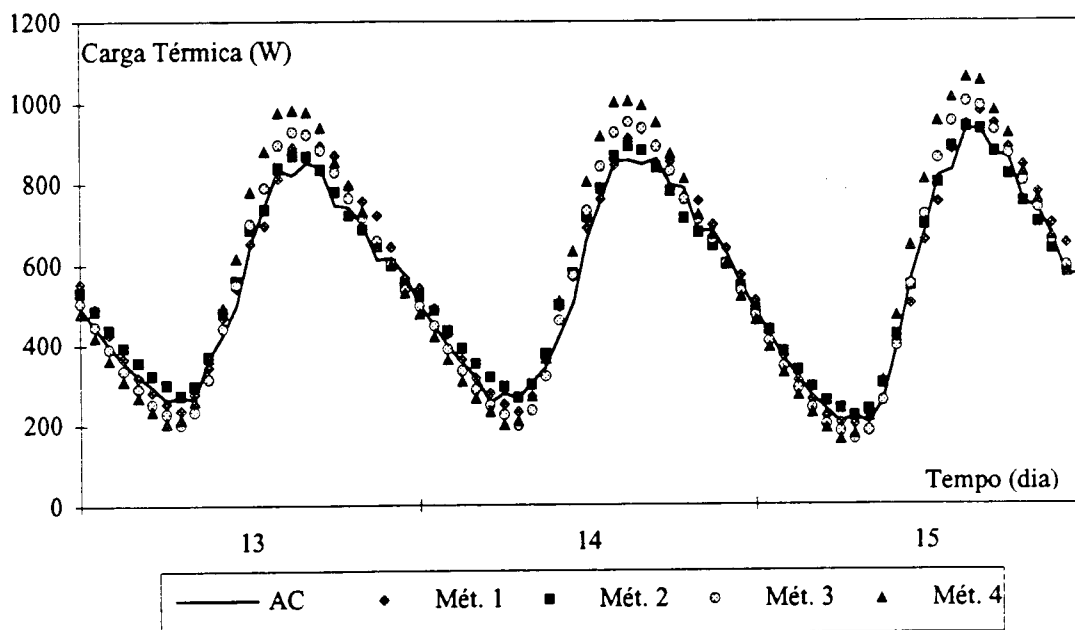


Figura V.24 - Cargas térmicas da célula isolada (3ª experiência)

Apresentam-se na Tabela V.9, para o dia 13 de Setembro, os erros absolutos das cargas térmicas calculadas pelos diversos processos em relação à potência de refrigeração. Esses valores representam em média 5% (Método 1), 5% (Método 2), 7% (Método 3) e 11% (Método 4). Os erros em relação ao pico de potência máxima mantêm-se dentro da mesma ordem de grandeza, ou seja, respectivamente, 6%, 2%, 8% e 15%.

Tabela V.9 - Potência de refrigeração e erros de cálculo

Hora Legal	AC (W)	Erro 1 (W)	Erro 2 (W)	Erro 3 (W)	Erro 4 (W)
1	496	59	36	9	15
2	446	46	41	2	26
3	397	29	40	9	35
4	357	8	35	23	47
5	321	3	33	33	51
6	293	12	29	43	58
7	260	7	37	34	55
8	270	35	1	69	57
9	262	14	34	30	3
10	365	22	4	53	2
11	422	47	58	18	74
12	500	43	59	51	117
13	649	2	36	50	131

(continua)

(continuação da Tabela V.9)

14	740	43	5	48	141
15	834	22	3	60	142
16	820	67	48	107	164
17	852	67	14	68	126
18	841	51	8	40	99
19	747	122	33	80	107
20	740	53	21	24	57
21	698	59	12	17	35
22	611	109	33	46	35
23	618	25	16	16	19
24	576	8	26	39	45

	Erro 1 (%)	Erro 2 (%)	Erro 3 (%)	Erro 4 (%)
Erro Médio Dia 13	5	5	7	12
Erro Médio Dia 14	6	6	7	11
Erro Médio Dia 15	5	4	6	11
Erro Médio de 13-15	5	5	7	11
Erro Médio no Pico	6	2	8	15

V.4.6. - Cargas Térmicas da Célula Não Isolada (3ª experiência)

Finalmente, em relação às cargas térmicas da célula não isolada durante a 3ª experiência, a sua evolução está representada graficamente na Figura V.25. Verifica-se que a carga térmica calculada pelos diversos métodos se aproxima praticamente de igual forma da potência de refrigeração medida.

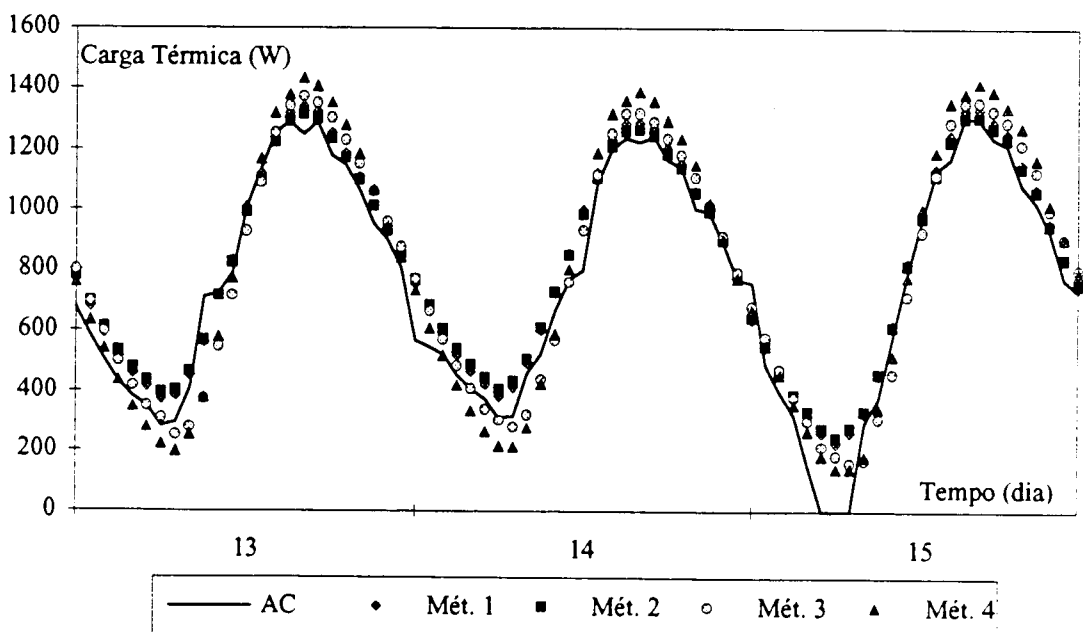


Figura V.25 - Cargas térmicas da célula não isolada (3ª experiência)

Apresentam-se na Tabela V.10, para o dia 13 de Setembro, os erros absolutos das cargas térmicas calculadas pelos diversos processos em relação à potência de refrigeração. Esses valores representam em média 6% (Método 1), 6% (Método 2), 10% (Método 3) e 12% (Método 4). Os erros em relação ao pico de potência máxima

descem nos Métodos 1 a 3 para, respectivamente, 3%, 1%, 6%, mantendo-se igual no caso do Método 4 e representando 12%.

Tabela V.10 - Potência de refrigeração e erros de cálculo

Hora Legal	AC (W)	Erro 1 (W)	Erro 2 (W)	Erro 3 (W)	Erro 4 (W)
1	675	92	105	125	83
2	587	92	108	108	48
3	508	85	104	89	35
4	434	81	102	65	2
5	383	75	98	35	37
6	347	68	90	2	69
7	281	90	113	25	58
8	294	90	109	43	97
9	410	40	53	133	159
10	710	147	142	336	334
11	720	4	5	171	139
12	790	41	34	75	17
13	1009	0	17	82	8
14	1133	13	36	42	36
15	1253	2	29	0	66
16	1290	28	2	52	90
17	1250	89	65	123	184
18	1290	33	10	60	117
19	1181	72	56	122	172
20	1150	36	22	79	128
21	1068	42	32	85	117
22	954	61	58	108	113
23	903	28	28	57	39
24	809	35	40	67	33

	Erro 1 (%)	Erro 2 (%)	Erro 3 (%)	Erro 4 (%)
Erro Médio Dia 13	7	8	11	11
Erro Médio Dia 14	6	6	8	12
Erro Médio Dia 15	6	6	12	12
Erro Médio de 13-15	6	6	10	12
Erro Médio no Pico	3	1	6	12

V.5. - Conclusões

As principais conclusões a retirar da comparação entre a potência de refrigeração "medida" experimentalmente e as cargas térmicas calculadas com a aplicação dos novos valores propostos neste trabalho dos Factores de Resposta, Factores de Ponderação, CLTD's e CLF's são as seguintes:

- 1ª Analisando a evolução dos erros cometidos pelo método das funções de transferência conclui-se que eles são praticamente constantes (os erros variam entre 5 e 7% se forem usados os Factores de Ponderação propostos neste trabalho para as diferentes massas úteis e entre 4 e 6%, se forem usados os Factores de Ponderação propostos também neste trabalho para cada classe de inércia). No caso do Método CLTD/CLF a análise dos erros revela que eles têm uma grande variação (neste caso os erros variam entre 6 e 13% se forem usados os valores de

CLTD e CLF propostos neste trabalho, e entre 11 e 27% se forem usados os valores de CLTD e CLF tabelados pela ASHRAE).

- 2ª O erro na avaliação das cargas térmicas através do método CLTD/CLF, quando são usados os valores de CLTD e CLF tabelados pela ASHRAE, diminui com a diminuição da inércia térmica, o que é justificado por esse valores terem sido calculados para tipologias construtivas mais leves do que as nacionais.
- 3ª A aplicação dos Factores de Resposta e dos Factores de Ponderação propostos neste trabalho para as diferentes massas úteis no método das funções de transferência resulta em cargas térmicas muito semelhantes às medidas, cometendo-se erros que em média são inferiores a cerca de 5%. Em relação ao valor máximo da potência de refrigeração este processo de cálculo majora, em média, a carga térmica real em 2%, podendo este erro oscilar entre 1 e 4%.
- 4ª A aplicação dos Factores de Resposta e dos Factores de Ponderação propostos neste trabalho para cada classe de inércia no método das funções de transferência resulta também em cargas térmicas muito semelhantes às medidas, cometendo-se erros que em média são inferiores a cerca de 6%. Em relação ao valor máximo da potência de refrigeração este processo de cálculo majora, em média, a carga térmica real em 5%, podendo este erro oscilar entre 3 e 6%.
- 5ª A aplicação dos valores propostos neste trabalho dos CLTD's e CLF's no método CLTD/CLF resulta em cargas térmicas também semelhantes às medidas, mas cujo o erro médio cometido aumenta para cerca de 9%, o que é normal face às simplificações introduzidas. Este processo de cálculo majora a carga térmica máxima em relação ao valor da carga térmica real, em média, também em 9%, podendo este erro oscilar entre 6 e 12%.
- 6ª A aplicação dos valores dos CLTD's e CLF's tabelados pela ASHRAE no método CLTD/CLF resulta em cargas térmicas que se afastam mais das medidas, sendo o erro médio cometido de cerca de 18%, podendo nalguns casos subir a 27%. Este processo de cálculo majora a carga térmica máxima num valor muito superior à que resulta dos outros métodos, sendo este valor em média de 19%, podendo este erro oscilar entre 12 e 29%, o que era esperado face às condições de cálculo dos valores de CLTD e CLF tabelados pela ASHRAE.
- 7ª Apesar do erro associado à aplicação dos valores dos CLTD's e CLF's tabelados pela ASHRAE no método CLTD/CLF diminuir com a diminuição da inércia térmica, a aplicação dos valores propostos neste trabalho, quer se trate do método das funções de transferência ou do método CLTD/CLF, conduziu sempre a cargas térmicas mais semelhantes à potência de refrigeração medida. Esta constatação pode ser verificada analisando-se as Tabelas V.11 e V.12, onde constam, respectivamente, os erros médios resultantes da aplicação dos diversos métodos ao cálculo das cargas térmicas das duas células nos três períodos experimentais e os erros cometidos na estimativa da carga térmica máxima.
- 8ª Por último, como corolário das conclusões anteriores, concluiu-se que quando se pretender avaliar as cargas térmicas de um edifício com características construtivas típicas portuguesas devem ser sempre utilizados os valores propostos neste trabalho, quer se trate de uma avaliação manual através do método

CLTD/CLF, quer se trate de uma avaliação com recurso a meios informáticos através do Método das Funções de Transferência.

Tabela V.11 - Erros médios resultantes da aplicação dos diversos métodos

Métodos:	1ª Exp. (erro %)		2ª Exp. (erro %)		3ª Exp. (erro %)		Média (%)
	Cél. Isol.	Cél. n/ Isol.	Cél. Isol.	Cél. n/ Isol.	Cél. Isol.	Cél. n/ Isol.	
	680 Kg/m ²	330 Kg/m ²	380 Kg/m ²	180 Kg/m ²	220 Kg/m ²	100 Kg/m ²	
Método 1 (Factores de Ponderação em função da classe de inércia)	7	5	5	5	5	6	5,5
Método 2 (Factores de Ponderação em função da massa útil)	6	4	4	4	5	6	4,8
Método 3 (CLTD's e CFL's em função da classe de inércia)	13	10	10	6	7	10	9,3
Método 4 (CLTD's e CFL's tabelados na ASHRAE)	26	18	27	12	11	12	17,7

Tabela V.12 - Erros na estimativa da carga térmica máxima

Métodos:	1ª Exp. (erro %)		2ª Exp. (erro %)		3ª Exp. (erro %)		Média (%)
	Cél. Isol.	Cél. n/ Isol.	Cél. Isol.	Cél. n/ Isol.	Cél. Isol.	Cél. n/ Isol.	
	680 Kg/m ²	330 Kg/m ²	380 Kg/m ²	180 Kg/m ²	220 Kg/m ²	100 Kg/m ²	
Método 1 (Factores de Ponderação em função da classe de inércia)	6	5	6	4	6	3	5,0
Método 2 (Factores de Ponderação em função da massa útil)	3	2	4	2	2	1	2,3
Método 3 (CLTD's e CFL's em função da classe de inércia)	12	10	12	7	8	6	9,2
Método 4 (CLTD's e CFL's tabelados na ASHRAE)	24	20	29	14	15	12	19,0

CAPÍTULO VI - Conclusões e Perspectivas de Trabalho Futuro

VI.1. - Conclusões

O objectivo deste trabalho foi plenamente atingido tendo resultado a caracterização das cargas térmicas de arrefecimento nas construções típicas portuguesas de forma suficientemente precisa. Os resultados obtidos têm relevância para todos os tipos de edifícios, com uma ênfase especial para as construções que possuem inércia térmica média ou forte, pois, para além de serem as mais frequentes em Portugal, é para estas que existe menos precisão nas metodologias de cálculo tradicionais.

Atendendo aos bons resultados alcançados neste estudo e à falta de investigação nacional e europeia neste domínio, este trabalho pode-se transformar num importante documento de consulta quer para investigadores quer para projectistas, não só de ar-condicionado como também de arquitectura.

Assim, foram desenvolvidas três metodologias para o cálculo de cargas térmicas, com três níveis diferentes de simplificação:

- a) O processo mais preciso recorre ao método das funções de transferência. Neste processo de cálculo, sempre que houver uma alteração na inércia térmica ou na envolvente, torna-se necessário calcular novos valores para as funções de transferência, isto é, é necessário calcular uma função de transferência específica para cada caso estudado. Neste trabalho foram obtidos valores para essas funções que permitem calcular as cargas térmicas para uma grande variedade de envolventes e de inércias térmicas dos edifícios.
- b) O segundo processo, também ainda muito preciso, consiste numa simplificação do anterior, em que os valores a adoptar nas funções de transferência variam apenas por níveis de inércia padronizados.
- c) O terceiro processo de cálculo é o menos preciso dos três e é uma simplificação dos anteriores. Foram determinados valores tipo de CLTD e CLF para os elementos da envolvente e para os níveis de inércia típicos dos edifícios portugueses, evitando assim o recurso a funções de transferência e, portanto, a computadores. É o único dos três métodos compatível com uma aplicação manual.

Do trabalho desenvolvido resultaram diversas conclusões que foram apresentadas no final dos respectivos capítulos. Aqui, recordam-se as conclusões principais que realçam os bons resultados alcançados neste estudo, nomeadamente a comparação entre os valores medidos experimentalmente e os valores obtidos pelos diversos métodos de simulação numérica. Assim:

- Se forem usados os Factores de Resposta e os Factores de Ponderação propostos neste trabalho, os valores que resultam do cálculo das cargas térmicas através do Método das Funções de Transferência são muito semelhantes aos valores da

potência de refrigeração medidos em edifícios reais. A precisão do cálculo é a seguinte:

- se forem usados os Factores de Ponderação propostos em função da massa útil do espaço, os valores calculados aproximam-se dos reais com erros que são em média iguais a cerca de 5%, ou seja, da mesma ordem de grandeza do erro associado ao cálculo da energia fornecida pelo equipamento de refrigeração. Em relação ao valor máximo da potência de refrigeração este processo de cálculo majora, em média, a carga térmica real em 2%, podendo este erro oscilar entre 1 e 4%.
- se forem usados os Factores de Ponderação propostos em função da classe de inércia do edifício, como forma de simplificação, os erros continuam a ser muito reduzidos, embora aumentem ligeiramente, sendo em média iguais a cerca de 6%. Em relação ao valor máximo da potência de refrigeração este processo de cálculo majora, em média, a carga térmica real em 5%, podendo este erro oscilar entre 3 e 6%.
- Se for usado o Método CLTD/CLF, os valores que resultam do cálculo das cargas térmicas podem-se ou não aproximar com precisão suficiente dos valores medidos da potência de refrigeração, consoante sejam usados os valores de CLTD e CLF propostos neste trabalho ou os tabelados pela ASHRAE. A precisão do cálculo nestes casos é a seguinte:
 - se forem usados os valores de CLTD e CLF propostos neste trabalho, os erros são em média iguais a cerca de 9%. Este processo de cálculo majora a carga térmica máxima em relação ao valor da carga térmica real, em média, também em 9%, podendo este erro oscilar entre 6 e 12%.
 - se forem usados os valores de CLTD e CLF tabelados pela ASHRAE os erros são muito superiores aos erros dos métodos anteriores e são em média iguais a cerca de 18%. Este processo de cálculo majora a carga térmica máxima num valor muito superior à majoração dos outros métodos, sendo este valor em média de 19%, podendo este erro oscilar entre 12 e 29%. Esta gama de variação é também bastante mais elevada do que nos restantes casos.

Também se pode concluir que se, forem adoptados, para o cálculo das cargas térmicas, os valores propostos neste trabalho, quer se trate do método das funções de transferência ou do método CLTD/CLF, obter-se-ão sempre resultados mais precisos do que se forem adoptados os valores de CLTD e CLF tabelados pela ASHRAE, apesar do erro associado à aplicação destes últimos diminuir com a diminuição da inércia térmica.

Os resultados obtidos mostram claramente que nos edifícios típicos portugueses devem ser aplicados os novos valores propostos neste trabalho dos Factores de Resposta, Factores de Ponderação, CLTD's e CLF's. A aplicação dos resultados agora

obtidos ao cálculo das cargas térmicas para o dimensionamento dos equipamentos de climatização, terá diversas consequências, sendo de destacar as menores potências instaladas e consequentes reduções dos custos de investimento, os maiores rendimentos que será possível obter, os menores consumos energéticos com os consequentes menores custos de funcionamento, a utilização mais racional da energia e a preservação dos recursos energéticos nacionais e mundiais.

VI.2. - Perspectivas de trabalho futuro

O estudo do comportamento térmico dos edifícios foi realizado com base em parâmetros nacionais característicos, como os materiais de construção, as tipologias construtivas e o clima. Atendendo a que as restantes regiões do Sul da Europa também têm problemas de conforto com o comportamento térmico dos edifícios no Verão, uma das possibilidades de continuidade do trabalho no futuro é fazer a adaptação do presente estudo a essas regiões.

Outra perspectiva para o trabalho futuro será a caracterização térmica de novos elementos de construção, quer eles venham a ser adoptados pelo mercado, quer eles estejam ainda em fase de lançamento. Deste trabalho surgirá a actualização das bases de dados dos Factores de Resposta, Factores de Ponderação, CLTD's e CLF's relativamente aos novos materiais e aos novos processos construtivos que venham a surgir quer no âmbito nacional quer a nível internacional.

Outro objectivo poderá ser a compatibilização do programa de cálculo de cargas térmicas apresentado no Anexo C com as actuais ferramentas informáticas de projecto e de desenho. Para essa compatibilização poder-se-á usar, por exemplo, o Autocad pois é uma das ferramentas mais divulgadas entre os projectistas. Deste projecto de investigação resultará, certamente, a possibilidade de os projectistas de espaços (Arquitectos e Engenheiros) procederem à avaliação térmica imediata dos espaços que estão a conceber, sem terem de enfrentar uma fastidiosa e complicada entrada de dados sempre que houver uma alteração no projecto.

REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira Fernandes E., Cortesão, C., Maldonado E e Abrantes V.; "Passive Solar Technologies in Portugal, Regional and Thermal Perspectives - A Monograph from Portugal", International Conference on Passive Low Energy Architecture, pp129-167, Pécz, Hungary (1986).
- [2] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro (1990).
- [3] Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Decreto-Lei nº 156/92 de Setembro (1992).
- [4] Gomes, R. J.; "Necessidades Humanas e Exigências Funcionais da Habitação", Técnica, nº445 (Dezembro 1977) e nº446 (Janeiro 1978).
- [5] Informação Energia, Secretaria de Estado da Energia, Direcção-Geral da Energia, Planeamento e Estatística, (1993).
- [6] Oliveira Fernandes, E. e Maldonado, E. A. B.; "Conservação de Energia nos Edifícios e Tecnologias Solares Passivas", Curso CTER 42 - LNETI, Porto (1984).
- [7] ASHRAE; 1989 Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, Georgia, USA, (1989).
- [8] ASHRAE; 1993 Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, Georgia, USA, (1993).
- [9] Vives J.; Instalaciones de Acondicionamiento de Aire, Editorial Reverté S. A., Barcelona - Buenos Aires - Mexico (1947).
- [10] Carrier, W. H., Cherne, R. E. e Grant, W. A.; Tratado Moderno de Acondicionamiento de Aire, Calefacción y Ventilación, Editorial Reverté S. A., Barcelona - Buenos Aires - Mexico (1957).
- [11] Muncey R. W. R.; Heat Transfer Calculations for Buildings, Applied Science Publishers Ltd, London (1979).
- [12] ASHVE Guide, ASHVE, New York (1922).
- [13] ASRE Data Book, ASRE, New York (1932).
- [14] Almeida, M.; Caracterização da Inércia Térmica de Paredes Maciças, Dissertação apresentada à F.E.U.P. para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Térmica, Porto (1987).
- [15] Austin, J. B.; "Periodic Heat Flow Through Homogeneous Walls" Journal of Applied Physics, nº 3 (1932), pp. 179.

- [16] Alford, J. S., Ryan, J. E. e Urban, F. O.; "Effect of Heat Storage and Variation in Outdoor Temperature and Solar Intensity on Heat Transfer Through Walls", ASHVE Transactions, vol 45 (1939), pp. 369-396.
- [17] Mackey, C. O. e Wright, L. T.; "Periodic Heat Flow - Homogeneous Walls or Roofs". ASHVE Transactions, vol 50 (1944), pp. 293-311.
- [18] Bliss, R. W.; "Atmospheric Radiation near the Surface of the Ground", Solar Energy, vol 5, nº 3 (1961), pp. 103.
- [19] Stewart, J. P.; "Solar Heat Gain through Walls and Roofs for Cooling Load Calculations", ASHVE Transactions, vol 54 (1948), pp. 361-388.
- [20] Mackey, C. O. e Wright, L. T.; "Periodic Heat Flow - Composite Walls or Roofs". ASHVE Transactions, vol 52 (1946), pp. 238-296.
- [21] Thomas, H.; "Elliptic Problems in Linear Difference Equation over a Network", Watson Science Comput. Lab. Report, Columbia University, New York (1949).
- [22] Peaceman, D. W. e Rachford, H. H.; "The Numerical Solution of Parabolic and Elliptic Differential Equations", Journal of S.I.A.M., vol 3, pp.28-41 (1955).
- [23] ASHRAE; 1967 Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, Georgia, USA, (1967).
- [24] Down, P. G.; Heating and Cooling Load Calculations, Pergamon Press, Oxford (1969).
- [25] Ferziger, J. H.; Numerical Methods for Engineering Applications, John Wiley and Sons Inc., New York, (1981).
- [26] Anderson, D., Tannehill, J. C. e Pletcher, R. H.; Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, (1984).
- [27] Lafara, R.; Computer Methods for Science and Engineering, International Textbook Company Limited, London (1973).
- [28] Kuo, S. S.; Computer Applications of Numerical Methods, Addison-Wesley Publishing Company, London (1972).
- [29] Rohsenow, W. M. e Hartnett, J. P.; Handbook of Heat Transfer, McGraw-Hill Inc., New York (1973).
- [30] ASHRAE; 1972 Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, Georgia, USA, (1972).
- [31] Stephenson, D.G. and Mitalas, G.P.: "Cooling Load Calculation by Thermal Response Factor Method", ASHRAE Transactions, vol 73(2):III.1.1. (1967).

- [32] Mitalas, G. P.; "Transfer Function Method of Calculating Cooling Loads, Heat Extraction Rate and Space Temperature". ASHRAE Journal, vol 14 (Dezembro 1972), pp. 52.
- [33] Stephenson, D.G. and Mitalas, G.P.: "Calculation of Heat Conduction Transfer Functions for Multi-layer Slabs", Comunicação apresentada na reunião anual da ASHRAE em Washington D. C., (Agosto 1981).
- [34] Rudoy W. e Durand F.; "Development of an Improved Cooling Load Calculation Method", ASHRAE Transactions, vol 81, Part II, (1975), pp. 19.
- [35] Bragança, L.; Cálculo de Cargas Térmicas de Paredes Exteriores com Sombramento Parcial, Dissertação apresentada à F.E.U.P. para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Térmica, Porto (1988).
- [36] Tseng-Yao Sun; "Air Conditioning Load Calculation", Heating/Piping/Air Conditioning, (Janeiro 1986), pp. 103-113.
- [37] Duffie, J. A. e Beckman, W. A.; Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons Inc., New York (1980).
- [38] Kimura, K.; Scientific Basis of Air Conditioning, Applied Science Publishers Ltd, London (1977).
- [39] Berlage, H.; "Zur Theorie der Beleuchtung einer horizontalen Fläche durch Tageslicht", Meteorologische Zeitschrift (Maio de 1928).
- [40] Nehring, G.; "Über den Wärmefluss durch Aussenwände und Dächer in Klimatisierte Räume infolge der periodischen Tagesgänge der bestimmenden Meteorologischen Elemente", Gesundheits-Ingenieur, nº 83, pp 8 (1962).
- [41] Nagata, T.; "Questions Against Berlage's Formula on Diffuse Sky Radiation", Transactions AIJ, (Outubro de 1975), pp 381.
- [42] Benford, F. e Bock J. E.; "A Time Analysis of Sunshine", Transactions of the American Illumination Engineering Society, nº 34, pp 200, New York (1939).
- [43] U. S. Hydrographic Office Publications; "Tables of Computed Altitude and Azimuth", nº 214, Washington D. C. (1940).
- [44] Wilson, M. J. e Van Swaay, J. M.; "Where Is The Sun?", Heating and Venting, (Maio de 1942).
- [45] Carrier, Air Conditioning Company; 1965 Handbook of Air Conditioning System Design, McGraw-Hill Book Company, New York (1965).
- [46] Jones, W. P.; Air Conditioning Engineering (Second Edition), Eduard Arnold (Publishers) Limited, London (1973).
- [47] Rietschel H. et Raiss W.; Traité de Chauffage et de Climatisation, Dunod, Paris (1974).

- [48] Jones, W. P.; Air Conditioning Engineering (Fourth Edition), Eduard Arnold (Publishers) Limited, London (1994).
- [49] Carslaw, H. S. e Jaeger, J. C.; Conduction of Heat in Solids, Oxford University Press, 2ª edição, Oxford (1959).
- [50] Arpaci, V. S.; Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley Publishing Company. Massachussets (1966).
- [51] Holman, J. P.; Transferência de Calor, McGraw-Hill Inc., São Paulo (1983).
- [52] Churchill, R. V.; Operational Mathematics, McGraw-Hill Inc., New York (1958).
- [53] Elgerd, O.; Control Systems Theory, McGraw-Hill Inc., Tokyo (1967).
- [54] Siegel, R. e Howell, J. R.; Thermal Radiation Heat Transfer, McGraw-Hill Inc., New York (1972).
- [55] York, D. A. and Cappiello, C. (editores); DOE-2 Engineers Manual, Technical Information Center United States Department of Energy, USA (1982).
- [56] Kerrisk, J. F.; "The Custom Weighting Factors Method for Thermal Load Calculation in DOE2 Computer Program", ASHRAE Transactions, vol 87 (1981).
- [57] Abrantes, V.; Análise Numérica e Experimental do Comportamento Térmico de Coberturas com Desvão, Dissertação apresentada à F.E.U.P. para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Porto (1984).
- [58] Almeida, M.; Simulação Térmica de Edifícios com um Modelo Numérico de Capacidade Térmica Variável, Dissertação apresentada à F.E.U.P. para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica, Porto (1994).
- [59] Mendes, J. C., Guerreiro M. R., Santos, C. A. P. e Paiva, J. A. V.; Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-dias, INMG/LNEC, Lisboa (1989).
- [60] Alexandre, J. L. C.; Análise do Método Utilizado pelo RCCTE para o Cálculo dos Ganhos Solares Úteis na Estação de Aquecimento, Dissertação apresentada à F.E.U.P. para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Térmica, Porto (1994).
- [61] Organisation Internationale de Normalisation (ISO); Isolation Thermique - Règles de Calcul - Partie I: Propriétés Thermiques des composants et éléments de Bâtiment en Regime Stationnaire, Genebra, ISO (1986), Norme Internationale ISO 6946/1.
- [62] J. Uyttenbrock, P. Friedman, N. Milbank e G. Kieper; Study for a Eurocode on the Rational use of Energy in Buildings, Comission of European Communities (CEC), Bruxelas, (Dezembro 1986).

- [63] Risø National Laboratory; European Wind Atlas, Roskilde, Denmark (1989).
- [64] Santos, C.A.P. e Paiva, J.A.V.; Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, LNEC, Lisboa (1990).
- [65] Mitalas G. P.; "Room Dynamic Response", Proceedings of Fourth International Symposium on the use of Computers for Environmental Engineering Related Buildings, Tokyo, (Março 1983).
- [66] Mitalas G. P.; "Calculating Cooling Load Caused by Lights", ASHRAE Journal, vol 15, nº 6, pp 7, (1973).
- [67] Mitalas G. P.; "An Experimental Check on the Weighting Factor Method of Calculating Room Cooling Load", ASHRAE Transactions, vol 75, parte II, pp 222, (1969).
- [68] Sowell, E. F. e Chiles, D. C.; "Characterization of Zone Dynamic Response for CLF/CLTD Tables", ASHRAE Transactions, vol 91 parte II, pp 162, (1985).
- [69] Rego-Teixeira, A.; Études Multiparamétriques des Facteurs d'Économie d'Énergie dans le Bâtiment, Fondées sur le Logiciel CALECO/DOE.2, These présenté à l'Université Paris VII pour obtenir le titre de Docteur en Sciences, Spécialité - Énergie, (1987).
- [70] ASA; Updating Cooling Load Temperature Differences and Cooling Load Factors for Chapter 26, Handbook of Fundamentals, Final Report, ASHRAE Research Project 359-RP, Ayres Sowell Associates, (1984).
- [71] Oliveira Fernandes, E. e Maldonado, E.; Manual de Apoio ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Direcção Geral de Energia, Lisboa (1992).
- [72] Santos, C.A.P. e Paiva, J.A.V.; Caracterização Térmica de Paredes de Alvenaria, LNEC, Lisboa (1986).
- [73] Sowell, E. F. e Chiles, D. C.; "Zone Descriptions and Response Characterization for CLF/CLTD Calculations", ASHRAE Transactions, vol 91 parte II, pp 179, (1985).
- [74] Bragança, L. e Maldonado, E.; "Cargas Térmicas Resultantes da Exposição Solar em Paredes de Alvenaria", VI Congresso Ibérico de Energia Solar, pp 453, Lisboa (1993).
- [75] Bragança, L. e Maldonado, E.; "Cargas Térmicas de Arrefecimento Provenientes das Coberturas dos Edifícios", VII Congresso Ibérico de Energia Solar, pp 645, Vigo (1994).
- [76] Gonçalves, H.; Comportamento de Sistemas Solares Passivos em Edifícios, Dissertação apresentada à F.E.U.P. para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Térmica, Porto (1986).

- [77] Gonçalves, H.; Interacção de Sistemas Solares Passivos de Ganho Directo e de Ganho Indirecto - Estudo Numérico e Experimental, Dissertação apresentada à F.E.U.P. para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica, Porto (1990).
- [78] Maldonado E.; Final Report of the Experimental Testing Subgroup (ETS), Project PASCOOL, Directorate General XII for Science and Development, University of Porto (1995).
- [79] Vild, D. J.; "Solar Heat Gains and Shading Coefficients", ASHRAE Journal 6(10):47, (1964).

ANEXO A - Inversão da Transformada de Laplace

A solução geral para a inversão das transformadas de Laplace [52] é a seguinte:

$$f(t) = L^{-1}[f(s)] = \frac{1}{2\pi j} \lim_{\beta \rightarrow \infty} \int_{\gamma - j\beta}^{\gamma + j\beta} e^{st} f(s) ds \quad (A.1)$$

Nesta expressão, conhecida por Teorema da Inversão, γ e β são números reais e s pertence ao conjunto de números complexos.

Exemplificando a aplicação da equação A.1 para $X_r(s)$, tem-se:

$$\begin{aligned} X_r(t) = L^{-1}[X_r(s)] &= \frac{1}{2\pi j} \lim_{\beta \rightarrow \infty} \int_{\gamma - j\beta}^{\gamma + j\beta} e^{st} X_r(s) ds = \\ &= \frac{1}{2\pi j} \lim_{\beta \rightarrow \infty} \int_{\gamma - j\beta}^{\gamma + j\beta} e^{st} \frac{1}{s^2} \frac{D(s)}{B(s)} ds \end{aligned} \quad (A.2)$$

A solução de A.2 é a seguinte [52]:

$$X_r(t) = t \left[\frac{D(s)}{B(s)} \right]_{s=0} + \frac{d}{ds} \left[\frac{D(s)}{B(s)} \right]_{s=0} + \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\beta_k t} \frac{1}{\beta_k^2} \left[\frac{D(s)}{B'(s)} \right]_{s=-\beta_k} \quad (A.3)$$

Os termos $B(s)$ e $D(s)$ são os elementos da matriz de transferência $[M]$ definida em II.38 e, para uma parede constituída por n camadas, calculam-se do seguinte modo:

$$[M] = \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} A_i(s) & B_i(s) \\ C_i(s) & D_i(s) \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n [M_i] \quad (A.4)$$

O termo $\frac{d}{ds} \left[\frac{D(s)}{B(s)} \right]$ calcula-se como a derivada de um quociente, portanto:

$$\frac{d}{ds} \left[\frac{D(s)}{B(s)} \right] = \left[\frac{\frac{dD}{ds} B - D \frac{dB}{ds}}{B^2} \right] \quad (A.5)$$

ou seja, $\frac{d}{ds} \left[\frac{D(s)}{B(s)} \right]$ pode-se obter da derivada da matriz de transferência:

$$\left[\frac{dM}{ds} \right] = \sum_{m=1}^n \left(\prod_{i=1}^{m-1} [M_i] \right) \left[\frac{dM_m}{ds} \right] \left(\prod_{i=m+1}^n [M_i] \right) \quad (A.6)$$

Para cada camada da parede a matriz $[M_i(s)]$ pode-se calcular (II.34) como:

$$[M_i(s)] = \begin{bmatrix} \cosh\left(d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right) & \frac{\sinh\left(d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right)}{k_i \sqrt{s/\alpha_i}} \\ k_i \sqrt{s/\alpha_i} \sinh\left(d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right) & \cosh\left(d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right) \end{bmatrix} \quad (A.6)$$

A derivada, $\frac{d}{ds} [M_i]$, para cada camada pode-se obter de:

$$\frac{d}{ds} [M_i] = \begin{bmatrix} M'_{i1} & M'_{i2} \\ M'_{i3} & M'_{i4} \end{bmatrix} \quad (A.7)$$

onde:

$$M'_{i1} = M'_{i4} = \frac{1}{2} \frac{d_i}{\alpha_i} \frac{\sinh\left(d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right)}{\sqrt{s/\alpha_i}} \quad (A.8)$$

$$M'_{i2} = -\frac{1}{2} \frac{1}{k_i s} \frac{1}{\sqrt{s/\alpha_i}} \sinh\left[d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right] + \frac{1}{2} \frac{d_i}{k_i s} \cosh\left[d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right] \quad (A.9)$$

$$M'_{i3} = \frac{1}{2} \frac{k_i}{\alpha_i} \frac{1}{\sqrt{s/\alpha_i}} \sinh\left[d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right] + \frac{1}{2} \frac{k_i d_i}{\alpha_i} \cosh\left[d_i \sqrt{s/\alpha_i}\right] \quad (A.10)$$

Após terem sido definidos $D(s)$ e $B'(s)$, durante os cálculos anteriores, o último termo da equação A.3 (designado por residuo), calcula-se através da determinação dos zeros,

β_k , de $B(s)$. Deste modo o termo $\sum_{k=1}^{n^{\circ}\text{raizes}} e^{-\beta_k \Delta i} \frac{1}{\beta_k^2} \left[\frac{D(s)}{B'(s)} \right]_{s=-\beta_k}$ é calculado para cada hora i .

As funções de resposta $Y_r(t)$ e $Z_r(t)$ obtêm-se de forma análoga, equações A.11 e A.12, respectivamente:

$$Y_r(t) = t \left[\frac{1}{B(s)} \right]_{s=0} + \frac{d}{ds} \left[\frac{1}{B(s)} \right]_{s=0} + \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\beta_k t} \frac{1}{\beta_k^2} \left[\frac{1}{B'(s)} \right]_{s=-\beta_k} \quad (\text{A.11})$$

$$Z_r(t) = t \left[\frac{A(s)}{B(s)} \right]_{s=0} + \frac{d}{ds} \left[\frac{A(s)}{B(s)} \right]_{s=0} + \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\beta_k t} \frac{1}{\beta_k^2} \left[\frac{A(s)}{B'(s)} \right]_{s=-\beta_k} \quad (\text{A.12})$$

ANEXO B - Equivalência entre Transformadas

Tabela de equivalência entre transformadas

$f(t)$	$f(s)$	$f(z)$
1	$\frac{1}{s}$	$\frac{1}{1 - z^{-1}}$
t	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{\Delta}{z(1 - z^{-1})^2}$
t^2	$\frac{2}{s^3}$	$\frac{\Delta^2(1 + z^{-1})}{z(1 - z^{-1})^3}$
e^{-at}	$\frac{1}{s + a}$	$\frac{1}{(1 - e^{-a\Delta} z^{-1})}$

Anexo C - Programa para o Cálculo de Fluxos de Calor e Cargas Térmicas

```

C
C      PROGRAMA CLASSE.FOR
C
C      CALCULA O FLUXO DE CALOR E A CARGA TÉRMICA
C
C      CALL FR
C      CALL FLUXO
C      CALL CLTD
C      END
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C      SUBROUTINE FR
C
C      INTEGER K(125),VAR1
C      DOUBLE PRECISION Y(125),X(125),Z(125),VAR2,CR,U,XERR,YERR,ZERR
C      OPEN(22,FILE='FR1.TXT',STATUS='UNKNOWN')
C      OPEN(21,FILE='FR2.TXT',STATUS='UNKNOWN')
C
C      I=1
10    READ (22,*,END=20) K(I),X(I),Y(I),Z(I)
      I=I+1
      GO TO 10
C
20    VAR1=K(I)
      CR=X(I)
      U=Y(I)
      VAR2=Z(I)
      I=I-1
C
30    XERR=ABS((X(I)-X(I-1))/X(I))
      YERR=ABS((Y(I)-Y(I-1))/Y(I))
      ZERR=ABS((Z(I)-Z(I-1))/Z(I))
      IF (XERR.GT.1E-04.OR.YERR.GT.1E-04.OR.ZERR.GT.1E-04) THEN
        J=I+1
        K(J)=K(J-1)+1
        X(J)=X(J-1)*CR
        Y(J)=Y(J-1)*CR
        Z(J)=Z(J-1)*CR
        M=J
        GO TO 30
      END IF
C
      WRITE (21, '(I3)') M
      DO 40 J=1,M
        WRITE (21, '(I12,F18.10,2F15.10)') K(J),X(J),Y(J),Z(J)
40    CONTINUE
      WRITE (21, '(F16.3)') U
      CLOSE(21)
      CLOSE(22)
      RETURN
      END

```

```

C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
      SUBROUTINE FLUXO
C
C      CALCULA FLUXOS DE CALOR EM FUNÇÃO DE:
C      -TEMP. EXT.
C      -RAD.
C      -FACTORES DE RESPOSTA TÉRMICA
C
      INTEGER K(150),HR
      REAL U
      DOUBLE PRECISION Q(300),TAS(300),TINT(300)
      REAL X(150),Y(150),Z(150)
C
      OPEN(19,FILE='TINT.TXT',STATUS='UNKNOWN')
      OPEN(20,FILE='TAS.TXT',STATUS='UNKNOWN')
      OPEN(21,FILE='FR2.TXT',STATUS='UNKNOWN')
      OPEN(22,FILE='FLUXOS.TXT',STATUS='UNKNOWN')
C
      DO 1 I=1,24
      READ(19,*) HR,TINT(I)
1      READ(20,*) HR,TAS(I)
C
      READ(21,*) M
      DO 11 I=1,M
      READ(21,*) K(I),X(I),Y(I),Z(I)
11      CONTINUE
C
      READ(21,*) U
C
      DO 2 I=25,264
      TINT(I)=TINT(I-24)
2      TAS(I)=TAS(I-24)
C
      DO 5 I=121,264
      Q(I)=0.0
C
      DO 6 N=1,M
      Q(I)=Q(I)+Y(N)*TAS(I+1-N)-Z(N)*TINT(I+1-N)
6
C
5      CONTINUE
C
      DO 8 I=241,264
      WRITE(22,'(I4,F9.2)') I-240,Q(I)
8
C
      CLOSE(20)
      CLOSE(21)
      CLOSE(22)
C
      RETURN
      END

```

```

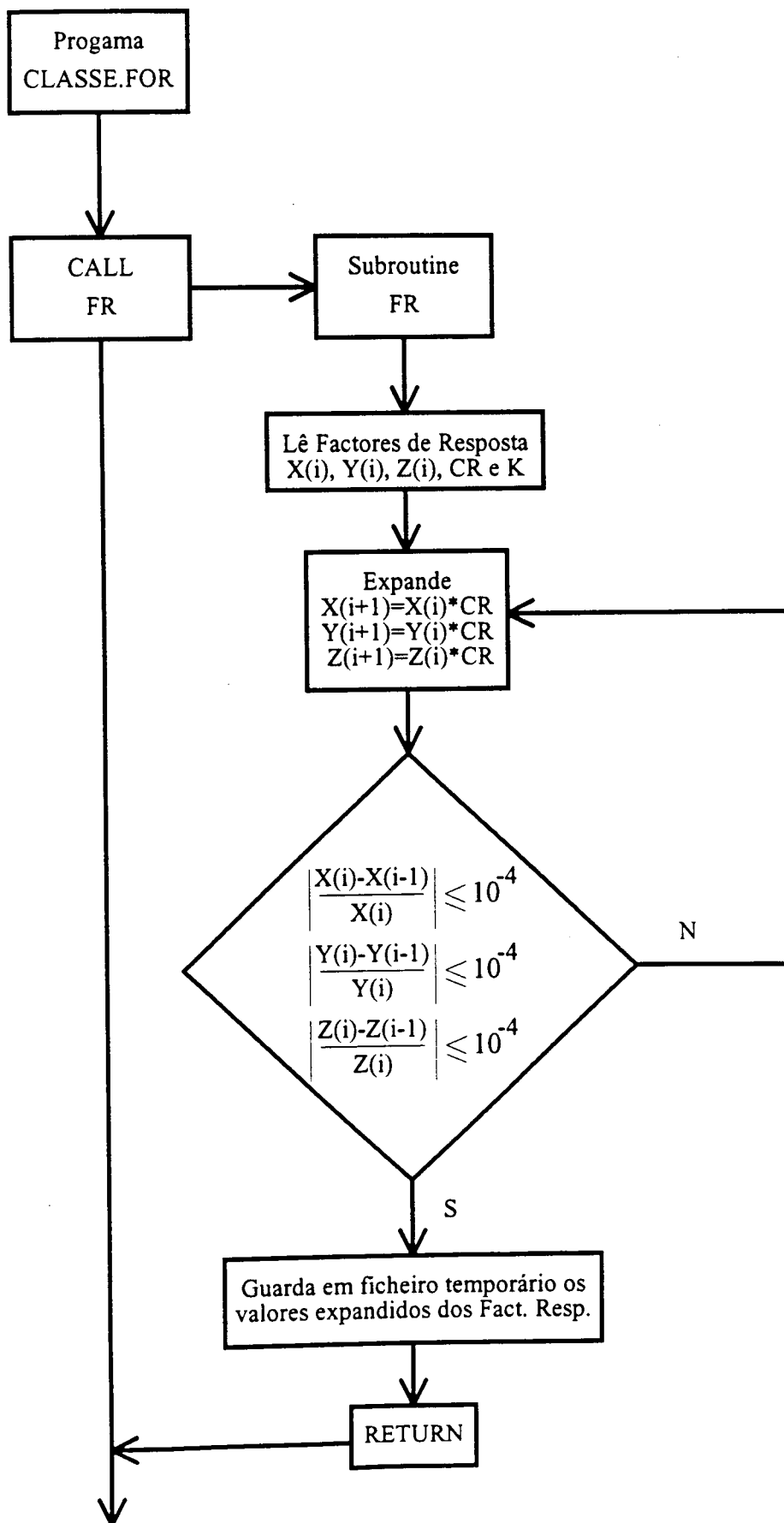
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
    SUBROUTINE CLTD
C
    CALCULA CLTD's EM FUNÇÃO DE:
C    -FLUXO DE CALOR / U
C    -INÉRCIA TÉRMICA
C
    INTEGER HRMIN,HRMAX
    REAL MAX,MIN,DTE
    REAL V0,V1,V2,W1,W2
    DOUBLE PRECISION (300),Q(300)
C
    OPEN(19,FILE='INERCIA.TXT',STATUS='UNKNOWN')
    OPEN(20,FILE='FLUXOS.TXT',STATUS='UNKNOWN')
    OPEN(21,FILE='CARGA.RES',STATUS='UNKNOWN')
C
    READ(19,*) V0
    READ(19,*) V1
    READ(19,*) V2
    READ(19,*) W1
    READ(19,*) W2
C
    DO 1 I=1,24
    READ(20,*) LL,FL(I)
    Q(I)=0.0
1    CONTINUE
C
    DO 2 I=1,264
    Q(I)=0.0
    FL(I+24)=FL(I)
2    CONTINUE
C
    DO 3 I=49,264
    Q(I)=V0*FL(I)+V1*FL(I-1)+V2*FL(I-2)+
3    + (W1*Q(I-1)+W2*Q(I-2))
C
    DO 4 I=241,264
    WRITE(21,'(I8,F7.1)') I-240,Q(I)
4
C
    CLOSE(19)
    CLOSE(20)
    CLOSE(21)
C
    OPEN(21,FILE='RES.RES',STATUS='UNKNOWN')
C
    DO 10 I=1,24
    READ(21,*) LL,Q(I)
10    CONTINUE
C
    MAX=0.0
    MIN=100.0
    HRMIN=50
    HRMAX=50
11    DTE=0.0
C
    DO 12 I=1,24

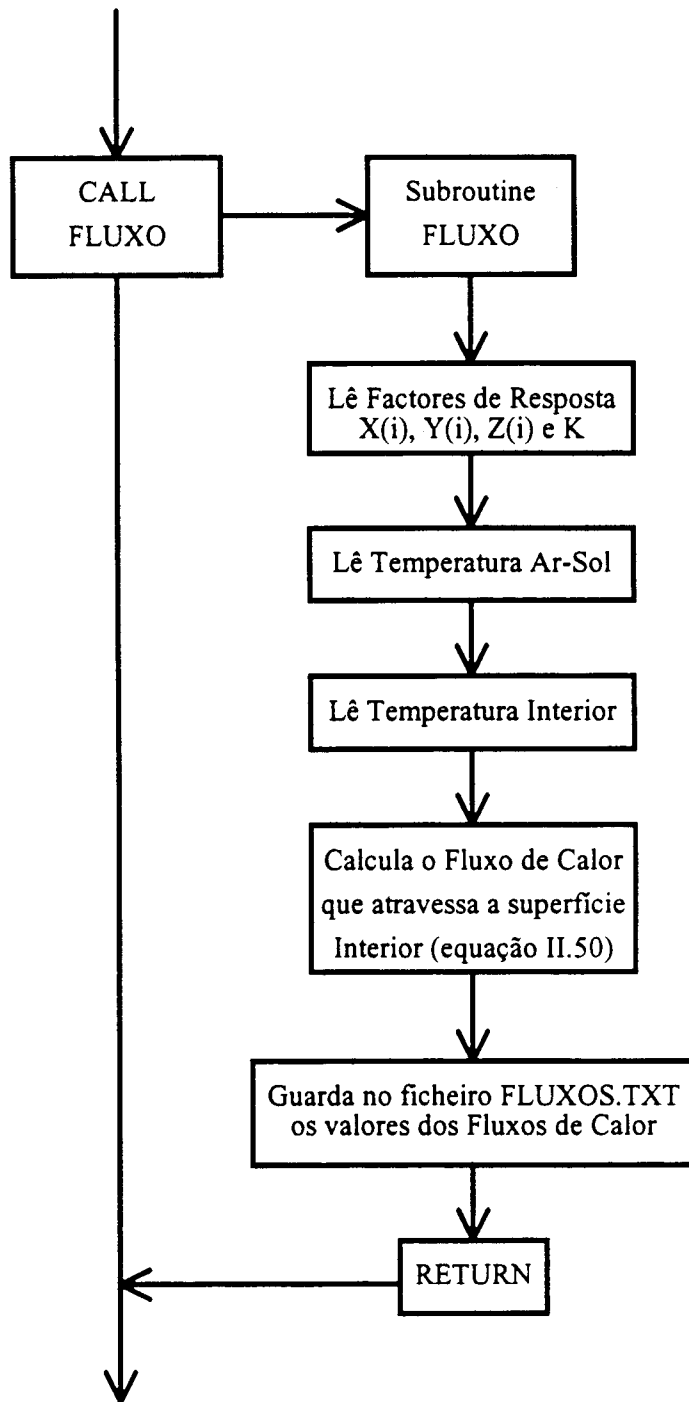
```

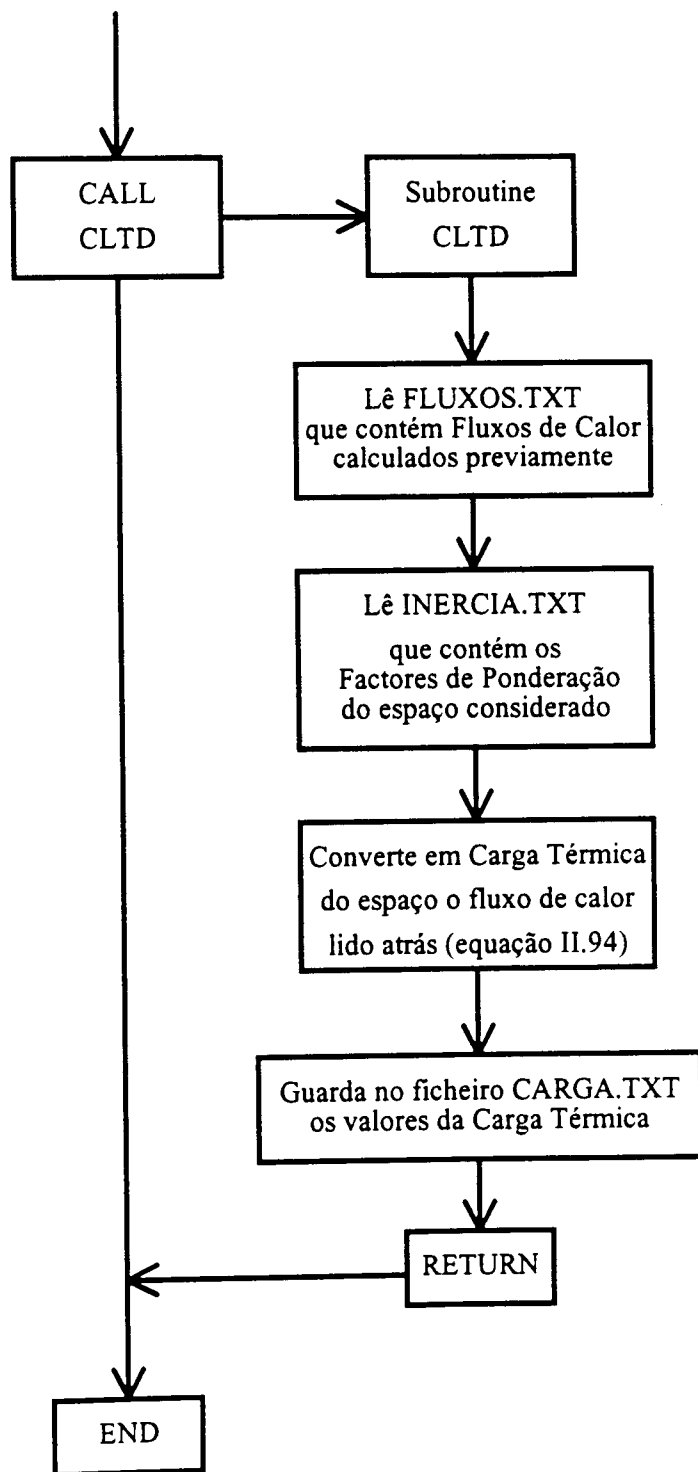
```

IF(Q(I).GE.MAX) MAX=Q(I)
IF(Q(I).GE.MAX) HRMAX=I
IF(MIN.GE.Q(I)) MIN=Q(I)
IF(MIN.GE.Q(I)) HRMIN=I
12 CONTINUE
C
DO 13 I=10,21
DTE=DTE+Q(I)/12.
13 CONTINUE
C
WRITE(21,('(4X,A,I7)') ' HMX',HRMAX
WRITE(21,('(4X,A,F7.1)') ' MX',MAX
WRITE(21,('(4X,A,I7)') ' HMN',HRMIN
WRITE(21,('(4X,A,F7.1)') ' MN',MIN
WRITE(21,('(4X,A,F7.1)') ' DTE',DTE
C
CLOSE(21)
C
RETURN
END

```







Anexo D - Temperatura dos Diversos Tipos de Desvãos de Coberturas

Desvão com 0 rph, revestimento de cor escura e com laje isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	24,6	23,6	23,1	22,5	22,3	22,6	26,1	31,1	36,5	41,5	45,6	48,6	50,4	50,5	49,0	46,0	42,1	37,3	32,8	30,6	29,3	27,9	26,7	25,4
2 águas ESTE-OESTE	24,7	23,7	23,2	22,5	22,3	23,1	26,5	31,2	36,6	41,5	45,7	48,6	50,3	50,4	48,8	45,9	42,0	37,5	33,4	30,6	29,2	27,8	26,8	25,5
1 água SUL	25,7	24,7	24,0	23,3	23,1	22,8	25,2	29,9	35,3	40,5	44,9	48,1	50,1	50,3	48,8	45,9	41,8	37,0	33,1	31,6	30,3	28,9	27,8	26,5
1 água NORTE	25,4	24,4	23,8	23,1	22,9	23,5	26,6	30,4	34,3	37,9	40,9	43,2	44,9	45,5	44,8	43,2	40,8	37,5	33,7	31,2	29,9	28,5	27,4	26,2
1 água OESTE	26,1	25,0	24,3	23,6	23,3	23,0	23,3	25,7	30,2	35,2	40,1	44,3	47,7	49,8	50,2	49,2	46,5	42,1	36,3	32,6	31,0	29,5	28,3	27,0
1 água ESTE	25,6	24,6	24,0	23,3	23,0	24,4	29,6	35,0	39,9	43,8	46,6	47,9	47,9	46,6	43,9	40,4	36,7	33,4	32,2	31,1	30,0	28,8	27,7	26,5
Média	25,3	24,3	23,7	23,0	22,8	23,2	26,2	30,6	35,5	40,1	44,0	46,8	48,5	48,9	47,6	45,1	41,7	37,5	33,6	31,3	29,9	28,6	27,5	26,2

Desvão com 9 rph, revestimento de cor escura e com laje isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	22,5	21,5	21,2	20,6	20,7	21,2	24,0	27,7	31,9	35,8	38,8	40,9	42,3	42,5	41,2	39,2	36,5	33,1	30,0	28,1	26,9	25,6	24,5	23,2
2 águas ESTE-OESTE	22,5	21,5	21,2	20,6	20,8	21,5	24,3	27,8	31,9	35,8	38,8	40,9	42,3	42,5	41,2	39,1	36,5	33,2	30,3	28,1	26,9	25,6	24,5	23,2
1 água SUL	22,4	21,4	21,1	20,5	20,7	20,8	22,9	26,1	29,9	33,5	36,4	38,4	39,7	40,0	38,9	37,1	34,8	31,9	29,4	28,0	26,9	25,5	24,5	23,1
1 água NORTE	22,4	21,4	21,1	20,5	20,6	21,3	23,7	26,4	29,4	32,2	34,5	36,1	37,4	37,8	37,2	36,1	34,6	32,3	29,9	27,9	26,8	25,4	24,4	23,0
1 água OESTE	22,6	21,5	21,2	20,6	20,8	20,9	22,0	24,1	27,4	31,0	34,2	36,7	38,9	40,0	39,8	38,9	37,2	34,4	31,0	28,4	27,2	25,7	24,7	23,2
1 água ESTE	22,5	21,5	21,2	20,6	20,8	21,7	25,1	28,6	32,0	35,0	37,0	38,1	38,6	38,1	36,5	34,5	32,4	30,3	29,2	27,9	26,9	25,6	24,6	23,2
Média	22,5	21,5	21,2	20,6	20,7	21,2	23,7	26,8	30,4	33,9	36,6	38,5	39,9	40,2	39,1	37,5	35,3	32,5	30,0	28,1	27,0	25,6	24,5	23,1

Desvão com 28 rph, revestimento de cor escura e com laje isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	21,5	20,5	20,4	19,8	20,1	20,6	22,9	25,7	29,0	32,0	34,4	36,0	37,2	37,5	36,6	35,2	33,4	31,0	28,8	27,1	26,1	24,6	23,6	22,1
2 águas ESTE-OESTE	21,5	20,5	20,4	19,8	20,1	20,8	23,1	25,7	29,0	32,1	34,4	36,0	37,2	37,5	36,5	35,1	33,4	31,1	29,1	27,2	26,1	24,6	23,6	22,1
1 água SUL	21,4	20,4	20,2	19,7	20,0	20,4	22,3	24,6	27,6	30,4	32,6	34,1	35,3	35,7	34,9	33,7	32,3	30,3	28,6	27,1	26,0	24,5	23,5	22,0
1 água NORTE	21,4	20,4	20,2	19,7	20,0	20,6	22,6	24,8	27,4	29,8	31,7	33,0	34,2	34,7	34,1	33,2	32,2	30,6	28,8	27,1	26,0	24,5	23,5	22,0
1 água OESTE	21,5	20,4	20,3	19,7	20,1	20,4	21,8	23,7	26,4	29,3	31,6	33,4	34,9	35,7	35,3	34,6	33,4	31,5	29,3	27,2	26,1	24,6	23,6	22,1
1 água ESTE	21,5	20,4	20,3	19,7	20,1	20,8	23,3	25,9	28,6	31,1	32,9	34,0	34,7	34,8	33,7	32,4	31,1	29,6	28,5	27,1	26,1	24,6	23,6	22,1
Média	21,5	20,4	20,3	19,7	20,1	20,6	22,7	25,1	28,0	30,8	33,0	34,4	35,6	36,0	35,2	34,0	32,6	30,7	28,9	27,1	26,1	24,6	23,6	22,1

Desvão com 0 rph, revestimento de cor clara e com laje isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	22,8	22,0	21,6	21,0	21,0	21,2	23,3	26,2	29,5	32,6	35,1	36,9	38,1	38,4	37,6	36,1	34,0	31,3	28,8	27,3	26,4	25,3	24,5	23,4
2 águas ESTE-OESTE	22,8	22,0	21,7	21,1	21,1	21,5	23,5	26,4	29,6	32,7	35,2	36,9	38,1	38,4	37,6	36,1	34,0	31,5	29,1	27,4	26,4	25,4	24,5	23,5
1 água SUL	23,7	22,9	22,5	21,9	21,7	21,6	23,1	25,7	28,9	32,0	34,6	36,5	37,8	38,2	37,5	36,0	33,9	31,3	29,1	28,1	27,2	26,2	25,3	24,3
1 água NORTE	23,7	22,8	22,4	21,8	21,6	21,9	23,8	26,0	28,4	30,7	32,6	34,0	35,2	35,8	35,6	34,8	33,6	31,8	29,6	28,1	27,2	26,2	25,3	24,3
1 água OESTE	24,0	23,2	22,7	22,1	21,9	21,8	22,2	23,7	26,4	29,5	32,4	34,9	37,0	38,3	38,6	38,0	36,7	34,3	31,1	28,8	27,8	26,7	25,8	24,7
1 água ESTE	24,0	23,1	22,7	22,1	21,9	22,6	25,5	28,5	31,4	33,8	35,5	36,5	36,8	36,3	35,0	33,3	31,4	29,7	29,0	28,2	27,5	26,5	25,7	24,7
Média	23,5	22,7	22,3	21,7	21,5	21,8	23,6	26,1	29,0	31,9	34,2	36,0	37,2	37,6	37,0	35,7	33,9	31,6	29,5	28,0	27,1	26,1	25,2	24,2

Desvão com 9 rph, revestimento de cor clara e com laje isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	21,8	20,9	20,7	20,1	20,3	20,6	22,5	25,0	27,8	30,5	32,7	34,2	35,3	35,7	34,9	33,7	32,2	30,2	28,2	26,7	25,8	24,6	23,7	22,4
2 águas ESTE-OESTE	21,8	20,9	20,7	20,2	20,4	20,9	22,7	25,1	27,9	30,6	32,7	34,2	35,3	35,6	34,9	33,7	32,2	30,2	28,4	26,8	25,8	24,6	23,7	22,4
1 água SUL	21,9	21,0	20,8	20,2	20,4	20,5	22,1	24,3	27,0	29,6	31,7	33,1	34,3	34,7	34,0	33,0	31,7	29,8	28,2	27,0	26,1	24,8	23,8	22,5
1 água NORTE	21,9	21,0	20,8	20,2	20,4	20,8	22,5	24,4	26,7	28,9	30,7	32,0	33,0	33,6	33,2	32,5	31,6	30,2	28,6	27,0	26,1	24,8	23,9	22,5
1 água OESTE	22,0	21,0	20,8	20,2	20,4	20,6	21,7	23,3	25,8	28,4	30,7	32,4	34,0	34,9	34,6	34,0	33,0	31,3	29,2	27,3	26,3	25,0	24,0	22,6
1 água ESTE	22,1	21,1	20,9	20,3	20,5	21,1	23,3	25,6	28,1	30,4	32,0	33,0	33,7	33,7	32,8	31,7	30,5	29,1	28,3	27,1	26,3	25,0	24,0	22,7
Média	21,9	21,0	20,8	20,2	20,4	20,8	22,5	24,6	27,2	29,7	31,8	33,2	34,3	34,7	34,1	33,1	31,9	30,1	28,5	27,0	26,0	24,8	23,8	22,5

Desvão com 28 rph, revestimento de cor clara e com laje isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	21,3	20,3	20,2	19,6	20,0	20,4	22,2	24,2	26,8	29,2	31,1	32,4	33,5	33,9	33,2	32,3	31,2	29,6	28,1	26,6	25,6	24,2	23,2	21,8
2 águas ESTE-OESTE	21,3	20,3	20,2	19,7	20,0	20,5	22,3	24,3	26,8	29,2	31,1	32,4	33,5	33,9	33,2	32,3	31,3	29,7	28,2	26,6	25,6	24,2	23,2	21,9
1 água SUL	21,3	20,2	20,1	19,6	19,9	20,3	21,9	23,8	26,2	28,6	30,4	31,6	32,7	33,2	32,6	31,8	30,9	29,5	28,1	26,7	25,7	24,3	23,3	21,8
1 água NORTE	21,3	20,2	20,1	19,6	19,9	20,4	22,1	23,9	26,1	28,3	29,9	31,1	32,2	32,7	32,2	31,6	30,9	29,7	28,3	26,8	25,8	24,3	23,3	21,8
1 água OESTE	21,3	20,3	20,2	19,6	20,0	20,4	21,7	23,3	25,6	28,0	29,9	31,3	32,6	33,3	32,9	32,4	31,6	30,2	28,6	26,9	25,8	24,4	23,3	21,9
1 água ESTE	21,3	20,3	20,2	19,7	20,0	20,6	22,5	24,4	26,7	28,9	30,6	31,6	32,5	32,7	32,0	31,2	30,4	29,1	28,2	26,8	25,8	24,4	23,4	21,9
Média	21,3	20,3	20,2	19,6	20,0	20,4	22,1	24,0	26,4	28,7	30,5	31,8	32,8	33,3	32,7	32,0	31,0	29,6	28,3	26,7	25,7	24,3	23,3	21,9

Desvão com 0 rph, revestimento de cor escura e com laje não isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	28,3	27,6	27,2	26,6	26,4	26,4	28,4	31,3	34,5	37,7	40,3	42,2	43,5	43,9	43,1	41,5	39,2	36,4	33,6	32,2	31,3	30,5	29,8	28,9
2 águas ESTE-OESTE	28,6	27,9	27,5	26,9	26,7	27,0	28,8	31,6	34,9	38,1	40,8	42,8	44,1	44,4	43,7	42,1	39,8	37,1	34,6	32,7	31,8	30,9	30,1	29,3
1 água SUL	28,7	28,0	27,5	27,0	26,7	26,5	28,1	31,3	35,1	38,8	41,9	44,2	45,6	45,9	44,9	42,8	40,0	36,6	33,8	32,7	31,8	31,0	30,2	29,3
1 água NORTE	28,1	27,4	26,9	26,4	26,2	26,6	28,7	31,3	34,0	36,6	38,7	40,4	41,6	42,0	41,6	40,5	38,8	36,5	33,8	32,0	31,1	30,3	29,5	28,7
1 água OESTE	29,0	28,2	27,7	27,1	26,9	26,6	26,8	28,4	31,4	34,9	38,3	41,3	43,7	45,2	45,6	44,9	43,1	40,1	36,0	33,3	32,2	31,3	30,5	29,6
1 água ESTE	28,6	27,9	27,4	26,8	26,6	27,5	31,0	34,8	38,3	41,1	43,1	44,0	44,1	43,2	41,3	38,9	36,2	34,0	33,1	32,3	31,6	30,8	30,1	29,2
Média	28,6	27,8	27,4	26,8	26,6	26,8	28,6	31,5	34,7	37,9	40,5	42,5	43,8	44,1	43,3	41,8	39,5	36,8	34,2	32,6	31,7	30,8	30,0	29,2

Desvão com 9 rph, revestimento de cor escura e com laje não isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	24,7	23,9	23,6	23,1	23,1	23,3	25,1	27,7	30,6	33,4	35,7	37,3	38,5	38,8	38,1	36,8	35,1	32,8	30,6	29,2	28,3	27,2	26,4	25,3
2 águas ESTE-OESTE	24,9	24,1	23,8	23,2	23,2	23,6	25,4	27,8	30,8	33,6	36,0	37,6	38,8	39,2	38,4	37,2	35,4	33,2	31,2	29,5	28,5	27,4	26,6	25,5
1 água SUL	23,8	22,9	22,6	22,1	22,1	22,3	24,0	26,5	29,5	32,4	34,8	36,5	37,7	38,0	37,2	35,8	34,0	31,7	29,7	28,5	27,6	26,4	25,5	24,3
1 água NORTE	23,6	22,7	22,5	21,9	22,0	22,5	24,4	26,6	29,0	31,4	33,3	34,6	35,7	36,2	35,7	34,8	33,7	31,9	30,0	28,3	27,4	26,2	25,3	24,2
1 água OESTE	23,8	22,9	22,7	22,2	22,3	22,4	23,2	24,9	27,6	30,5	33,0	35,1	36,9	37,8	37,7	37,0	35,7	33,6	30,9	28,8	27,8	26,6	25,7	24,4
1 água ESTE	23,8	22,9	22,6	22,1	22,2	22,9	25,6	28,4	31,2	33,6	35,3	36,3	36,8	36,5	35,3	33,8	32,1	30,4	29,5	28,4	27,6	26,4	25,6	24,3
Média	24,1	23,2	23,0	22,4	22,5	22,8	24,6	27,0	29,8	32,5	34,7	36,2	37,4	37,8	37,1	35,9	34,3	32,3	30,3	28,8	27,9	26,7	25,8	24,7

Desvão com 28 rph, revestimento de cor escura e com laje não isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	22,8	21,8	21,6	21,1	21,3	21,7	23,4	25,6	28,2	30,8	32,8	34,1	35,2	35,6	35,0	34,0	32,7	30,9	29,2	27,7	26,8	25,5	24,6	23,3
2 águas ESTE-OESTE	22,8	21,9	21,7	21,2	21,4	21,9	23,6	25,7	28,3	30,9	32,9	34,3	35,5	35,8	35,2	34,2	32,9	31,2	29,5	27,9	26,9	25,6	24,7	23,4
1 água SUL	22,0	21,1	20,9	20,4	20,7	21,0	22,7	24,7	27,3	29,9	31,9	33,3	34,4	34,8	34,1	33,1	31,9	30,2	28,7	27,3	26,3	24,9	24,0	22,6
1 água NORTE	22,0	21,0	20,9	20,3	20,6	21,1	22,9	24,8	27,1	29,4	31,1	32,3	33,4	33,9	33,4	32,7	31,8	30,4	28,9	27,3	26,3	24,9	23,9	22,5
1 água OESTE	22,1	21,1	21,0	20,4	20,7	21,1	22,3	24,0	26,4	28,9	31,0	32,6	34,0	34,7	34,4	33,8	32,8	31,2	29,3	27,4	26,4	25,0	24,1	22,7
1 água ESTE	22,1	21,1	21,0	20,4	20,7	21,4	23,5	25,7	28,2	30,5	32,1	33,1	33,9	34,0	33,1	32,1	31,0	29,6	28,6	27,3	26,3	25,0	24,0	22,6
Média	22,3	21,3	21,2	20,6	20,9	21,4	23,1	25,1	27,6	30,0	32,0	33,3	34,4	34,8	34,2	33,3	32,2	30,6	29,0	27,5	26,5	25,2	24,2	22,9

Desvão com 0 rph, revestimento de cor clara e com laje não isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	25,3	24,7	24,4	23,9	23,8	23,8	24,9	26,6	28,6	30,5	32,1	33,3	34,2	34,5	34,2	33,4	32,2	30,6	29,1	28,2	27,6	27,0	26,4	25,7
2 águas ESTE-OESTE	25,6	25,0	24,7	24,2	24,1	24,2	25,3	26,9	28,9	30,9	32,6	33,9	34,8	35,2	34,8	34,0	32,8	31,3	29,9	28,7	28,1	27,4	26,8	26,1
1 água SUL	25,5	24,9	24,6	24,1	24,0	23,8	24,8	26,7	28,9	31,1	32,9	34,3	35,3	35,6	35,1	34,0	32,5	30,8	29,2	28,5	27,9	27,2	26,7	25,9
1 água NORTE	25,3	24,7	24,3	23,9	23,7	23,9	25,2	26,7	28,4	30,0	31,4	32,4	33,2	33,7	33,5	33,0	32,2	30,9	29,4	28,3	27,7	27,0	26,4	25,7
1 água OESTE	25,7	25,1	24,8	24,3	24,2	24,1	24,3	25,3	27,2	29,3	31,3	33,1	34,6	35,6	35,7	35,4	34,5	32,8	30,6	29,0	28,3	27,6	27,0	26,2
1 água ESTE	25,7	25,1	24,7	24,3	24,1	24,5	26,5	28,6	30,7	32,4	33,7	34,3	34,6	34,3	33,3	32,1	30,8	29,6	29,1	28,6	28,1	27,5	26,9	26,2
Média	25,5	24,9	24,6	24,1	24,0	24,1	25,2	26,8	28,8	30,7	32,3	33,6	34,5	34,8	34,4	33,6	32,5	31,0	29,5	28,5	28,0	27,3	26,7	26,0

Desvão com 9 rph, revestimento de cor clara e com laje não isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	23,4	22,7	22,4	21,9	22,0	22,1	23,4	25,1	27,1	29,1	30,8	31,9	32,8	33,3	32,8	32,1	31,1	29,8	28,4	27,3	26,6	25,6	24,9	23,9
2 águas ESTE-OESTE	23,6	22,8	22,6	22,1	22,1	22,4	23,7	25,3	27,3	29,4	31,0	32,3	33,2	33,6	33,2	32,5	31,5	30,2	28,9	27,6	26,8	25,8	25,1	24,1
1 água SUL	22,8	22,0	21,8	21,3	21,4	21,6	22,8	24,6	26,8	29,0	30,7	32,0	32,9	33,3	32,8	32,0	31,0	29,5	28,2	27,1	26,3	25,3	24,5	23,3
1 água NORTE	22,8	21,9	21,7	21,2	21,4	21,7	23,1	24,7	26,6	28,5	29,9	31,0	32,0	32,4	32,1	31,6	30,9	29,7	28,4	27,2	26,3	25,2	24,4	23,3
1 água OESTE	22,9	22,1	21,9	21,4	21,5	21,7	22,6	23,9	25,9	28,0	29,9	31,4	32,7	33,4	33,2	32,8	32,0	30,6	29,0	27,4	26,5	25,4	24,6	23,4
1 água ESTE	22,9	22,1	21,9	21,4	21,5	22,0	23,8	25,6	27,7	29,6	31,0	31,9	32,5	32,6	31,9	31,0	30,1	29,0	28,2	27,2	26,5	25,4	24,6	23,4
Média	23,1	22,3	22,0	21,5	21,6	21,9	23,2	24,9	26,9	28,9	30,6	31,7	32,7	33,1	32,7	32,0	31,1	29,8	28,5	27,3	26,5	25,5	24,7	23,6

Desvão com 28 rph, revestimento de cor clara e com laje não isolada

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2 águas NORTE-SUL	22,2	21,3	21,2	20,6	20,9	21,2	22,6	24,3	26,3	28,4	30,0	31,1	32,1	32,6	32,1	31,5	30,7	29,4	28,2	26,9	26,0	24,8	23,9	22,7
2 águas ESTE-OESTE	22,3	21,4	21,2	20,7	21,0	21,3	22,7	24,3	26,4	28,5	30,2	31,3	32,3	32,8	32,3	31,7	30,9	29,6	28,4	27,0	26,2	24,9	24,0	22,8
1 água SUL	21,7	20,7	20,6	20,1	20,4	20,8	22,2	23,9	26,1	28,2	29,9	31,1	32,1	32,6	32,0	31,4	30,6	29,3	28,1	26,8	25,9	24,6	23,6	22,2
1 água NORTE	21,7	20,7	20,6	20,1	20,4	20,9	22,4	24,0	26,0	28,0	29,5	30,6	31,6	32,1	31,7	31,2	30,6	29,4	28,3	26,8	25,9	24,5	23,6	22,2
1 água OESTE	21,7	20,8	20,7	20,2	20,5	20,8	22,1	23,5	25,6	27,8	29,5	30,8	32,0	32,6	32,3	31,8	31,1	29,9	28,5	26,9	25,9	24,6	23,6	22,3
1 água ESTE	21,8	20,8	20,7	20,2	20,5	21,0	22,7	24,4	26,5	28,6	30,1	31,0	31,9	32,2	31,6	30,8	30,1	29,0	28,1	26,9	26,0	24,6	23,7	22,3
Média	21,9	21,0	20,8	20,3	20,6	21,0	22,4	24,1	26,2	28,2	29,9	31,0	32,0	32,5	32,0	31,4	30,7	29,5	28,3	26,9	26,0	24,7	23,8	22,4

Anexo E - Propriedades Térmicas dos Materiais

Pavimentos e coberturas:	Espessura (m)	λ (W/m°C)	ρ (Kg)	c_p (J/Kg°C)
Laje maciça betão normal	0,15	1,75	2200	840
Laje aligeir. bl. cerâmicos	0,17	1,00	1400	840
Soalho	0,02	0,23	675	1630
Alcatifa	0,01	0,05	400	840
Parquet	0,01	0,23	675	1630
Reboco	0,015	1,15	1800	840
Telhas mat. cer. barro verm.	0,015	1,15	1900	840
Placas de fibrocimento	0,005	0,80	1800	1010
Tecto falso em placas gesso	0,015	0,35	875	1090

Paredes:	Espessura (m)	λ (W/m°C)	ρ (Kg)	c_p (J/Kg°C)
Reboco	0,02	1,15	1800	840
Tijolo furado 7	0,07	0,49	943	840
Tijolo furado 11	0,11	0,52	965	840
Tijolo perfurado 11	0,11	0,81	1508	840
Tijolo furado 15	0,15	0,50	850	840
Tijolo perfurado 15	0,15	0,78	1413	840
Tijolo furado 22	0,22	0,51	787	840
Tijolo duplex 22	0,22	0,37	750	840
Granito	0,40	3,00	2600	840
Betão normal	0,15	1,75	2300	840
Bl betão 15	0,15	0,43	767	840
Bl betão 10	0,10	0,44	850	840
Bl. betão leve 20/25	0,225	0,42	673	840
Bl. betão normal 20/25	0,225	0,86	1065	840

Isolantes:	Espessura (m)	λ (W/m°C)	ρ (Kg)	c_n (J/Kg°C)
Poliestireno expandido	0,02-0,06	0,043	26	1029
Poliestireno extrudido	0,02-0,06	0,035	33	1220
Espuma rígida poliuretano	0,02-0,06	0,030	35	1590
Caixa de ar (resistência)	0,16			

Anexo F - Factores de Resposta Térmica

1. Paredes do Grupo 1

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	6.81300163	0.00000169	6.90201187
1	-4.64879179	0.00005743	-0.69686586
2	-0.38023391	0.00127070	-0.37085632
3	-0.05342254	0.00547048	-0.27214816
4	-0.02405864	0.01140127	-0.21788676
5	-0.01890394	0.01692824	-0.18282090
6	-0.01652179	0.02120468	-0.15828134
7	-0.01489333	0.02420931	-0.14033026
8	-0.01367029	0.02617592	-0.12681875
9	-0.01271614	0.02736032	-0.11641728
10	-0.01195110	0.02797546	-0.10823903
11	-0.01132231	0.02818376	-0.10166837
12	-0.01079307	0.02810484	-0.09626950
13	-0.01033739	0.02782552	-0.09173100
14	-0.00993665	0.02740834	-0.08782922
15	-0.00957746	0.02689816	-0.08440313
16	-0.00925014	0.02632709	-0.08133657
17	-0.00894770	0.02571805	-0.07854556
18	-0.00866503	0.02508737	-0.07596925
19	-0.00839845	0.02444661	-0.07356346
20	-0.00814521	0.02380391	-0.07129595
21	-0.00790332	0.02316501	-0.06914312

Razão Comum = 0.97160727

A Razão Comum resulta do quociente seguinte:

$$\text{Razão Comum} = \frac{X(i)}{X(i-1)} \equiv \frac{Y(i)}{Y(i-1)} \equiv \frac{Z(i)}{Z(i-1)}$$

A utilização da Razão Comum permite apresentar os Factores de Resposta Térmica numa forma mais condensada.

Para efectuar cálculos precisos do fluxo de calor que atravessa um dado elemento construtivo devem-se expandir, até à precisão desejada, as séries dos Factores de Resposta Térmica aqui apresentadas. A expressão seguinte exemplifica, para os valores de X(t), como essa expansão se pode fazer:

$$X(i) = X(i-1) \times \text{Razão Comum}$$

2. Paredes do Grupo 2

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	11.03617718	0.00000653	6.13717890
1	-2.70249337	0.00029092	-1.49170003
2	-1.14044532	0.00483572	-0.57809990
3	-0.75859150	0.01757284	-0.34343236
4	-0.57599556	0.03320632	-0.25663981
5	-0.46201485	0.04642919	-0.21155161
6	-0.38102424	0.05569675	-0.18116408
7	-0.31988607	0.06132469	-0.15769464
8	-0.27229543	0.06411583	-0.13844928
9	-0.23454950	0.06484863	-0.12223510
10	-0.20418875	0.06414748	-0.10837929
11	-0.17947057	0.06247990	-0.09643201
12	-0.15911896	0.06018587	-0.08606237
13	-0.14218242	0.05750907	-0.07701440
14	-0.12794276	0.05462251	-0.06908442
15	-0.11585276	0.05164793	-0.06210748
16	-0.10549195	0.04867001	-0.05594819
17	-0.09653463	0.04574664	-0.05049429
18	-0.08881862	0.04286327	-0.04568256
19	-0.08201666	0.04011802	-0.04139146
20	-0.07605074	0.03750691	-0.03755977
21	-0.07070938	0.03504902	-0.03413002
22	-0.06590345	0.03274249	-0.03105502
23	-0.06155908	0.03058331	-0.02829373
24	-0.05761482	0.02856601	-0.02581036
25	-0.05401933	0.02668413	-0.02357366
26	-0.05072950	0.02493067	-0.02155626
27	-0.04770897	0.02329830	-0.01973416
28	-0.04492693	0.02177964	-0.01808626
29	-0.04235713	0.02036738	-0.01659397
30	-0.03997710	0.01905441	-0.01524091
31	-0.03776752	0.01783387	-0.01401258
32	-0.03571168	0.01669925	-0.01289617
33	-0.03379503	0.01564436	-0.01188029
34	-0.03200491	0.01466339	-0.01095484
35	-0.03033018	0.01375090	-0.01011086
36	-0.02876102	0.01290180	-0.00934032
37	-0.02728874	0.01211136	-0.00863611
38	-0.02590560	0.01137521	-0.00799183
39	-0.02460471	0.01068926	-0.00740181
40	-0.02337985	0.01004978	-0.00686092
41	-0.02222547	0.00945328	-0.00636460
42	-0.02113925	0.00889442	-0.00591044
43	-0.02011308	0.00837303	-0.00549255
44	-0.01914300	0.00788627	-0.00510771

Razão Comum = 0.94118945

3. Paredes do Grupo 3

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	9.34797001	-0.00001374	5.96513367
1	-3.94815254	0.00026322	-1.74218774
2	-1.36142850	0.00449218	-0.77751172
3	-0.82818383	0.01724852	-0.48497674
4	-0.58730602	0.03299670	-0.35367641
5	-0.43259463	0.04548296	-0.28010577
6	-0.32266545	0.05296207	-0.23076738
7	-0.24256825	0.05605721	-0.19362079
8	-0.18368921	0.05596650	-0.16389239
9	-0.14015587	0.05378865	-0.13938682
10	-0.10779001	0.05036490	-0.11889129
11	-0.08358443	0.04629101	-0.10161568
12	-0.06536505	0.04196969	-0.08698464
13	-0.05155556	0.03766252	-0.07455234
14	-0.04101001	0.03353161	-0.06396174
15	-0.03289296	0.02967063	-0.05492176
16	-0.02659337	0.02612703	-0.04719251
17	-0.02166274	0.02291780	-0.04057475
18	-0.01777047	0.02004040	-0.03490204
19	-0.01467178	0.01748034	-0.03003468
20	-0.01218439	0.01521626	-0.02585491
21	-0.01017184	0.01322343	-0.02226313
22	-0.00853124	0.01147597	-0.01917486
23	-0.00718453	0.00994833	-0.01651824
24	-0.00607197	0.00861613	-0.01423202
25	-0.00514752	0.00745669	-0.01226390
26	-0.00437539	0.00644925	-0.01056916
27	-0.00372751	0.00557505	-0.00910947
28	-0.00318171	0.00481729	-0.00785199
29	-0.00272027	0.00416106	-0.00676854
30	-0.00232898	0.00359317	-0.00583491
31	-0.00199630	0.00310204	-0.00503028
32	-0.00171282	0.00267750	-0.00433678

Razão Comum = 0.86229432

4. Paredes do Grupo 4

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	6.76077604	0.00000640	5.83218479
1	-4.82619715	0.00226653	-1.89852870
2	-0.50170922	0.02007467	-0.81588888
3	-0.12580727	0.04792414	-0.47469831
4	-0.07385060	0.06592360	-0.31724080
5	-0.05660893	0.07178392	-0.23197581
6	-0.04647368	0.07025751	-0.18072927
7	-0.03923140	0.06525502	-0.14708062
8	-0.03361611	0.05898427	-0.12315343
9	-0.02905272	0.05254174	-0.10496390
10	-0.02523395	0.04642671	-0.09042221
11	-0.02198020	0.04083847	-0.07838780
12	-0.01917770	0.03583134	-0.06820502

Razão Comum = 0.87444061

5. Paredes do Grupo 5

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	9.07655619	0.00075984	5.86119771
1	-3.57679510	0.02684223	-1.75108752
2	-0.76900972	0.08204756	-0.55373915
3	-0.44774275	0.10755289	-0.26943908
4	-0.36162626	0.10853504	-0.18936863
5	-0.31203533	0.10089074	-0.15903874
6	-0.27319050	0.09134299	-0.14170534
7	-0.24007593	0.08202144	-0.12843155
8	-0.21121235	0.07345829	-0.11700452
9	-0.18587873	0.06577407	-0.10671313
10	-0.16360829	0.05890640	-0.09736337

Razão Comum = 0.89605318

6. Paredes do Grupo 6

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	9.18186531	0.00014969	5.95614052
1	-4.03688331	0.01740346	-1.75518184
2	-1.26551731	0.09517480	-0.78053662
3	-0.66402580	0.16749536	-0.47481029
4	-0.41976538	0.18976994	-0.32635396
5	-0.29162887	0.17989689	-0.23915035
6	-0.21420922	0.15735717	-0.18181210
7	-0.16283772	0.13231132	-0.14124540
8	-0.12643230	0.10898881	-0.11114071
9	-0.09944468	0.08878400	-0.08811526
10	-0.07883891	0.07187875	-0.07017496
11	-0.06284441	0.05796632	-0.05605387
12	-0.05026780	0.04663667	-0.04486405
13	-0.04028375	0.03747933	-0.03594810
14	-0.03231047	0.03011159	-0.02881697
15	-0.02593194	0.02418891	-0.02310873
16	-0.02082285	0.01943044	-0.01853671

Razão Comum = 0.80280376

7. Paredes do Grupo 7

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	11.34538560	0.01175308	6.72295666
1	-2.48344350	0.21766613	-0.89010614
2	-1.12083387	0.43298987	-0.46535161
3	-0.77618355	0.44216022	-0.34013176
4	-0.60726821	0.38817185	-0.27131999
5	-0.49534953	0.32773367	-0.22268394
6	-0.40937042	0.27364701	-0.18437697
7	-0.33965445	0.22774129	-0.15306328

Razão Comum = 0.83109796

Anexo G - Factores de Resposta Térmica de Coberturas

1. Terraço com camada de forma

1.1. Terraço com camada de forma sem tecto falso e sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	10.17947480	-0.00000007	4.88726735
1	-3.38081968	0.00016155	-0.67979257
2	-1.65679285	0.00334299	-0.36680750
3	-1.06741926	0.01426942	-0.27032124
4	-0.72127020	0.02963792	-0.22171579
5	-0.50007297	0.04357269	-0.19144079
6	-0.35342477	0.05351231	-0.16967550
7	-0.25426043	0.05935225	-0.15249337
8	-0.18632777	0.06188979	-0.13812923
9	-0.13929393	0.06204914	-0.12570428
10	-0.10639021	0.06061411	-0.11473480
11	-0.08310914	0.05817625	-0.10492725
12	-0.06642002	0.05515653	-0.09608705
13	-0.05427268	0.05184369	-0.08807532
14	-0.04527431	0.04843032	-0.08078706
15	-0.03847550	0.04504131	-0.07413921
16	-0.03322702	0.04175491	-0.06806376
17	-0.02908344	0.03861773	-0.06250359
18	-0.02573792	0.03565518	-0.05740970
19	-0.02297809	0.03287868	-0.05273938
20	-0.02065605	0.03029056	-0.04845494
21	-0.01866803	0.02788739	-0.04452280
22	-0.01694047	0.02566224	-0.04091283
23	-0.01542065	0.02360613	-0.03759781
24	-0.01407021	0.02170907	-0.03455309
25	-0.01286077	0.01996068	-0.03175622
26	-0.01180234	0.01834543	-0.02918763

Razão Comum = 0.91878946

1.2. Terraço com camada de forma sem tecto falso e com isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	10.15631480	-0.00000010	4.88726723
1	-3.60646361	0.00002073	-0.67979263
2	-1.90688068	0.00067261	-0.36680853
3	-1.20843652	0.00389684	-0.27034447
4	-0.78084670	0.01009089	-0.22186745
5	-0.51332893	0.01744183	-0.19194615
6	-0.34317078	0.02419557	-0.17081155
7	-0.23332253	0.02947474	-0.15449487
8	-0.16144002	0.03308276	-0.14113906
9	-0.11380581	0.03517726	-0.12977049
10	-0.08186144	0.03604734	-0.11983095
11	-0.06018813	0.03599590	-0.11097753
12	-0.04530900	0.03528877	-0.10298764
13	-0.03496652	0.03413947	-0.09570997
14	-0.02767934	0.03271050	-0.08903719
15	-0.02246652	0.03112095	-0.08289013
16	-0.01867320	0.02945554	-0.07720821
17	-0.01585917	0.02777300	-0.07194339
18	-0.01372665	0.02611288	-0.06705645
19	-0.01207308	0.02450092	-0.06251444
20	-0.01075995	0.02295312	-0.05828905
21	-0.00969200	0.02147865	-0.05435552
22	-0.00880341	0.02008201	-0.05069184
23	-0.00804838	0.01876453	-0.04727822
24	-0.00739483	0.01752547	-0.04409672
25	-0.00682011	0.01636270	-0.04113094
26	-0.00630803	0.01527330	-0.03836583
27	-0.00584693	0.01425385	-0.03578753
28	-0.00542823	0.01330068	-0.03338319

Razão Comum = 0.93270086

1.3. Terraço com camada de forma com tecto falso e sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	10.17948770	0.00002429	3.77236015
1	-3.38083488	0.00000326	-1.32214686
2	-1.65679193	0.00090223	-0.32109824
3	-1.06741965	0.00502684	-0.12738887
4	-0.72128254	0.01244126	-0.08003912
5	-0.50013798	0.02048633	-0.06402959
6	-0.35362362	0.02715588	-0.05628000
7	-0.25470055	0.03182604	-0.05130707
8	-0.18711775	0.03464376	-0.04751999
9	-0.14052376	0.03600553	-0.04435578
10	-0.10812162	0.03631470	-0.04157790
11	-0.08537415	0.03590207	-0.03907181
12	-0.06922424	0.03501552	-0.03677496
13	-0.05760049	0.03383234	-0.03464949
14	-0.04909446	0.03247590	-0.03267038
15	-0.04274609	0.03103042	-0.03081991
16	-0.03789974	0.02955247	-0.02908479
17	-0.03410683	0.02807942	-0.02745455
18	-0.03105985	0.02663540	-0.02592067
19	-0.02854753	0.02523553	-0.02447596
20	-0.02642428	0.02388880	-0.02311425
21	-0.02458939	0.02260009	-0.02183005
22	-0.02297287	0.02137153	-0.02061849
23	-0.02152571	0.02020342	-0.01947512
24	-0.02021334	0.01909490	-0.01839587
25	-0.01901108	0.01804436	-0.01737699
26	-0.01793877	0.01704624	-0.01641533

Razão Comum = 0.94451530

1.4. Terraço com camada de forma com tecto falso e com isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	10.15631318	-0.00002169	3.77238059
1	-3.60646200	0.00002670	-1.32217088
2	-1.90688184	0.00016899	-0.32109790
3	-1.20843688	0.00128146	-0.12739010
4	-0.78084724	0.00397180	-0.08005278
5	-0.51333280	0.00773787	-0.06409229
6	-0.34318715	0.01165596	-0.05645747
7	-0.23336882	0.01507670	-0.05167767
8	-0.16154115	0.01772602	-0.04815365
9	-0.11399075	0.01958002	-0.04530157
10	-0.08215921	0.02073604	-0.04286164
11	-0.06062443	0.02133099	-0.04069959
12	-0.04590406	0.02149973	-0.03873849
13	-0.03573413	0.02135804	-0.03693106
14	-0.02862687	0.02099830	-0.03524675
15	-0.02359546	0.02049101	-0.03366504
16	-0.01998011	0.01988837	-0.03217163
17	-0.01733664	0.01922817	-0.03075620
18	-0.01536436	0.01853728	-0.02941105
19	-0.01385865	0.01783449	-0.02813026
20	-0.01267970	0.01713276	-0.02690907
21	-0.01173162	0.01644083	-0.02574356
22	-0.01094839	0.01576445	-0.02463043
23	-0.01028441	0.01510730	-0.02356677
24	-0.00970806	0.01447159	-0.02255002
25	-0.00919733	0.01385850	-0.02157784
26	-0.00873681	0.01326855	-0.02064811
27	-0.00831565	0.01270175	-0.01975885
28	-0.00794732	0.01215551	-0.01890847

Razão Comum = 0.95688216

1.5. Cobertura em Chapa Metálica ou Fibrocimento com ou sem tecto falso e com isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	10.16319530	0.03061313	3.91949073
1	-3.56007521	0.25812916	-1.53858900
2	-1.86554166	0.33931739	-0.50800015
3	-1.17928429	0.26886079	-0.20332500
4	-0.75339061	0.18828164	-0.09541608
5	-0.48340698	0.12623698	-0.05044486
6	-0.31085049	0.08304750	-0.02889319
7	-0.20012302	0.05412942	-0.01739150
8	-0.12892186	0.03510874	-0.01078210
9	-0.08308366	0.02271219	-0.00679681
10	-0.05355468	0.01467116	-0.00432565
11	-0.03452499	0.00946907	-0.00276798
12	-0.02225884	0.00610846	-0.00177732
13	-0.01435127	0.00393952	-0.00114306

Razão Comum = 0.64473446

1.6. Cobertura em Chapa Metálica ou Fibrocimento sem tecto falso e sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	10.18016430	0.41832441	4.90768433
1	-3.38127995	1.21769142	-0.74762732
2	-1.55778968	0.76013494	-0.37243789
3	-0.85748017	0.41938928	-0.20512776

Razão Comum = 0.55118042

2. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma

2.1. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma sem tecto falso e sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	7.92933241	0.00305628	4.89539893
1	-3.50971906	0.06878841	-0.67052122
2	-0.52973073	0.17157619	-0.36405888
3	-0.29553868	0.20383734	-0.26944156
4	-0.22564731	0.19592655	-0.21910916
5	-0.18646125	0.17639792	-0.18500638
6	-0.15854718	0.15520879	-0.15862951
7	-0.13637577	0.13536690	-0.13688667
8	-0.11784951	0.11765791	-0.11844059
9	-0.10207195	0.10210441	-0.10261528

Razão Comum = 0.86684918

2.2. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma sem tecto falso e com isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	6.86220709	0.00049376	4.89539147
1	-4.76767762	0.01783184	-0.67071579
2	-0.45382572	0.05717723	-0.36619909
3	-0.08392292	0.07838521	-0.27620385
4	-0.04412172	0.08208203	-0.23188239
5	-0.03561084	0.07870778	-0.20378381
6	-0.03132601	0.07311766	-0.18264005
7	-0.02813917	0.06709319	-0.16507770
8	-0.02546123	0.06125516	-0.14975284
9	-0.02311576	0.05578996	-0.13609908

Razão Comum = 0.90964989

2.3. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma com tecto falso e sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	7.91513427	0.00323970	3.76653345
1	-3.49529378	0.01689687	-1.31366432
2	-0.53450280	0.06966521	-0.31939123
3	-0.30703305	0.10286602	-0.12648727
4	-0.24345360	0.10988089	-0.07935201
5	-0.20896999	0.10499870	-0.06279792
6	-0.18427498	0.09640325	-0.05397073
7	-0.16415133	0.08721365	-0.04766174
8	-0.14680598	0.07845544	-0.04249680
9	-0.13152392	0.07040967	-0.03803035

Razão Comum = 0.89645996

2.4. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma com tecto falso e com isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	7.00423829	0.00618754	3.76937215
1	-5.04660209	0.01012730	-1.32658811
2	-0.32860389	0.01123904	-0.31013796
3	-0.07455604	0.03635447	-0.12634404
4	-0.04541714	0.04410989	-0.08145187
5	-0.03872070	0.04523373	-0.06672862
6	-0.03534647	0.04391683	-0.05972411
7	-0.03285231	0.04178833	-0.05510746
8	-0.03072658	0.03945542	-0.05140596
9	-0.02880972	0.03713763	-0.04815523
10	-0.02704305	0.03490800	-0.04519243

Razão Comum = 0.93942338

2.5. Cobertura de estrutura descontínua sem tecto falso e com ou sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	6.78676891	0.45692861	1.58639652
1	-5.04828453	0.57872391	-0.42792998
2	-0.53214052	0.08953842	-0.01862913
3	-0.06067421	0.01084387	-0.00202524
4	-0.00715215	0.00131214	-0.00024548
5	-0.00086410	0.00016153	-0.00003061
6	-0.00010652	0.00002021	-0.00000387

Razão Comum = 0.11216621

2.6. Cobertura de estrutura descontínua com tecto falso e com ou sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	6.77555728	0.08434057	3.62867356
1	-5.13278866	0.37374164	-1.81136948
2	-0.61943519	0.25523800	-0.60790488
3	-0.10608327	0.10507948	-0.21267703
4	-0.02589983	0.03887576	-0.07539959
5	-0.00795649	0.01402761	-0.02693958
6	-0.00270334	0.00504338	-0.00968309
7	-0.00095432	0.00181772	-0.00349879
8	-0.00034222	0.00065783	-0.00127032
9	-0.00012376	0.00023912	-0.00046327

Razão Comum = 0.35184814

3. Coberturas em Desvão

3.1. Desvão sem tecto falso e sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	3.78633364	0.00359145	4.89539909
1	-0.40365613	0.05877712	-0.66984749
2	-0.22840178	0.12896145	-0.36089662
3	-0.17156684	0.15154207	-0.26476803
4	-0.14117539	0.14935417	-0.21524427
5	-0.12101780	0.13860789	-0.18342466
6	-0.10573135	0.12559373	-0.15981501
7	-0.09321425	0.11261910	-0.14072690
8	-0.08252407	0.10052084	-0.12452977
9	-0.07323881	0.08949026	-0.11051405
10	-0.06504799	0.07961219	-0.09816307

Razão Comum = 0.88879828

3.2. Desvão sem tecto falso e com isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	1.85366456	0.00011808	4.89539337
1	-0.34263929	0.00495186	-0.67070238
2	-0.19044177	0.02007511	-0.36603527
3	-0.11071591	0.03500018	-0.27580038
4	-0.06788391	0.04406027	-0.23150271
5	-0.04437492	0.04797802	-0.20388885
6	-0.03114532	0.04856215	-0.18363718
7	-0.02345151	0.04724414	-0.16721160
8	-0.01877450	0.04494465	-0.15310543
9	-0.01576476	0.04220729	-0.14060606
10	-0.01369406	0.03933732	-0.12933934
11	-0.01216670	0.03649893	-0.11908691
12	-0.01096597	0.03377588	-0.10970729
13	-0.00997191	0.03120707	-0.10109965
14	-0.00911710	0.02880697	-0.09318622
15	-0.00836276	0.02657701	-0.08590324
16	-0.00769773	0.02450669	-0.07919869

Razão Comum = 0.92181691

3.3. Desvão com tecto falso e sem isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	2.60460695	0.00034644	3.77284336
1	-0.19271868	0.01172087	-1.32006073
2	-0.11615259	0.03755906	-0.31895599
3	-0.09210346	0.05422514	-0.12568818
4	-0.07986643	0.05969468	-0.07860147
5	-0.07202760	0.05956119	-0.06272723
6	-0.06612155	0.05716387	-0.05501978
7	-0.06119468	0.05397727	-0.05000040
8	-0.05684794	0.05060788	-0.04608880
9	-0.05290306	0.04729752	-0.04274654
10	-0.04927911	0.04412919	-0.03977314
11	-0.04591869	0.04115278	-0.03703995

Razão Comum = 0.93214752

3.4. Desvão com tecto falso e com isolante

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	1.51739538	0.00010244	3.77258412
1	-0.23014372	0.00092399	-1.31982644
2	-0.13548272	0.00592082	-0.31942308
3	-0.08308140	0.01286545	-0.12723680
4	-0.05345044	0.01849143	-0.08143336
5	-0.03642816	0.02197319	-0.06666545
6	-0.02648528	0.02370781	-0.05983186
7	-0.02055364	0.02427473	-0.05552149
8	-0.01691112	0.02413002	-0.05221691
9	-0.01458409	0.02357728	-0.04940748
10	-0.01301936	0.02280461	-0.04689066
11	-0.01190145	0.02192424	-0.04457412
12	-0.01104981	0.02100155	-0.04241069
13	-0.01036078	0.02007386	-0.04037375
14	-0.00977456	0.01916195	-0.03844692
15	-0.00925643	0.01827702	-0.03661922
16	-0.00879309	0.01742302	-0.03488311

Razão Comum = 0.95272944

3.5. Desvão com esteira leve com isolante e com ou sem tecto falso

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	3.67865829	0.92358015	3.25662040
1	-1.42962676	0.86366934	-1.04625907
2	-0.20931607	0.15846062	-0.17238494
3	-0.04105843	0.03308917	-0.03804751
4	-0.00829587	0.00726548	-0.00892728

Razão Comum = 0.15624726

3.6. Desvão com esteira leve sem isolante e com ou sem tecto falso

Hora	X (W/m ² °C)	Y (W/m ² °C)	Z (W/m ² °C)
0	1.86302400	0.16557939	3.69135666
1	-0.65462941	0.47896221	-1.69210696
2	-0.10800960	0.24129653	-0.59640008
3	-0.03907555	0.09366452	-0.22616795
4	-0.01484408	0.03576504	-0.08621698

Razão Comum = 0.37851727

Anexo H - Valores Instantâneos de CLTD (°C) para Paredes

1. Parede 1

1.1. Parede 1 - Espaço com Inércia Térmica Leve

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	0,9	4,0	6,8	5,9	3,1	6,2	7,2	4,3
2	0,9	3,9	6,6	5,8	3,1	6,3	7,3	4,4
3	0,9	3,8	6,5	5,7	3,1	6,2	7,3	4,4
4	0,8	3,7	6,3	5,5	3,0	6,1	7,2	4,3
5	0,7	3,5	6,1	5,3	2,8	6,0	7,1	4,2
6	0,6	3,3	5,8	5,0	2,7	5,8	6,9	4,0
7	0,5	3,1	5,5	4,8	2,5	5,6	6,6	3,9
8	0,3	2,8	5,2	4,5	2,2	5,3	6,4	3,6
9	0,1	2,6	4,9	4,2	2,0	5,0	6,1	3,4
10	0,0	2,5	4,7	4,0	1,8	4,7	5,7	3,1
11	-0,2	2,5	4,7	3,9	1,6	4,4	5,5	2,9
12	-0,3	2,6	4,9	3,9	1,4	4,2	5,2	2,7
13	-0,4	2,7	5,1	4,0	1,3	4,0	4,9	2,5
14	-0,4	2,8	5,4	4,2	1,3	3,8	4,8	2,4
15	-0,4	3,0	5,7	4,5	1,3	3,7	4,6	2,3
16	-0,3	3,1	5,9	4,8	1,5	3,7	4,5	2,3
17	-0,2	3,3	6,2	5,0	1,7	3,8	4,5	2,3
18	-0,1	3,4	6,4	5,3	2,0	4,1	4,7	2,4
19	0,1	3,6	6,5	5,5	2,2	4,4	5,0	2,6
20	0,2	3,7	6,7	5,6	2,5	4,8	5,4	2,9
21	0,4	3,8	6,8	5,8	2,7	5,2	5,9	3,3
22	0,6	3,9	6,9	5,9	2,9	5,6	6,4	3,6
23	0,7	4,0	6,9	5,9	3,0	5,9	6,8	3,9
24	0,8	4,0	6,8	5,9	3,1	6,1	7,1	4,1
Hr Máx	2	24	22	23	2	2	2	2
Máx	0,9	4,0	6,9	5,9	3,1	6,3	7,3	4,4
Hr Mín	14	10	10	11	14	15	16	16
Mín	-0,4	2,5	4,7	3,9	1,3	3,7	4,5	2,3
ΔT_e	-0,1	3,1	5,7	4,7	1,8	4,2	5,1	2,6

1.2. Parede 1 - Espaço com Inércia Térmica Média

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	0,7	3,8	6,6	5,7	2,9	5,9	6,9	4,0
2	0,7	3,8	6,5	5,6	2,9	6,0	7,0	4,1
3	0,7	3,7	6,4	5,6	2,9	6,0	7,0	4,1
4	0,7	3,6	6,3	5,4	2,8	5,9	6,9	4,1
5	0,6	3,5	6,1	5,3	2,7	5,8	6,9	4,0
6	0,6	3,4	5,9	5,1	2,6	5,7	6,7	3,9
7	0,4	3,2	5,6	4,9	2,5	5,5	6,5	3,8
8	0,3	3,0	5,4	4,6	2,3	5,3	6,3	3,6
9	0,2	2,8	5,2	4,4	2,1	5,1	6,1	3,4
10	0,1	2,7	5,0	4,2	1,9	4,8	5,9	3,2
11	-0,1	2,7	5,0	4,1	1,7	4,6	5,6	3,1
12	-0,1	2,8	5,1	4,1	1,6	4,4	5,4	2,9
13	-0,2	2,8	5,3	4,2	1,5	4,2	5,2	2,8
14	-0,2	2,9	5,5	4,4	1,5	4,1	5,1	2,6
15	-0,2	3,0	5,7	4,6	1,5	4,0	4,9	2,6
16	-0,2	3,1	5,9	4,8	1,6	4,0	4,8	2,5
17	-0,1	3,3	6,1	5,0	1,8	4,0	4,8	2,5
18	0,0	3,4	6,2	5,2	2,0	4,2	4,9	2,6
19	0,1	3,5	6,4	5,3	2,2	4,5	5,2	2,7
20	0,2	3,6	6,5	5,5	2,4	4,8	5,5	2,9
21	0,3	3,7	6,6	5,6	2,6	5,1	5,9	3,2
22	0,5	3,8	6,6	5,7	2,7	5,4	6,2	3,5
23	0,6	3,8	6,7	5,7	2,8	5,6	6,5	3,7
24	0,6	3,9	6,7	5,7	2,9	5,8	6,8	3,9
Hr Máx	2	24	23	23	2	2	2	3
Máx	0,7	3,9	6,7	5,7	2,9	6,0	7,0	4,1
Hr Mín	14	10	10	11	14	16	16	16
Mín	-0,2	2,7	5,0	4,1	1,5	4,0	4,8	2,5
ΔT_e	0,0	3,1	5,8	4,8	1,9	4,4	5,3	2,8

1.3. Parede 1 - Espaço com Inércia Térmica Pesada

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	0,6	3,7	6,4	5,5	2,7	5,7	6,7	3,9
2	0,6	3,7	6,4	5,5	2,7	5,7	6,7	3,9
3	0,6	3,6	6,3	5,4	2,7	5,7	6,7	3,9
4	0,6	3,5	6,2	5,3	2,7	5,7	6,7	3,9
5	0,5	3,4	6,0	5,2	2,6	5,6	6,6	3,8
6	0,5	3,3	5,9	5,0	2,5	5,5	6,5	3,7
7	0,4	3,2	5,7	4,9	2,4	5,3	6,4	3,6
8	0,3	3,0	5,5	4,7	2,3	5,2	6,2	3,5
9	0,2	2,9	5,3	4,5	2,1	5,0	6,0	3,4
10	0,1	2,9	5,3	4,4	2,0	4,9	5,9	3,2
11	0,0	2,9	5,3	4,4	1,9	4,7	5,7	3,1
12	-0,1	2,9	5,3	4,4	1,8	4,6	5,5	3,0
13	-0,1	3,0	5,5	4,4	1,7	4,4	5,4	2,9
14	-0,1	3,0	5,6	4,6	1,7	4,3	5,3	2,8
15	-0,1	3,1	5,8	4,7	1,7	4,3	5,2	2,8
16	-0,1	3,2	5,9	4,9	1,8	4,3	5,1	2,7
17	0,0	3,3	6,1	5,0	1,9	4,3	5,1	2,7
18	0,1	3,4	6,2	5,2	2,1	4,5	5,2	2,8
19	0,1	3,5	6,3	5,3	2,2	4,7	5,4	2,9
20	0,2	3,5	6,4	5,4	2,4	4,9	5,7	3,1
21	0,3	3,6	6,4	5,5	2,5	5,1	5,9	3,3
22	0,4	3,7	6,5	5,5	2,6	5,4	6,2	3,5
23	0,5	3,7	6,5	5,5	2,7	5,5	6,4	3,7
24	0,6	3,7	6,5	5,5	2,7	5,6	6,6	3,8
Hr Máx	2	24	23	23	1	2	2	2
Máx	0,6	3,7	6,5	5,5	2,7	5,7	6,7	3,9
Hr Mín	14	10	10	11	14	15	16	16
Mín	-0,1	2,9	5,3	4,4	1,7	4,3	5,1	2,7
ΔT_e	0,0	3,2	5,8	4,9	2,0	4,6	5,4	2,9

2. Parede 2

2.1. Parede 2 - Espaço com Inércia Térmica Leve

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	5,0	8,0	10,9	10,1	7,6	11,3	12,5	9,1
2	5,0	7,8	10,5	9,8	7,4	11,2	12,5	9,1
3	4,9	7,5	10,1	9,5	7,2	11,0	12,3	9,0
4	4,7	7,2	9,6	9,0	6,9	10,6	11,9	8,7
5	4,4	6,7	9,0	8,5	6,5	10,2	11,5	8,4
6	4,1	6,3	8,4	7,9	6,1	9,6	10,9	7,9
7	3,8	5,8	7,8	7,3	5,6	9,0	10,3	7,4
8	3,4	5,3	7,2	6,7	5,1	8,4	9,6	6,9
9	3,0	5,0	6,8	6,2	4,6	7,7	8,9	6,3
10	2,7	4,9	6,7	5,9	4,2	7,1	8,3	5,8
11	2,5	5,0	6,9	5,9	3,8	6,6	7,7	5,4
12	2,3	5,2	7,3	6,1	3,5	6,1	7,1	5,0
13	2,2	5,6	7,9	6,5	3,4	5,8	6,7	4,7
14	2,2	5,9	8,6	7,1	3,6	5,6	6,5	4,5
15	2,4	6,3	9,3	7,7	3,9	5,6	6,3	4,5
16	2,6	6,7	9,8	8,4	4,3	5,8	6,3	4,6
17	2,8	7,0	10,3	8,9	4,9	6,2	6,6	4,7
18	3,2	7,3	10,7	9,4	5,5	6,9	7,2	5,1
19	3,5	7,6	11,0	9,8	6,1	7,8	8,0	5,7
20	3,9	7,9	11,3	10,2	6,6	8,7	9,1	6,4
21	4,3	8,1	11,4	10,4	7,0	9,6	10,2	7,2
22	4,6	8,2	11,4	10,5	7,3	10,3	11,1	7,9
23	4,8	8,2	11,3	10,5	7,5	10,9	11,8	8,5
24	5,0	8,2	11,2	10,4	7,6	11,2	12,3	8,9
Hr Máx	1	23	21	22	24	1	1	1
Máx	5,0	8,2	11,4	10,5	7,6	11,3	12,5	9,1
Hr Mín	13	10	10	10	13	14	15	14
Mín	2,2	4,9	6,7	5,9	3,4	5,6	6,3	4,5
ΔT_e	2,9	6,5	9,3	8,0	4,7	6,8	7,5	5,3

2.2. Parede 2 - Espaço com Inércia Térmica Média

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4,7	7,8	10,6	9,8	7,1	10,6	11,7	8,5
2	4,7	7,6	10,4	9,6	7,1	10,6	11,7	8,5
3	4,6	7,4	10,1	9,3	6,9	10,4	11,6	8,5
4	4,5	7,2	9,7	9,0	6,7	10,2	11,4	8,3
5	4,3	6,8	9,2	8,6	6,4	9,9	11,1	8,1
6	4,1	6,5	8,8	8,2	6,1	9,5	10,7	7,8
7	3,8	6,1	8,3	7,7	5,7	9,0	10,2	7,4
8	3,5	5,7	7,8	7,2	5,3	8,5	9,7	7,0
9	3,2	5,4	7,4	6,8	4,9	8,0	9,2	6,5
10	3,0	5,3	7,3	6,5	4,6	7,6	8,7	6,1
11	2,8	5,4	7,4	6,5	4,3	7,1	8,2	5,8
12	2,6	5,6	7,7	6,6	4,0	6,7	7,8	5,5
13	2,6	5,8	8,2	6,9	3,9	6,4	7,4	5,2
14	2,6	6,1	8,7	7,3	4,0	6,2	7,2	5,1
15	2,6	6,3	9,2	7,8	4,2	6,2	7,0	5,0
16	2,8	6,6	9,6	8,3	4,6	6,3	7,0	5,0
17	3,0	6,9	10,0	8,7	5,0	6,6	7,1	5,1
18	3,2	7,1	10,3	9,1	5,4	7,1	7,6	5,4
19	3,5	7,4	10,6	9,4	5,9	7,8	8,2	5,8
20	3,8	7,6	10,8	9,7	6,3	8,5	9,0	6,3
21	4,1	7,7	10,9	9,9	6,6	9,2	9,8	7,0
22	4,3	7,9	11,0	10,0	6,9	9,8	10,6	7,6
23	4,5	7,9	10,9	10,0	7,1	10,2	11,1	8,0
24	4,6	7,9	10,8	10,0	7,1	10,5	11,5	8,3
Hr Máx	1	23	22	23	24	1	1	2
Máx	4,7	7,9	11,0	10,0	7,1	10,6	11,7	8,5
Hr Mín	13	10	10	10	13	14	15	15
Mín	2,6	5,3	7,3	6,5	3,9	6,2	7,0	5,0
ΔT_e	3,1	6,5	9,2	8,1	4,9	7,1	7,9	5,6

2.3. Parede 2 - Espaço com Inércia Térmica Pesada

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4,4	7,5	10,3	9,4	6,7	10,1	11,1	8,1
2	4,4	7,4	10,1	9,3	6,7	10,0	11,1	8,1
3	4,4	7,2	9,8	9,0	6,6	9,9	11,0	8,0
4	4,3	7,0	9,5	8,8	6,4	9,7	10,8	7,9
5	4,1	6,8	9,2	8,5	6,2	9,4	10,6	7,7
6	3,9	6,5	8,9	8,2	5,9	9,1	10,3	7,4
7	3,7	6,2	8,5	7,8	5,7	8,8	9,9	7,2
8	3,5	5,9	8,1	7,5	5,4	8,4	9,5	6,8
9	3,3	5,7	7,9	7,2	5,1	8,1	9,2	6,5
10	3,1	5,6	7,8	7,0	4,8	7,7	8,8	6,2
11	3,0	5,7	7,9	7,0	4,6	7,4	8,4	6,0
12	2,9	5,9	8,2	7,1	4,4	7,1	8,1	5,7
13	2,8	6,1	8,6	7,3	4,4	6,9	7,9	5,6
14	2,8	6,3	9,0	7,7	4,4	6,8	7,7	5,5
15	2,9	6,5	9,3	8,0	4,6	6,8	7,6	5,4
16	3,0	6,7	9,6	8,4	4,9	6,9	7,6	5,5
17	3,2	6,9	9,9	8,7	5,2	7,1	7,8	5,6
18	3,4	7,1	10,1	9,0	5,6	7,5	8,1	5,8
19	3,6	7,2	10,3	9,2	5,9	8,0	8,6	6,1
20	3,8	7,4	10,4	9,4	6,2	8,6	9,2	6,5
21	4,0	7,5	10,5	9,5	6,4	9,1	9,8	7,0
22	4,2	7,6	10,5	9,6	6,6	9,5	10,4	7,4
23	4,3	7,6	10,5	9,6	6,7	9,8	10,8	7,7
24	4,4	7,6	10,4	9,5	6,8	10,0	11,0	8,0
Hr Máx	2	23	22	22	23	1	1	1
Máx	4,4	7,6	10,5	9,6	6,8	10,1	11,1	8,1
Hr Mín	13	10	10	10	13	14	15	15
Mín	2,8	5,6	7,8	7,0	4,4	6,8	7,6	5,4
ΔT_e	3,2	6,6	9,3	8,2	5,1	7,5	8,3	5,9

3. Parede 3

3.1. Parede 3 - Espaço com Inércia Térmica Leve

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	6,8	9,3	12,1	11,7	9,6	14,7	16,5	12,2
2	6,6	8,8	11,3	10,9	9,2	14,2	16,0	11,9
3	6,2	8,1	10,3	10,0	8,5	13,4	15,2	11,4
4	5,6	7,3	9,3	9,1	7,7	12,4	14,2	10,6
5	5,0	6,5	8,3	8,0	6,9	11,3	13,0	9,7
6	4,3	5,6	7,1	7,0	6,0	10,0	11,7	8,6
7	3,6	4,7	6,1	5,9	5,1	8,8	10,3	7,5
8	2,8	3,8	5,1	4,9	4,1	7,5	8,9	6,4
9	2,2	3,3	4,5	4,1	3,3	6,3	7,6	5,4
10	1,7	3,3	4,5	3,8	2,5	5,3	6,4	4,4
11	1,3	3,8	5,2	4,0	2,0	4,4	5,5	3,7
12	1,2	4,6	6,5	4,7	1,7	3,8	4,7	3,1
13	1,2	5,5	8,0	5,9	1,8	3,4	4,2	2,8
14	1,4	6,3	9,5	7,3	2,3	3,3	4,0	2,8
15	1,8	7,1	10,9	8,7	3,1	3,6	4,1	3,0
16	2,4	7,8	12,0	10,0	4,3	4,3	4,5	3,3
17	3,0	8,5	12,8	11,1	5,6	5,5	5,4	4,0
18	3,8	9,1	13,4	11,9	6,8	7,2	6,8	4,9
19	4,5	9,5	13,8	12,6	8,0	9,0	8,7	6,1
20	5,2	9,9	14,0	13,0	8,9	11,0	10,9	7,7
21	5,9	10,1	14,0	13,1	9,6	12,7	13,0	9,3
22	6,4	10,2	13,8	13,1	10,0	13,9	14,8	10,7
23	6,7	10,1	13,4	12,8	10,1	14,7	15,9	11,6
24	6,9	9,8	12,8	12,3	10,0	14,9	16,5	12,1
Hr Máx	24	22	20	21	23	24	24	1
Máx	6,9	10,2	14,0	13,1	10,1	14,9	16,5	12,2
Hr Mín	12	10	9	10	12	14	14	13
Mín	1,2	3,3	4,5	3,8	1,7	3,3	4,0	2,8
ΔT_c	2,8	7,1	10,4	8,8	4,7	6,1	6,5	4,6

3.2. Parede 3 - Espaço com Inércia Térmica Média

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	6,2	9,0	11,8	11,2	8,9	13,4	14,9	11,0
2	6,0	8,6	11,2	10,7	8,6	13,1	14,7	10,9
3	5,8	8,1	10,5	10,0	8,1	12,5	14,2	10,5
4	5,4	7,5	9,7	9,3	7,6	11,8	13,4	10,0
5	4,9	6,8	8,9	8,5	6,9	11,0	12,6	9,3
6	4,4	6,1	8,0	7,6	6,2	10,1	11,6	8,5
7	3,8	5,3	7,1	6,8	5,5	9,1	10,5	7,7
8	3,2	4,7	6,2	5,9	4,8	8,1	9,5	6,8
9	2,7	4,2	5,7	5,3	4,1	7,2	8,4	6,0
10	2,3	4,2	5,7	4,9	3,4	6,3	7,5	5,3
11	2,0	4,5	6,2	5,0	3,0	5,6	6,7	4,6
12	1,8	5,1	7,1	5,5	2,7	5,1	6,0	4,2
13	1,8	5,8	8,3	6,4	2,7	4,7	5,6	3,9
14	2,0	6,4	9,4	7,4	3,0	4,6	5,3	3,8
15	2,2	7,0	10,5	8,5	3,6	4,7	5,3	3,8
16	2,6	7,5	11,3	9,5	4,5	5,2	5,5	4,1
17	3,1	8,0	12,0	10,4	5,5	6,1	6,2	4,5
18	3,7	8,5	12,5	11,1	6,5	7,3	7,2	5,2
19	4,3	8,9	12,8	11,6	7,4	8,7	8,6	6,1
20	4,8	9,2	13,0	11,9	8,1	10,2	10,4	7,3
21	5,3	9,4	13,1	12,1	8,6	11,6	12,1	8,6
22	5,8	9,5	13,0	12,1	9,0	12,6	13,5	9,7
23	6,1	9,5	12,7	12,0	9,1	13,2	14,4	10,5
24	6,2	9,3	12,3	11,7	9,1	13,5	14,9	10,9
Hr Máx	24	22	21	21	23	24	24	1
Máx	6,2	9,5	13,1	12,1	9,1	13,5	14,9	11,0
Hr Mín	12	9	9	10	12	14	14	14
Mín	1,8	4,2	5,7	4,9	2,7	4,6	5,3	3,8
ΔT_e	3,0	7,0	10,2	8,7	4,9	6,7	7,2	5,1

3.3. Parede 3 - Espaço com Inércia Térmica Pesada

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	5,6	8,5	11,2	10,5	8,1	12,3	13,7	10,1
2	5,5	8,1	10,8	10,1	7,9	12,0	13,4	9,9
3	5,3	7,8	10,2	9,6	7,5	11,5	13,0	9,6
4	5,0	7,3	9,7	9,1	7,1	11,0	12,4	9,2
5	4,6	6,8	9,0	8,5	6,6	10,3	11,7	8,6
6	4,2	6,3	8,4	7,9	6,1	9,6	11,0	8,1
7	3,8	5,8	7,7	7,2	5,6	8,9	10,2	7,4
8	3,4	5,3	7,1	6,6	5,0	8,2	9,4	6,8
9	3,0	5,0	6,8	6,2	4,5	7,5	8,7	6,2
10	2,7	5,0	6,8	6,0	4,1	6,9	8,0	5,7
11	2,5	5,3	7,2	6,1	3,7	6,4	7,4	5,2
12	2,4	5,7	7,9	6,5	3,6	6,0	7,0	4,9
13	2,4	6,2	8,8	7,2	3,6	5,8	6,7	4,7
14	2,5	6,7	9,7	8,0	3,9	5,7	6,6	4,7
15	2,7	7,2	10,5	8,8	4,4	5,9	6,6	4,8
16	3,1	7,6	11,1	9,5	5,0	6,3	6,8	5,0
17	3,4	7,9	11,6	10,2	5,8	6,9	7,2	5,3
18	3,8	8,2	11,9	10,6	6,5	7,9	8,1	5,8
19	4,3	8,5	12,1	11,0	7,2	9,0	9,2	6,5
20	4,7	8,7	12,2	11,2	7,7	10,1	10,4	7,4
21	5,1	8,9	12,3	11,3	8,1	11,1	11,7	8,4
22	5,4	8,9	12,2	11,3	8,3	11,8	12,7	9,2
23	5,6	8,9	11,9	11,1	8,4	12,2	13,4	9,7
24	5,6	8,7	11,6	10,9	8,3	12,4	13,7	10,0
Hr Máx	24	22	21	21	23	24	24	1
Máx	5,6	8,9	12,3	11,3	8,4	12,4	13,7	10,1
Hr Mín	12	9	9	10	12	14	14	13
Mín	2,4	5,0	6,8	6,0	3,6	5,7	6,6	4,7
ΔT_e	3,3	7,2	10,2	8,9	5,3	7,3	8,0	5,7

4. Parede 4

4.1. Parede 4 - Espaço com Inércia Térmica Leve

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	6,6	8,4	10,6	10,3	8,9	14,1	16,2	12,1
2	6,0	7,6	9,6	9,3	8,1	13,0	14,9	11,2
3	5,3	6,7	8,5	8,3	7,2	11,7	13,5	10,1
4	4,6	5,8	7,4	7,2	6,2	10,4	12,0	9,0
5	3,8	4,9	6,2	6,1	5,2	9,0	10,5	7,8
6	3,0	3,9	5,1	5,0	4,3	7,6	9,1	6,6
7	2,2	3,0	4,1	4,0	3,3	6,3	7,6	5,4
8	1,5	2,5	3,5	3,2	2,4	5,2	6,3	4,3
9	1,1	2,8	3,9	3,0	1,7	4,2	5,2	3,5
10	0,9	3,8	5,2	3,6	1,3	3,5	4,4	2,8
11	0,9	5,0	7,1	4,8	1,2	3,0	3,8	2,5
12	1,1	6,3	9,2	6,5	1,5	2,9	3,6	2,4
13	1,5	7,3	11,1	8,4	2,3	3,0	3,6	2,5
14	2,1	8,1	12,5	10,1	3,5	3,6	3,9	3,0
15	2,8	8,7	13,4	11,5	5,1	4,6	4,6	3,6
16	3,6	9,3	14,0	12,5	6,7	6,2	5,7	4,4
17	4,5	9,8	14,4	13,1	8,1	8,2	7,5	5,5
18	5,3	10,2	14,5	13,5	9,3	10,5	9,9	6,9
19	6,0	10,4	14,5	13,7	10,1	12,8	12,6	8,8
20	6,7	10,6	14,3	13,6	10,6	14,6	15,2	10,8
21	7,1	10,5	13,9	13,3	10,7	15,7	17,0	12,3
22	7,3	10,2	13,3	12,8	10,6	16,1	17,8	13,1
23	7,3	9,7	12,5	12,1	10,2	15,8	17,8	13,2
24	7,0	9,1	11,6	11,3	9,6	15,1	17,2	12,8
Hr Máx	22	20	18	19	21	22	22	23
Máx	7,3	10,6	14,5	13,7	10,7	16,1	17,8	13,2
Hr Mín	10	8	8	9	11	12	12	12
Mín	0,9	2,5	3,5	3,0	1,2	2,9	3,6	2,4
ΔT_e	3,5	8,3	12,0	10,4	5,9	7,4	7,7	5,5

4.2. Parede 4 - Espaço com Inércia Térmica Média

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	6,1	8,3	10,8	10,3	8,4	13,1	14,9	11,1
2	5,7	7,7	10,0	9,5	7,9	12,3	14,0	10,5
3	5,2	7,1	9,1	8,7	7,2	11,4	13,0	9,7
4	4,6	6,3	8,2	7,8	6,5	10,4	11,9	8,8
5	4,0	5,5	7,3	7,0	5,7	9,3	10,8	7,9
6	3,4	4,8	6,3	6,0	4,9	8,3	9,6	7,0
7	2,7	4,0	5,5	5,2	4,1	7,3	8,5	6,1
8	2,2	3,6	4,9	4,5	3,4	6,3	7,5	5,2
9	1,8	3,8	5,1	4,3	2,8	5,5	6,6	4,5
10	1,6	4,5	6,1	4,7	2,4	4,8	5,8	4,0
11	1,6	5,4	7,5	5,6	2,3	4,4	5,3	3,6
12	1,7	6,4	9,1	6,8	2,4	4,2	5,0	3,5
13	2,0	7,1	10,6	8,3	3,0	4,2	5,0	3,5
14	2,4	7,7	11,7	9,6	3,9	4,6	5,1	3,8
15	2,9	8,2	12,4	10,7	5,1	5,3	5,5	4,2
16	3,6	8,6	12,9	11,5	6,3	6,5	6,4	4,8
17	4,2	9,1	13,2	12,0	7,5	8,1	7,7	5,6
18	4,8	9,4	13,4	12,4	8,4	9,9	9,6	6,7
19	5,4	9,7	13,4	12,5	9,1	11,7	11,7	8,2
20	6,0	9,8	13,3	12,5	9,5	13,1	13,7	9,8
21	6,4	9,8	13,1	12,4	9,6	14,1	15,2	11,0
22	6,6	9,6	12,7	12,0	9,6	14,4	15,9	11,7
23	6,6	9,3	12,1	11,6	9,3	14,2	16,0	11,8
24	6,4	8,9	11,5	11,0	8,9	13,8	15,6	11,6
Hr Máx	22	20	18	19	21	22	23	23
Máx	6,6	9,8	13,4	12,5	9,6	14,4	16,0	11,8
Hr Mín	10	8	8	9	11	12	12	12
Mín	1,6	3,6	4,9	4,3	2,3	4,2	5,0	3,5
ΔT_e	3,5	8,0	11,4	9,9	5,8	7,6	8,0	5,7

4.3. Parede 4 - Espaço com Inércia Térmica Pesada

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	5,5	8,0	10,4	9,8	7,7	11,9	13,5	10,0
2	5,2	7,5	9,9	9,3	7,3	11,3	12,8	9,5
3	4,8	7,0	9,2	8,7	6,8	10,6	12,0	8,9
4	4,4	6,5	8,6	8,0	6,3	9,8	11,2	8,3
5	3,9	5,9	7,9	7,4	5,7	9,1	10,4	7,6
6	3,5	5,3	7,2	6,7	5,1	8,3	9,5	6,9
7	3,0	4,8	6,6	6,1	4,6	7,6	8,7	6,3
8	2,6	4,5	6,2	5,6	4,1	6,9	8,0	5,6
9	2,4	4,7	6,4	5,5	3,6	6,3	7,3	5,1
10	2,2	5,2	7,2	5,8	3,4	5,9	6,8	4,8
11	2,2	6,0	8,3	6,6	3,3	5,6	6,5	4,5
12	2,3	6,7	9,6	7,6	3,5	5,5	6,3	4,5
13	2,6	7,3	10,6	8,6	3,9	5,6	6,3	4,6
14	2,9	7,7	11,4	9,7	4,6	5,8	6,5	4,8
15	3,3	8,1	12,0	10,4	5,5	6,4	6,8	5,1
16	3,8	8,4	12,3	11,0	6,4	7,3	7,4	5,5
17	4,3	8,7	12,4	11,3	7,3	8,5	8,5	6,1
18	4,7	8,9	12,5	11,6	8,0	9,9	9,9	7,0
19	5,2	9,1	12,5	11,6	8,4	11,2	11,5	8,1
20	5,5	9,1	12,4	11,6	8,7	12,3	13,0	9,3
21	5,8	9,1	12,2	11,5	8,8	12,9	14,1	10,2
22	5,9	9,0	11,9	11,2	8,7	13,1	14,5	10,6
23	5,9	8,7	11,5	10,8	8,4	12,9	14,5	10,7
24	5,8	8,4	11,0	10,4	8,1	12,5	14,1	10,4
Hr Máx	22	20	18	19	21	22	22	23
Máx	5,9	9,1	12,5	11,6	8,8	13,1	14,5	10,7
Hr Mín	10	8	8	9	11	12	12	11
Mín	2,2	4,5	6,2	5,5	3,3	5,5	6,3	4,5
ΔT_e	3,7	7,9	11,1	9,8	6,0	8,1	8,6	6,2

5. Parede 5

5.1. Parede 5 - Espaço com Inércia Térmica Leve

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	1,8	3,5	5,6	5,2	3,8	8,3	10,1	6,6
2	1,2	2,7	4,6	4,3	3,0	7,2	8,9	5,6
3	0,5	1,9	3,6	3,3	2,2	6,0	7,6	4,6
4	-0,2	1,0	2,6	2,3	1,3	4,9	6,3	3,6
5	-1,0	0,2	1,6	1,3	0,4	3,7	5,0	2,5
6	-1,7	-0,6	0,6	0,4	-0,4	2,5	3,8	1,5
7	-2,2	-1,1	0,0	-0,3	-1,2	1,5	2,6	0,6
8	-2,6	-0,7	0,5	-0,4	-1,8	0,7	1,7	-0,2
9	-2,7	0,4	1,9	0,2	-2,2	0,0	1,0	-0,7
10	-2,7	1,7	3,8	1,5	-2,2	-0,3	0,5	-1,0
11	-2,5	2,8	5,8	3,2	-1,9	-0,4	0,4	-1,0
12	-2,1	3,6	7,5	4,9	-1,1	-0,2	0,4	-0,8
13	-1,5	4,2	8,6	6,4	0,1	0,2	0,7	-0,4
14	-0,9	4,7	9,3	7,6	1,5	1,2	1,3	0,1
15	-0,1	5,1	9,6	8,3	3,0	2,7	2,3	0,8
16	0,6	5,5	9,9	8,8	4,3	4,7	4,0	1,8
17	1,3	5,9	10,0	9,0	5,3	6,8	6,3	3,2
18	2,0	6,2	9,9	9,1	5,9	8,9	8,9	5,0
19	2,5	6,2	9,7	9,0	6,2	10,5	11,3	6,9
20	2,9	6,2	9,4	8,8	6,2	11,3	12,8	8,3
21	3,1	5,9	8,8	8,3	6,0	11,4	13,2	8,7
22	3,0	5,4	8,1	7,7	5,7	11,0	12,9	8,6
23	2,7	4,9	7,4	6,9	5,1	10,2	12,2	8,1
24	2,3	4,3	6,5	6,1	4,5	9,3	11,2	7,4
Hr Máx	21	19	17	18	19	21	21	21
Máx	3,1	6,2	10,0	9,1	6,2	11,4	13,2	8,7
Hr Mín	9	7	7	8	9	11	11	10
Mín	-2,7	-1,1	0,0	-0,4	-2,2	-0,4	0,4	-1,0
ΔT_e	0,2	4,8	8,5	7,1	2,8	4,7	5,2	2,6

5.2. Parede 5 - Espaço com Inércia Térmica Média

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	1,5	3,7	5,9	5,4	3,6	7,8	9,3	6,0
2	1,1	3,0	5,1	4,7	3,0	7,0	8,5	5,3
3	0,6	2,4	4,3	3,9	2,4	6,1	7,5	4,6
4	0,0	1,7	3,5	3,1	1,7	5,2	6,6	3,8
5	-0,6	1,0	2,6	2,3	1,0	4,3	5,6	3,0
6	-1,1	0,3	1,8	1,5	0,3	3,4	4,6	2,2
7	-1,6	-0,1	1,3	0,9	-0,3	2,5	3,7	1,4
8	-1,9	0,1	1,6	0,7	-0,8	1,8	2,9	0,8
9	-2,0	0,9	2,7	1,2	-1,2	1,3	2,3	0,3
10	-2,1	1,9	4,1	2,1	-1,3	0,9	1,8	0,0
11	-1,9	2,8	5,7	3,4	-1,1	0,8	1,6	0,0
12	-1,7	3,4	7,0	4,7	-0,5	0,8	1,6	0,0
13	-1,3	3,8	7,8	5,9	0,4	1,1	1,7	0,3
14	-0,8	4,2	8,3	6,8	1,5	1,8	2,1	0,7
15	-0,2	4,6	8,6	7,4	2,6	3,0	2,8	1,2
16	0,4	4,9	8,9	7,8	3,6	4,5	4,1	1,9
17	0,9	5,2	9,0	8,0	4,4	6,2	5,9	2,9
18	1,4	5,5	9,0	8,1	4,9	7,8	7,9	4,4
19	1,9	5,6	9,0	8,1	5,2	9,1	9,8	5,9
20	2,3	5,6	8,7	8,0	5,3	9,8	11,1	7,0
21	2,4	5,4	8,4	7,7	5,2	9,9	11,5	7,4
22	2,3	5,1	7,9	7,2	4,9	9,6	11,3	7,4
23	2,2	4,7	7,3	6,7	4,6	9,1	10,8	7,0
24	1,9	4,2	6,6	6,1	4,2	8,5	10,1	6,6
Hr Máx	21	19	18	18	20	21	21	21
Máx	2,4	5,6	9,0	8,1	5,3	9,9	11,5	7,4
Hr Mín	10	7	7	8	10	11	11	11
Mín	-2,1	-0,1	1,3	0,7	-1,3	0,8	1,6	0,0
ΔT_e	0,1	4,4	7,9	6,5	2,5	4,6	5,2	2,6

5.3. Parede 5 - Espaço com Inércia Térmica Pesada

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	1,1	3,5	5,8	5,2	3,2	6,9	8,3	5,2
2	0,8	3,0	5,3	4,7	2,7	6,3	7,7	4,7
3	0,4	2,6	4,7	4,1	2,2	5,7	7,0	4,1
4	0,0	2,0	4,1	3,5	1,8	5,0	6,2	3,5
5	-0,5	1,5	3,5	3,0	1,2	4,4	5,5	2,9
6	-0,9	1,0	2,9	2,4	0,7	3,7	4,8	2,3
7	-1,2	0,7	2,5	1,9	0,3	3,1	4,2	1,8
8	-1,4	1,0	2,8	1,9	-0,1	2,6	3,6	1,4
9	-1,5	1,6	3,6	2,2	-0,3	2,2	3,2	1,0
10	-1,5	2,4	4,8	3,0	-0,4	2,0	2,9	0,9
11	-1,4	3,0	6,0	4,0	-0,2	1,9	2,8	0,8
12	-1,1	3,5	6,9	5,0	0,3	2,0	2,8	0,9
13	-0,8	3,8	7,5	5,9	1,0	2,2	2,9	1,2
14	-0,5	4,1	7,9	6,5	1,8	2,8	3,2	1,4
15	0,0	4,3	8,1	6,9	2,7	3,7	3,8	1,8
16	0,4	4,6	8,2	7,2	3,4	4,8	4,8	2,4
17	0,8	4,8	8,2	7,3	4,0	6,1	6,1	3,2
18	1,2	4,9	8,2	7,4	4,3	7,3	7,7	4,2
19	1,5	5,0	8,2	7,3	4,5	8,2	9,1	5,4
20	1,7	5,0	8,0	7,2	4,5	8,7	10,0	6,2
21	1,8	4,8	7,7	6,9	4,4	8,7	10,2	6,4
22	1,8	4,6	7,3	6,6	4,2	8,4	10,0	6,3
23	1,6	4,3	6,9	6,2	3,9	8,0	9,5	6,1
24	1,4	3,9	6,4	5,7	3,6	7,5	9,0	5,7
Hr Máx	21	19	17	18	19	20	21	21
Máx	1,8	5,0	8,2	7,4	4,5	8,7	10,2	6,4
Hr Mín	9	7	7	7	10	11	11	11
Mín	-1,5	0,7	2,5	1,9	-0,4	1,9	2,8	0,8
ΔT_e	0,2	4,2	7,5	6,2	2,5	4,9	5,5	2,9

6. Parede 6

6.1. Parede 6 - Espaço com Inércia Térmica Leve

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	6,3	7,1	8,6	8,6	8,1	13,7	16,1	12,2
2	5,3	6,0	7,2	7,2	6,8	11,7	13,8	10,5
3	4,2	4,7	5,8	5,8	5,4	9,7	11,6	8,7
4	3,1	3,5	4,4	4,4	4,1	7,8	9,4	7,0
5	2,0	2,3	3,1	3,1	2,8	6,0	7,4	5,3
6	1,0	1,2	1,8	1,8	1,7	4,3	5,5	3,8
7	0,1	0,4	0,9	0,8	0,6	2,8	3,8	2,4
8	-0,5	0,6	1,1	0,5	-0,2	1,6	2,5	1,3
9	-0,6	2,0	2,9	1,2	-0,7	0,9	1,6	0,6
10	-0,5	4,2	5,9	3,1	-0,8	0,5	1,1	0,3
11	-0,1	6,4	9,3	5,7	-0,2	0,6	1,1	0,4
12	0,6	8,1	12,5	8,6	0,9	1,0	1,4	0,9
13	1,5	9,2	14,7	11,4	2,8	1,9	2,1	1,6
14	2,6	10,0	16,0	13,5	5,0	3,4	3,2	2,7
15	3,8	10,6	16,5	14,9	7,4	5,5	4,7	3,9
16	5,0	11,1	16,6	15,6	9,7	8,4	7,1	5,3
17	6,2	11,5	16,5	15,8	11,4	11,8	10,3	7,2
18	7,1	11,7	16,1	15,7	12,4	15,0	14,2	9,7
19	7,9	11,7	15,6	15,3	12,9	17,8	18,0	12,5
20	8,5	11,5	14,9	14,6	12,8	19,4	21,0	15,0
21	8,7	11,0	13,9	13,7	12,3	19,7	22,2	16,3
22	8,5	10,3	12,7	12,6	11,5	18,9	21,7	16,2
23	8,0	9,3	11,4	11,3	10,5	17,4	20,3	15,3
24	7,2	8,3	10,0	10,0	9,3	15,6	18,3	13,9
Hr Máx	21	18	16	17	19	21	21	21
Máx	8,7	11,7	16,6	15,8	12,9	19,7	22,2	16,3
Hr Mín	9	7	7	8	10	10	10	10
Mín	-0,6	0,4	0,9	0,5	-0,8	0,5	1,1	0,3
ΔT_e	4,3	9,8	14,0	12,3	7,2	8,8	8,9	6,3

6.2. Parede 6 - Espaço com Inércia Térmica Média

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	6,0	7,4	9,3	9,1	7,9	12,9	15,0	11,3
2	5,2	6,5	8,2	8,0	6,9	11,5	13,3	10,0
3	4,4	5,5	7,0	6,8	5,9	10,0	11,7	8,7
4	3,6	4,5	5,9	5,7	4,9	8,5	10,0	7,4
5	2,7	3,6	4,7	4,6	3,9	7,1	8,5	6,1
6	1,8	2,6	3,6	3,5	2,9	5,8	7,0	4,9
7	1,1	1,9	2,8	2,6	2,0	4,6	5,6	3,8
8	0,6	1,9	2,9	2,2	1,3	3,5	4,5	2,9
9	0,4	3,0	4,2	2,7	0,8	2,8	3,7	2,2
10	0,5	4,7	6,5	4,1	0,7	2,4	3,2	1,9
11	0,7	6,3	9,1	6,1	1,0	2,3	3,0	1,9
12	1,2	7,6	11,6	8,4	1,8	2,6	3,2	2,1
13	1,9	8,5	13,3	10,5	3,2	3,1	3,6	2,7
14	2,7	9,1	14,3	12,2	4,9	4,2	4,3	3,4
15	3,6	9,6	14,8	13,2	6,8	5,8	5,4	4,3
16	4,6	10,0	14,9	13,8	8,5	8,1	7,2	5,3
17	5,5	10,4	14,9	14,1	9,9	10,7	9,7	6,8
18	6,2	10,6	14,7	14,1	10,8	13,3	12,7	8,8
19	6,9	10,7	14,4	13,9	11,2	15,5	15,8	11,0
20	7,4	10,6	13,9	13,5	11,2	16,9	18,2	13,0
21	7,7	10,3	13,3	12,9	10,9	17,2	19,2	14,1
22	7,5	9,8	12,4	12,1	10,4	16,7	19,0	14,1
23	7,2	9,1	11,4	11,1	9,7	15,6	18,0	13,5
24	6,7	8,3	10,4	10,1	8,8	14,3	16,6	12,5
Hr Máx	21	19	16	17	19	21	21	21
Máx	7,7	10,7	14,9	14,1	11,2	17,2	19,2	14,1
Hr Mín	9	7	7	8	10	11	11	10
Mín	0,4	1,9	2,8	2,2	0,7	2,3	3,0	1,9
ΔT_e	4,1	9,0	13,0	11,4	6,7	8,5	8,8	6,3

6.3. Parede 6 - Espaço com Inércia Térmica Pesada

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	5,4	7,2	9,3	8,9	7,3	11,6	13,4	10,1
2	4,8	6,6	8,5	8,1	6,5	10,5	12,2	9,1
3	4,2	5,9	7,6	7,2	5,8	9,4	10,9	8,1
4	3,5	5,1	6,8	6,4	5,1	8,4	9,7	7,1
5	2,9	4,4	6,0	5,6	4,3	7,4	8,6	6,2
6	2,3	3,7	5,2	4,9	3,6	6,4	7,5	5,3
7	1,8	3,2	4,6	4,2	3,0	5,6	6,6	4,5
8	1,4	3,3	4,7	4,0	2,5	4,9	5,8	3,9
9	1,3	4,2	5,8	4,4	2,2	4,4	5,2	3,4
10	1,4	5,5	7,6	5,5	2,1	4,1	4,9	3,3
11	1,6	6,8	9,6	7,1	2,4	4,1	4,9	3,3
12	2,0	7,7	11,4	8,8	3,1	4,3	5,0	3,5
13	2,5	8,3	12,7	10,4	4,1	4,8	5,4	4,0
14	3,2	8,8	13,4	11,6	5,4	5,6	5,9	4,5
15	3,9	9,1	13,7	12,3	6,9	6,9	6,8	5,2
16	4,6	9,4	13,7	12,7	8,1	8,6	8,1	6,0
17	5,2	9,6	13,6	12,8	9,1	10,5	10,0	7,1
18	5,8	9,7	13,4	12,7	9,7	12,4	12,3	8,6
19	6,2	9,8	13,1	12,5	10,0	14,0	14,6	10,2
20	6,6	9,7	12,8	12,2	9,9	15,0	16,3	11,7
21	6,7	9,4	12,2	11,7	9,6	15,1	17,0	12,4
22	6,6	9,0	11,6	11,1	9,2	14,6	16,7	12,4
23	6,3	8,5	10,9	10,4	8,6	13,8	15,8	11,8
24	5,9	7,9	10,1	9,6	8,0	12,7	14,7	11,0
Hr Máx	21	19	15	17	19	21	21	21
Máx	6,7	9,8	13,7	12,8	10,0	15,1	17,0	12,4
Hr Mín	9	7	7	8	10	10	10	10
Mín	1,3	3,2	4,6	4,0	2,1	4,1	4,9	3,3
ΔT_c	4,1	8,7	12,3	10,9	6,7	8,8	9,3	6,7

7. Parede 7

7.1. Parede 7 - Espaço com Inércia Térmica Leve

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	5,2	6,0	7,3	7,3	6,7	11,3	13,3	10,1
2	4,2	4,8	6,0	5,9	5,4	9,5	11,3	8,5
3	3,1	3,7	4,7	4,6	4,2	7,8	9,3	6,9
4	2,1	2,6	3,4	3,3	3,0	6,1	7,5	5,3
5	1,1	1,5	2,2	2,2	1,9	4,6	5,7	3,9
6	0,2	0,6	1,2	1,1	0,9	3,2	4,2	2,6
7	-0,3	0,7	1,3	0,7	0,1	2,0	2,9	1,6
8	-0,4	2,4	3,4	1,6	-0,4	1,3	2,1	0,9
9	-0,2	4,7	6,5	3,6	-0,4	1,0	1,6	0,7
10	0,2	6,9	10,0	6,2	0,1	1,1	1,6	0,8
11	0,9	8,4	12,9	9,1	1,3	1,5	2,0	1,3
12	1,7	9,2	14,9	11,7	3,1	2,3	2,7	2,1
13	2,8	9,8	15,8	13,6	5,3	3,7	3,6	3,0
14	4,0	10,3	16,0	14,7	7,7	5,8	5,0	4,2
15	5,1	10,8	16,0	15,1	9,8	8,7	7,3	5,5
16	6,1	11,2	15,9	15,2	11,3	12,0	10,5	7,2
17	7,0	11,4	15,6	15,1	12,2	15,1	14,3	9,7
18	7,8	11,5	15,2	14,8	12,5	17,7	18,1	12,6
19	8,3	11,3	14,5	14,2	12,3	19,1	21,0	15,1
20	8,5	10,8	13,6	13,4	11,8	19,2	21,8	16,1
21	8,3	10,0	12,5	12,3	11,0	18,1	20,9	15,7
22	7,7	9,2	11,3	11,1	10,1	16,6	19,3	14,6
23	7,0	8,2	10,0	9,9	9,0	14,9	17,4	13,2
24	6,1	7,1	8,7	8,6	7,9	13,1	15,4	11,7
Hr Máx	20	18	14	16	18	20	20	20
Máx	8,5	11,5	16,0	15,2	12,5	19,2	21,8	16,1
Hr Mín	8	6	6	7	8	9	9	9
Mín	-0,4	0,6	1,2	0,7	-0,4	1,0	1,6	0,7
ΔT_e	5,1	10,1	14,4	13,0	8,2	10,4	10,7	7,8

7.2. Parede 7 - Espaço com Inércia Térmica Média

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	5,1	6,5	8,2	8,0	6,9	11,2	12,9	9,7
2	4,4	5,6	7,1	6,9	5,9	9,8	11,4	8,5
3	3,5	4,7	6,0	5,8	5,0	8,5	10,0	7,3
4	2,7	3,7	5,0	4,8	4,0	7,2	8,5	6,1
5	1,9	2,8	3,9	3,8	3,1	5,9	7,1	5,0
6	1,2	2,0	3,0	2,8	2,2	4,8	5,9	4,0
7	0,7	2,1	3,0	2,4	1,5	3,8	4,8	3,1
8	0,7	3,3	4,5	3,0	1,1	3,2	4,0	2,5
9	0,7	5,1	7,0	4,5	1,0	2,8	3,6	2,2
10	1,0	6,8	9,6	6,5	1,3	2,7	3,5	2,2
11	1,4	7,9	11,9	8,7	2,1	3,0	3,6	2,5
12	2,1	8,5	13,5	10,8	3,5	3,5	4,0	3,0
13	2,9	9,0	14,2	12,3	5,2	4,4	4,6	3,7
14	3,7	9,4	14,4	13,1	7,0	6,1	5,6	4,5
15	4,6	9,8	14,5	13,5	8,7	8,3	7,3	5,5
16	5,5	10,2	14,5	13,7	9,9	10,9	9,9	6,8
17	6,2	10,4	14,4	13,7	10,6	13,4	12,9	8,8
18	6,8	10,5	14,1	13,5	10,9	15,5	15,9	11,1
19	7,3	10,5	13,7	13,2	10,9	16,7	18,2	13,1
20	7,5	10,1	13,0	12,6	10,6	16,8	19,0	14,0
21	7,3	9,6	12,2	11,8	10,0	16,1	18,4	13,7
22	7,0	9,0	11,3	11,0	9,4	15,0	17,2	12,9
23	6,4	8,2	10,4	10,0	8,6	13,8	15,9	12,0
24	5,8	7,4	9,3	9,0	7,8	12,5	14,4	10,9
Hr Máx	20	18	15	16	18	20	20	20
Máx	7,5	10,5	14,5	13,7	10,9	16,8	19,0	14,0
Hr Mín	8	6	6	7	9	10	10	9
Mín	0,7	2,0	3,0	2,4	1,0	2,7	3,5	2,2
ΔT_e	4,7	9,4	13,3	12,0	7,6	9,8	10,2	7,4

7.3. Parede 7 - Espaço com Inércia Térmica Pesada

Hora	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4,7	6,6	8,6	8,1	6,5	10,4	11,9	8,9
2	4,1	5,9	7,8	7,3	5,8	9,4	10,8	8,0
3	3,5	5,2	7,0	6,6	5,1	8,4	9,7	7,1
4	2,9	4,5	6,2	5,8	4,4	7,4	8,6	6,2
5	2,4	3,9	5,4	5,1	3,8	6,6	7,7	5,4
6	1,8	3,3	4,8	4,4	3,1	5,7	6,8	4,7
7	1,6	3,4	4,9	4,1	2,6	5,1	6,0	4,0
8	1,5	4,4	6,1	4,6	2,4	4,6	5,5	3,7
9	1,6	5,8	8,0	5,8	2,3	4,4	5,2	3,5
10	1,8	7,1	10,0	7,4	2,6	4,4	5,2	3,6
11	2,2	7,9	11,7	9,1	3,3	4,6	5,3	3,8
12	2,7	8,4	12,8	10,6	4,3	5,1	5,7	4,2
13	3,3	8,6	13,3	11,7	5,6	5,8	6,2	4,7
14	3,9	8,9	13,4	12,2	7,0	7,0	6,9	5,3
15	4,6	9,2	13,3	12,4	8,2	8,7	8,2	6,1
16	5,2	9,4	13,3	12,5	9,1	10,6	10,2	7,1
17	5,7	9,6	13,1	12,4	9,6	12,5	12,4	8,6
18	6,1	9,6	12,9	12,3	9,7	14,0	14,7	10,3
19	6,5	9,6	12,6	12,0	9,6	14,9	16,4	11,8
20	6,6	9,3	12,1	11,5	9,4	14,8	16,8	12,4
21	6,5	8,9	11,5	10,9	8,9	14,2	16,2	12,1
22	6,1	8,4	10,8	10,3	8,4	13,3	15,3	11,4
23	5,7	7,8	10,1	9,6	7,8	12,3	14,2	10,6
24	5,2	7,2	9,3	8,9	7,2	11,4	13,0	9,7
Hr Máx	20	18	14	16	18	19	20	20
Máx	6,6	9,6	13,4	12,5	9,7	14,9	16,8	12,4
Hr Mín	8	6	6	7	9	9	9	9
Mín	1,5	3,3	4,8	4,1	2,3	4,4	5,2	3,5
ΔT_e	4,6	8,9	12,5	11,3	7,3	9,7	10,4	7,5

Anexo I - Valores Instantâneos de CLTD (°C) para Coberturas

1. Terraço com camada de forma

1.1. Terraço com camada de forma sem tecto falso e sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	19,0	8,4	17,9	7,7	16,8	7,1
2	18,3	8,1	17,4	7,5	16,4	6,9
3	17,3	7,6	16,8	7,2	15,9	6,7
4	16,3	7,0	16,0	6,8	15,3	6,3
5	15,1	6,4	15,1	6,3	14,6	6,0
6	13,8	5,6	14,1	5,7	13,9	5,5
7	12,5	4,8	13,1	5,1	13,2	5,1
8	11,2	4,0	12,1	4,5	12,4	4,6
9	9,9	3,3	11,0	3,9	11,7	4,2
10	8,9	2,6	10,2	3,3	11,1	3,8
11	8,1	2,1	9,5	2,9	10,6	3,5
12	7,8	1,8	9,2	2,6	10,4	3,3
13	8,0	1,8	9,2	2,5	10,5	3,3
14	8,6	2,1	9,7	2,7	10,9	3,4
15	9,7	2,6	10,5	3,1	11,5	3,7
16	11,2	3,4	11,5	3,7	12,3	4,2
17	12,8	4,3	12,8	4,4	13,3	4,7
18	14,6	5,3	14,1	5,1	14,3	5,3
19	16,2	6,3	15,4	5,9	15,2	5,9
20	17,7	7,2	16,6	6,6	16,1	6,4
21	18,8	7,9	17,5	7,1	16,7	6,8
22	19,4	8,3	18,0	7,5	17,0	7,0
23	19,6	8,6	18,3	7,8	17,2	7,2
24	19,5	8,6	18,2	7,8	17,1	7,2
Hr Máx.	23	23	23	23	23	23
Máx.	19,6	8,6	18,3	7,8	17,2	7,2
Hr Mín.	12	12	13	13	13	13
Mín.	7,8	1,8	9,2	2,5	10,4	3,3
ΔT_e	11,9	4,0	12,2	4,2	12,7	4,5

1.2. Terraço com camada de forma sem tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	18,2	7,8	17,2	7,2	16,4	6,7
2	18,0	7,8	17,1	7,2	16,2	6,7
3	17,5	7,6	16,8	7,1	16,0	6,6
4	16,8	7,2	16,3	6,9	15,6	6,4
5	16,0	6,8	15,7	6,6	15,1	6,2
6	15,1	6,3	15,0	6,2	14,6	5,9
7	14,1	5,7	14,3	5,7	14,0	5,6
8	13,0	5,1	13,4	5,3	13,4	5,2
9	11,9	4,4	12,6	4,7	12,8	4,8
10	10,9	3,8	11,8	4,2	12,2	4,4
11	10,1	3,2	11,1	3,8	11,7	4,1
12	9,5	2,8	10,5	3,4	11,4	3,9
13	9,2	2,6	10,2	3,2	11,2	3,7
14	9,2	2,5	10,2	3,1	11,2	3,7
15	9,7	2,7	10,5	3,2	11,4	3,8
16	10,4	3,1	11,1	3,5	11,9	4,0
17	11,5	3,6	11,8	3,9	12,5	4,3
18	12,8	4,3	12,8	4,4	13,2	4,7
19	14,1	5,1	13,8	5,0	14,0	5,2
20	15,4	5,8	14,8	5,6	14,7	5,6
21	16,5	6,5	15,7	6,1	15,4	6,0
22	17,4	7,1	16,4	6,6	15,9	6,3
23	18,0	7,5	16,9	6,9	16,2	6,5
24	18,2	7,7	17,2	7,1	16,4	6,7
Hr Máx.	1	1	1	1	1	1
Máx.	18,3	7,8	17,2	7,2	16,4	6,7
Hr Mín.	14	14	14	14	14	14
Mín.	9,2	2,5	10,2	3,1	11,2	3,7
ΔT_e	11,6	3,8	12,0	4,1	12,6	4,4

1.3. Terraço com camada de forma com tecto falso e sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	17,5	7,4	16,7	6,9	15,9	6,5
2	17,2	7,3	16,5	6,8	15,7	6,4
3	16,7	7,1	16,1	6,7	15,5	6,3
4	16,1	6,7	15,7	6,5	15,1	6,1
5	15,3	6,3	15,2	6,2	14,7	5,9
6	14,5	5,9	14,5	5,8	14,2	5,6
7	13,6	5,3	13,8	5,4	13,7	5,3
8	12,6	4,8	13,1	5,0	13,2	5,0
9	11,7	4,2	12,4	4,6	12,6	4,7
10	10,9	3,7	11,7	4,1	12,1	4,3
11	10,2	3,2	11,1	3,7	11,7	4,1
12	9,7	2,9	10,7	3,5	11,5	3,9
13	9,6	2,8	10,5	3,3	11,4	3,8
14	9,8	2,8	10,6	3,3	11,5	3,8
15	10,3	3,0	11,0	3,5	11,8	3,9
16	11,1	3,4	11,6	3,8	12,2	4,2
17	12,1	4,0	12,3	4,2	12,8	4,5
18	13,3	4,6	13,2	4,7	13,5	4,9
19	14,5	5,3	14,1	5,2	14,2	5,3
20	15,6	6,0	15,0	5,7	14,8	5,6
21	16,5	6,5	15,7	6,1	15,3	6,0
22	17,2	7,0	16,3	6,5	15,7	6,2
23	17,5	7,3	16,6	6,7	15,9	6,4
24	17,7	7,4	16,7	6,9	16,0	6,5
Hr Máx.	24	24	24	24	24	24
Máx.	17,7	7,4	16,7	6,9	16,0	6,5
Hr Mín.	13	13	13	13	13	13
Mín.	9,6	2,8	10,5	3,3	11,4	3,8
ΔT_e	12,0	4,0	12,3	4,3	12,7	4,5

1.4. Terraço com camada de forma com tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	16,1	6,3	15,4	5,9	14,9	5,7
2	16,0	6,4	15,4	6,0	14,9	5,7
3	15,9	6,3	15,3	6,0	14,8	5,7
4	15,6	6,2	15,1	5,9	14,6	5,6
5	15,1	6,0	14,8	5,8	14,4	5,5
6	14,6	5,7	14,4	5,6	14,1	5,3
7	14,0	5,4	14,0	5,3	13,7	5,1
8	13,3	5,0	13,5	5,0	13,4	4,9
9	12,6	4,6	12,9	4,7	12,9	4,7
10	11,9	4,1	12,4	4,4	12,5	4,4
11	11,3	3,7	11,8	4,0	12,2	4,2
12	10,7	3,4	11,4	3,7	11,8	4,0
13	10,4	3,1	11,1	3,5	11,6	3,8
14	10,2	3,0	10,9	3,4	11,5	3,8
15	10,3	3,0	11,0	3,4	11,6	3,7
16	10,7	3,1	11,2	3,5	11,8	3,8
17	11,2	3,4	11,6	3,7	12,1	4,0
18	11,9	3,8	12,1	3,9	12,5	4,2
19	12,7	4,2	12,7	4,3	13,0	4,5
20	13,6	4,7	13,4	4,6	13,4	4,7
21	14,4	5,2	14,0	5,0	13,9	5,0
22	15,1	5,6	14,5	5,3	14,3	5,2
23	15,6	6,0	15,0	5,6	14,6	5,4
24	15,9	6,2	15,3	5,8	14,8	5,6
Hr Máx.	1	2	2	2	2	2
Máx.	16,1	6,4	15,4	6,0	14,9	5,7
Hr Mín.	14	14	14	14	14	14
Mín.	10,2	3,0	10,9	3,4	11,5	3,7
ΔT_e	11,6	3,7	12,0	4,0	12,3	4,2

1.5. Cobertura em chapa metálica ou fibrocimento com e sem tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	2,6	-0,3	6,1	1,6	7,8	2,3
2	0,3	-1,9	4,1	0,2	6,4	1,4
3	-1,7	-3,5	2,3	-1,1	5,2	0,5
4	-3,4	-4,8	0,7	-2,3	4,1	-0,3
5	-4,7	-5,8	-0,6	-3,3	3,2	-1,0
6	-5,5	-6,5	-1,5	-4,0	2,6	-1,5
7	-4,7	-6,2	-1,2	-3,9	3,0	-1,4
8	-1,6	-4,6	1,0	-2,8	4,7	-0,5
9	3,5	-1,9	4,9	-0,8	7,7	1,1
10	10,0	1,7	9,8	2,0	11,5	3,2
11	17,1	5,8	15,3	5,1	15,6	5,5
12	24,0	9,9	20,8	8,3	19,7	7,9
13	30,1	13,5	25,6	11,2	23,2	10,0
14	34,7	16,5	29,4	13,6	25,9	11,8
15	37,5	18,4	31,8	15,2	27,5	12,9
16	38,1	19,1	32,5	15,9	27,9	13,3
17	36,4	18,6	31,5	15,6	26,9	13,0
18	32,6	16,8	28,8	14,4	24,7	11,9
19	27,2	14,1	24,9	12,5	21,5	10,4
20	21,4	11,1	20,6	10,3	18,2	8,7
21	16,3	8,4	16,8	8,2	15,4	7,1
22	12,0	5,9	13,5	6,4	13,0	5,7
23	8,4	3,6	10,7	4,7	11,0	4,5
24	5,3	1,6	8,3	3,1	9,3	3,4
Hr Máx.	16	16	16	16	16	16
Máx.	38,1	19,1	32,5	15,9	27,9	13,3
Hr Mín.	6	6	6	6	6	6
Mín.	-5,5	-6,5	-1,5	-4,0	2,6	-1,5
ΔT_e	27,1	12,8	24,0	11,0	21,5	9,6

1.6. Cobertura em chapa metálica ou fibrocimento sem isolante e sem tecto falso

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	0.3	-1.8	4.2	0.3	6.5	1.5
2	-1.7	-3.4	2.4	-1.0	5.3	0.5
3	-3.5	-4.7	0.8	-2.2	4.2	-0.3
4	-4.9	-5.9	-0.6	-3.3	3.2	-1.0
5	-6.0	-6.7	-1.8	-4.1	2.4	-1.6
6	-6.2	-7.1	-2.3	-4.6	2.1	-1.9
7	-4.3	-6.1	-1.1	-4.0	3.1	-1.4
8	0.4	-3.6	2.4	-2.2	5.8	0.0
9	7.0	0.0	7.5	0.6	9.7	2.1
10	14.6	4.3	13.3	3.9	14.2	4.7
11	22.3	8.8	19.4	7.4	18.7	7.3
12	29.3	12.9	24.9	10.7	22.8	9.7
13	34.9	16.4	29.5	13.5	26.0	11.7
14	38.7	18.9	32.6	15.5	28.2	13.2
15	40.1	20.2	34.0	16.6	29.1	13.9
16	39.2	20.0	33.6	16.7	28.5	13.8
17	35.8	18.5	31.2	15.7	26.5	12.9
18	30.3	15.8	27.2	13.8	23.3	11.4
19	23.6	12.4	22.2	11.2	19.4	9.4
20	17.4	9.1	17.5	8.7	15.9	7.5
21	12.5	6.3	13.9	6.7	13.2	5.9
22	8.6	3.9	10.9	4.9	11.1	4.7
23	5.4	1.8	8.4	3.3	9.3	3.5
24	2.6	-0.1	6.2	1.8	7.8	2.5
Hr Máx.	15	14	15	14	13	15
Máx.	40.1	20.2	34.0	16.7	29.1	13.9
Hr Mín.	6	6	6	6	5	6
Mín.	-6.2	-7.1	-2.3	-4.6	2.1	-1.9
ΔT_e	28.2	13.6	24.9	11.7	22.2	10.1

2. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma

2.1. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma sem tecto falso e sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	14,6	6,5	15,0	6,6	14,4	6,1
2	12,5	5,2	13,4	5,6	13,2	5,3
3	10,3	3,9	11,7	4,5	12,0	4,6
4	8,3	2,6	10,0	3,5	10,8	3,8
5	6,4	1,3	8,5	2,5	9,7	3,1
6	4,6	0,1	7,0	1,5	8,6	2,4
7	3,1	-0,9	5,7	0,6	7,7	1,8
8	2,3	-1,5	4,9	0,1	7,2	1,4
9	2,5	-1,5	4,9	-0,1	7,3	1,3
10	3,7	-1,0	5,7	0,2	7,9	1,6
11	5,9	0,1	7,2	1,0	9,2	2,3
12	8,8	1,7	9,4	2,2	10,9	3,2
13	12,2	3,6	12,0	3,7	12,9	4,3
14	15,8	5,6	14,8	5,2	14,9	5,5
15	19,3	7,7	17,5	6,8	16,9	6,6
16	22,2	9,5	19,9	8,2	18,6	7,7
17	24,4	10,9	21,7	9,4	19,9	8,5
18	25,6	11,7	22,7	10,1	20,6	9,0
19	25,7	12,0	22,9	10,4	20,6	9,1
20	24,8	11,7	22,3	10,3	20,1	9,0
21	23,1	11,0	21,2	9,8	19,2	8,6
22	21,2	10,1	19,8	9,2	18,0	8,0
23	19,0	9,0	18,3	8,4	16,9	7,4
24	16,8	7,8	16,7	7,5	15,7	6,8
Hr Máx.	19	19	19	19	19	19
Máx.	25,7	12,0	22,9	10,4	20,6	9,1
Hr Mín.	8	8	9	9	9	9
Mín.	2,3	-1,5	4,9	-0,1	7,2	1,3
ΔT_e	17,6	7,0	16,4	6,4	16,0	6,3

2.2. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma sem tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	15,9	6,9	15,8	6,8	15,0	6,2
2	14,3	6,1	14,6	6,1	14,2	5,7
3	12,7	5,1	13,4	5,4	13,3	5,2
4	11,2	4,1	12,2	4,6	12,4	4,6
5	9,6	3,2	10,9	3,8	11,5	4,1
6	8,1	2,2	9,7	3,0	10,6	3,5
7	6,8	1,3	8,5	2,3	9,8	3,0
8	5,8	0,6	7,7	1,7	9,2	2,6
9	5,4	0,3	7,3	1,4	8,9	2,4
10	5,8	0,4	7,4	1,4	9,1	2,4
11	6,8	0,9	8,1	1,7	9,7	2,7
12	8,5	1,7	9,4	2,3	10,7	3,2
13	10,7	2,9	11,0	3,2	11,9	3,8
14	13,1	4,3	12,9	4,2	13,3	4,6
15	15,6	5,7	14,8	5,4	14,8	5,5
16	17,9	7,1	16,6	6,4	16,1	6,3
17	19,9	8,3	18,2	7,4	17,2	6,9
18	21,2	9,1	19,3	8,1	18,0	7,4
19	21,8	9,7	19,9	8,5	18,4	7,7
20	21,8	9,8	19,9	8,7	18,3	7,8
21	21,1	9,6	19,5	8,6	17,9	7,7
22	20,0	9,1	18,8	8,3	17,3	7,4
23	18,8	8,5	17,9	7,9	16,6	7,1
24	17,4	7,8	16,9	7,4	15,9	6,7
HMX	20	20	20	20	20	20
MX	21,8	9,8	19,9	8,7	18,4	7,8
HMN	9	9	9	9	9	9
MN	5,4	0,3	7,3	1,4	8,9	2,4
ΔT_e	15,4	5,8	14,8	5,5	14,6	5,5

2.3. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma com tecto falso e sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	16,1	7,2	16,0	7,0	15,2	6,5
2	14,4	6,2	14,7	6,3	14,3	5,9
3	12,6	5,1	13,4	5,5	13,3	5,3
4	10,8	4,1	12,0	4,6	12,3	4,7
5	9,1	3,0	10,6	3,7	11,3	4,0
6	7,5	1,9	9,3	2,9	10,3	3,4
7	6,1	1,0	8,0	2,1	9,4	2,8
8	5,0	0,2	7,1	1,4	8,8	2,4
9	4,6	-0,2	6,6	1,1	8,5	2,1
10	4,9	-0,1	6,8	1,0	8,7	2,2
11	6,1	0,4	7,6	1,4	9,3	2,5
12	8,0	1,4	9,0	2,1	10,4	3,1
13	10,5	2,8	10,8	3,1	11,9	3,8
14	13,2	4,3	12,9	4,3	13,5	4,7
15	16,1	5,9	15,1	5,5	15,1	5,7
16	18,7	7,5	17,2	6,8	16,6	6,6
17	20,9	8,9	19,0	7,8	17,9	7,3
18	22,4	9,9	20,2	8,7	18,8	7,9
19	23,1	10,4	20,9	9,2	19,2	8,2
20	23,0	10,6	20,9	9,3	19,1	8,3
21	22,2	10,3	20,4	9,2	18,6	8,2
22	21,0	9,8	19,5	8,8	17,9	7,8
23	19,5	9,0	18,5	8,3	17,1	7,4
24	17,9	8,2	17,3	7,7	16,2	7,0
Hr Máx.	19	20	20	20	20	20
Máx.	23,1	10,6	20,9	9,3	19,2	8,3
Hr Mín.	9	9	9	9	9	9
Mín.	4,6	-0,2	6,6	1,0	8,5	2,1
ΔT_e	15,8	6,0	15,1	5,7	14,9	5,7

2.4. Cobertura inclinada ou terraço sem camada de forma com tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	16,1	6,9	15,8	6,6	15,1	6,2
2	15,1	6,3	15,1	6,2	14,6	5,9
3	14,1	5,7	14,3	5,8	14,0	5,5
4	13,0	5,1	13,4	5,3	13,4	5,2
5	11,9	4,4	12,6	4,7	12,8	4,8
6	10,8	3,7	11,7	4,2	12,1	4,4
7	9,8	3,1	10,9	3,7	11,5	4,0
8	9,0	2,5	10,2	3,2	11,0	3,7
9	8,4	2,1	9,6	2,8	10,7	3,4
10	8,3	1,9	9,5	2,7	10,6	3,3
11	8,6	2,0	9,6	2,7	10,7	3,4
12	9,4	2,4	10,2	3,0	11,2	3,6
13	10,5	3,0	11,0	3,4	11,9	3,9
14	12,0	3,8	12,1	4,0	12,7	4,4
15	13,6	4,7	13,4	4,7	13,6	4,9
16	15,2	5,7	14,6	5,4	14,6	5,4
17	16,7	6,5	15,8	6,1	15,4	5,9
18	17,8	7,3	16,7	6,7	16,1	6,4
19	18,6	7,8	17,4	7,1	16,5	6,7
20	19,0	8,1	17,7	7,4	16,7	6,8
21	18,9	8,2	17,7	7,5	16,7	6,9
22	18,5	8,0	17,5	7,4	16,5	6,8
23	17,8	7,8	17,0	7,2	16,1	6,7
24	17,0	7,4	16,5	7,0	15,6	6,4
Hr Máx.	20	21	21	21	21	21
Máx.	19,0	8,2	17,7	7,5	16,7	6,9
Hr Mín.	10	10	10	10	10	10
Mín.	8,3	1,9	9,5	2,7	10,6	3,3
ΔT_e	14,1	5,1	13,8	5,1	13,9	5,1

2.5. Cobertura de estrutura descontínua sem tecto falso e com ou sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	-1,9	-3,4	2,4	-0,9	5,3	0,6
2	-3,6	-4,8	0,8	-2,2	4,2	-0,3
3	-5,0	-6,0	-0,7	-3,3	3,2	-1,0
4	-6,2	-6,9	-1,9	-4,2	2,4	-1,7
5	-7,0	-7,6	-2,9	-4,9	1,7	-2,2
6	-6,4	-7,4	-2,7	-5,0	1,9	-2,1
7	-2,6	-5,4	0,0	-3,5	4,0	-1,0
8	4,1	-1,7	5,1	-0,8	8,0	1,2
9	12,4	3,0	11,6	2,8	12,9	3,9
10	21,0	7,9	18,3	6,6	17,9	6,8
11	28,9	12,6	24,5	10,3	22,5	9,5
12	35,4	16,6	29,7	13,5	26,3	11,8
13	39,9	19,5	33,5	15,9	29,0	13,5
14	42,1	21,2	35,5	17,4	30,2	14,5
15	41,7	21,4	35,5	17,7	30,0	14,6
16	38,6	20,1	33,4	16,9	28,2	13,8
17	33,2	17,4	29,5	15,0	25,0	12,3
18	25,9	13,7	24,0	12,2	20,7	10,1
19	18,2	9,6	18,2	9,2	16,3	7,8
20	12,1	6,3	13,6	6,7	12,9	5,9
21	8,1	3,8	10,6	4,9	10,8	4,6
22	5,0	1,7	8,2	3,3	9,1	3,5
23	2,4	-0,1	6,1	1,8	7,7	2,5
24	0,1	-1,8	4,2	0,4	6,5	1,5
Hr Máx.	14	15	14	15	14	15
Máx.	42,1	21,4	35,5	17,7	30,2	14,6
Hr Mín.	5	5	5	5	5	5
Mín.	-7,0	-7,6	-2,9	-5,0	1,7	-2,2
ΔT_e	28,8	14,2	25,5	12,2	22,5	10,4

2.6. Cobertura de estrutura descontínua com tecto falso e com ou sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	-0.7	-2.5	3.4	-0.2	5.9	1.1
2	-2.6	-4.0	1.7	-1.5	4.8	0.2
3	-4.2	-5.3	0.1	-2.7	3.7	-0.6
4	-5.5	-6.4	-1.2	-3.7	2.8	-1.3
5	-6.5	-7.2	-2.3	-4.5	2.1	-1.9
6	-6.8	-7.5	-2.9	-5.0	1.7	-2.2
7	-4.7	-6.5	-1.5	-4.3	2.8	-1.6
8	0.5	-3.7	2.4	-2.3	5.9	0.0
9	7.9	0.5	8.1	0.9	10.2	2.4
10	16.3	5.2	14.6	4.5	15.2	5.2
11	24.6	10.0	21.1	8.3	20.0	8.0
12	31.8	14.4	26.9	11.8	24.2	10.5
13	37.4	17.9	31.4	14.6	27.5	12.6
14	40.9	20.3	34.4	16.6	29.5	14.0
15	41.9	21.3	35.5	17.5	30.1	14.5
16	40.3	20.8	34.5	17.3	29.1	14.2
17	36.2	18.9	31.6	16.0	26.7	13.1
18	29.9	15.7	27.0	13.7	23.1	11.3
19	22.3	11.8	21.3	10.8	18.7	9.0
20	15.4	8.1	16.1	8.0	14.7	6.9
21	10.4	5.2	12.3	5.9	12.0	5.3
22	6.7	2.9	9.6	4.2	10.1	4.1
23	3.8	0.9	7.3	2.6	8.5	3.0
24	1.4	-0.9	5.3	1.2	7.2	2.0
Hr Máx.	12	15	15	15	14	15
Máx.	41.9	21.3	35.5	17.5	30.1	14.5
Hr Mín.	5	6	5	6	6	5
Mín.	-6.8	-7.5	-2.9	-5.0	1.7	-2.2
ΔT_e	29.0	14.1	25.6	12.1	22.6	10.4

3. Desvão não ventilado

3.1. Desvão não ventilado sem tecto falso e sem isolante

D Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	10,2	4,7	10,1	4,6	9,7	4,3
2	9,5	4,3	9,6	4,3	9,3	4,1
3	8,9	3,9	9,1	3,9	9,0	3,8
4	8,2	3,4	8,5	3,6	8,6	3,6
5	7,5	3,0	8,0	3,2	8,2	3,3
6	6,8	2,5	7,4	2,9	7,8	3,1
7	6,2	2,1	6,9	2,5	7,4	2,8
8	5,7	1,8	6,5	2,2	7,1	2,6
9	5,4	1,5	6,2	2,0	6,9	2,5
10	5,4	1,5	6,2	2,0	6,9	2,5
11	5,8	1,7	6,4	2,1	7,1	2,5
12	6,4	2,0	6,8	2,3	7,5	2,7
13	7,3	2,5	7,5	2,7	8,0	3,0
14	8,3	3,1	8,3	3,2	8,6	3,4
15	9,4	3,8	9,1	3,7	9,2	3,7
16	10,4	4,4	9,9	4,2	9,8	4,1
17	11,3	5,0	10,6	4,6	10,3	4,4
18	12,0	5,4	11,2	4,9	10,7	4,7
19	12,4	5,7	11,5	5,2	10,9	4,8
20	12,4	5,8	11,6	5,3	11,0	4,9
21	12,3	5,8	11,5	5,3	10,8	4,9
22	11,9	5,6	11,3	5,2	10,6	4,8
23	11,4	5,4	10,9	5,0	10,4	4,7
24	10,8	5,1	10,5	4,8	10,1	4,5
Hr Máx.	20	19	19	19	20	18
Máx.	12,4	5,8	11,6	5,3	11,0	4,9
Hr Mín.	10	10	8	10	10	11
Mín.	5,4	1,5	6,2	2,0	6,9	2,5
ΔT_e	9,4	3,9	9,2	3,8	9,2	3,8

3.2. Desvão não ventilado sem tecto falso e com isolante

DI Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	10,6	4,8	10,3	4,6	9,8	4,2
2	10,0	4,5	9,9	4,3	9,4	4,0
3	9,4	4,1	9,4	4,1	9,1	3,8
4	8,7	3,7	8,9	3,7	8,7	3,6
5	8,0	3,2	8,3	3,4	8,3	3,4
6	7,3	2,8	7,7	3,0	7,9	3,1
7	6,6	2,3	7,2	2,7	7,5	2,8
8	5,9	1,9	6,6	2,3	7,1	2,6
9	5,4	1,5	6,2	2,0	6,8	2,3
10	5,1	1,3	5,9	1,8	6,6	2,2
11	5,1	1,3	5,9	1,8	6,6	2,2
12	5,4	1,4	6,1	1,8	6,7	2,3
13	6,0	1,7	6,5	2,1	7,1	2,4
14	6,8	2,2	7,1	2,4	7,5	2,7
15	7,7	2,7	7,8	2,8	8,1	3,0
16	8,8	3,3	8,6	3,3	8,7	3,4
17	9,7	3,9	9,3	3,7	9,2	3,7
18	10,6	4,5	10,0	4,1	9,7	4,0
19	11,3	4,9	10,5	4,5	10,1	4,3
20	11,7	5,2	10,9	4,7	10,3	4,4
21	11,8	5,3	11,0	4,9	10,4	4,5
22	11,7	5,3	11,0	4,9	10,4	4,5
23	11,5	5,3	10,9	4,8	10,2	4,5
24	11,1	5,1	10,6	4,7	10,0	4,4
Hr Máx.	20	20	22	20	22	23
Máx.	11,8	5,3	11,0	4,9	10,4	4,5
Hr Mín.	9	9	11	9	9	11
Mín.	5,1	1,3	5,9	1,8	6,6	2,2
ΔT_e	8,3	3,1	8,3	3,2	8,4	3,3

3.3. Desvão não ventilado com tecto falso e sem isolante

DT Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	10,5	4,8	10,3	4,6	9,9	4,4
2	10,0	4,5	9,9	4,4	9,6	4,2
3	9,4	4,2	9,5	4,2	9,3	4,0
4	8,8	3,8	9,0	3,9	8,9	3,8
5	8,2	3,4	8,5	3,6	8,6	3,6
6	7,6	3,0	8,0	3,3	8,2	3,4
7	7,0	2,6	7,6	2,9	7,9	3,1
8	6,5	2,3	7,1	2,7	7,6	2,9
9	6,1	2,0	6,8	2,4	7,3	2,8
10	5,9	1,9	6,6	2,3	7,2	2,7
11	6,0	1,9	6,7	2,3	7,3	2,7
12	6,4	2,1	6,9	2,4	7,5	2,8
13	7,0	2,4	7,3	2,7	7,8	3,0
14	7,8	2,9	7,9	3,0	8,3	3,2
15	8,6	3,4	8,6	3,4	8,8	3,5
16	9,5	3,9	9,3	3,8	9,3	3,8
17	10,4	4,4	9,9	4,2	9,8	4,1
18	11,1	4,9	10,5	4,5	10,2	4,4
19	11,6	5,2	10,9	4,8	10,5	4,6
20	11,8	5,4	11,1	5,0	10,6	4,7
21	11,9	5,5	11,2	5,1	10,6	4,7
22	11,7	5,4	11,1	5,0	10,5	4,7
23	11,4	5,3	10,9	5,0	10,4	4,6
24	11,0	5,1	10,6	4,8	10,1	4,5
Hr Máx.	21	21	21	21	19	22
Máx.	11,9	5,5	11,2	5,1	10,6	4,7
Hr Mín.	10	9	9	9	9	11
Mín.	5,9	1,9	6,6	2,3	7,2	2,7
ΔT_e	9,0	3,7	8,9	3,6	9,0	3,7

3.4. Desvão não ventilado com tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	10,3	4,6	10,0	4,3	9,6	4,1
2	10,0	4,4	9,8	4,2	9,4	4,0
3	9,6	4,2	9,5	4,1	9,2	3,9
4	9,2	3,9	9,1	3,9	8,9	3,7
5	8,7	3,6	8,8	3,6	8,7	3,6
6	8,2	3,3	8,4	3,4	8,4	3,4
7	7,7	3,0	8,0	3,1	8,1	3,2
8	7,1	2,6	7,6	2,9	7,8	3,0
9	6,7	2,3	7,2	2,6	7,5	2,8
10	6,3	2,1	6,9	2,4	7,3	2,7
11	6,2	2,0	6,7	2,3	7,2	2,6
12	6,2	2,0	6,7	2,3	7,2	2,6
13	6,5	2,1	6,9	2,4	7,4	2,7
14	6,9	2,3	7,2	2,5	7,6	2,8
15	7,5	2,6	7,6	2,8	7,9	3,0
16	8,1	3,0	8,1	3,1	8,3	3,2
17	8,8	3,4	8,7	3,4	8,7	3,4
18	9,5	3,8	9,2	3,7	9,1	3,7
19	10,1	4,2	9,6	4,0	9,4	3,9
20	10,5	4,5	10,0	4,2	9,7	4,0
21	10,7	4,7	10,2	4,4	9,8	4,1
22	10,8	4,8	10,3	4,4	9,9	4,2
23	10,8	4,8	10,3	4,5	9,8	4,2
24	10,6	4,7	10,2	4,4	9,7	4,2
Hr Máx.	21	21	21	23	22	24
Máx.	10,8	4,8	10,3	4,5	9,9	4,2
Hr Mín.	10	12	10	10	10	10
Mín.	6,2	2,0	6,7	2,3	7,2	2,6
ΔT_e	8,1	3,1	8,2	3,1	8,3	3,2

3.5. Desvão não ventilado com esteira leve com isolante e com ou sem tecto falso

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,4	0,6	4,9	1,5	5,8	1,9
2	2,2	-0,3	4,0	0,8	5,1	1,4
3	1,2	-1,0	3,0	0,1	4,5	1,0
4	0,3	-1,7	2,2	-0,5	3,9	0,5
5	-0,4	-2,2	1,5	-1,0	3,4	0,2
6	-0,8	-2,5	1,1	-1,3	3,1	0,0
7	-0,2	-2,2	1,4	-1,1	3,4	0,1
8	1,7	-1,1	2,8	-0,3	4,5	0,7
9	4,5	0,5	5,0	0,9	6,2	1,7
10	7,9	2,5	7,6	2,5	8,2	2,9
11	11,4	4,6	10,3	4,1	10,2	4,1
12	14,5	6,5	12,8	5,6	12,0	5,2
13	17,1	8,2	14,9	6,9	13,5	6,2
14	19,0	9,4	16,4	7,9	14,6	6,9
15	19,8	10,0	17,2	8,4	15,1	7,2
16	19,6	10,0	17,1	8,5	14,9	7,2
17	18,3	9,4	16,3	8,1	14,2	6,9
18	16,2	8,4	14,7	7,4	13,0	6,3
19	13,6	7,0	12,8	6,3	11,4	5,5
20	11,1	5,6	10,9	5,3	10,0	4,7
21	9,1	4,4	9,4	4,5	8,9	4,0
22	7,5	3,4	8,2	3,7	8,0	3,5
23	6,0	2,4	7,1	3,0	7,3	3,0
24	4,6	1,5	6,0	2,2	6,5	2,4
Hr Máx.	15	16	14	16	13	16
Máx.	19,8	10,0	17,2	8,5	15,1	7,2
Hr Mín.	4	6	6	6	5	6
Mín.	-0,8	-2,5	1,1	-1,3	3,1	0,0
ΔT_e	14,8	7,2	13,4	6,3	12,2	5,6

3.6. Desvão não ventilado com esteira leve sem isolante e com ou sem tecto falso

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	8,9	3,4	10,1	4,1	10,6	4,3
2	7,7	2,5	9,2	3,4	10,0	3,8
3	6,6	1,7	8,2	2,7	9,3	3,3
4	5,6	1,0	7,4	2,1	8,7	2,9
5	4,7	0,4	6,6	1,5	8,2	2,5
6	4,1	-0,1	5,9	1,1	7,7	2,2
7	4,0	-0,2	5,7	0,9	7,6	2,1
8	4,9	0,3	6,3	1,2	8,1	2,3
9	6,9	1,4	7,8	2,0	9,2	3,0
10	9,6	3,0	9,9	3,2	10,8	3,9
11	12,7	4,8	12,3	4,7	12,7	5,0
12	15,8	6,7	14,7	6,1	14,5	6,1
13	18,6	8,5	16,9	7,5	16,1	7,1
14	20,9	9,9	18,8	8,7	17,4	8,0
15	22,4	10,9	20,0	9,5	18,3	8,5
16	22,9	11,3	20,5	9,9	18,6	8,8
17	22,5	11,2	20,3	9,9	18,3	8,7
18	21,2	10,6	19,4	9,5	17,5	8,3
19	19,1	9,6	17,9	8,7	16,4	7,7
20	16,8	8,3	16,2	7,8	15,0	7,0
21	14,7	7,1	14,6	6,9	13,9	6,4
22	13,0	6,1	13,4	6,2	12,9	5,8
23	11,5	5,2	12,2	5,5	12,1	5,3
24	10,1	4,3	11,2	4,8	11,4	4,8
Hr Máx.	16	15	16	17	15	15
Máx.	22,9	11,3	20,5	9,9	18,6	8,8
Hr Mín.	7	5	6	6	3	6
Mín.	4,0	-0,2	5,7	0,9	7,6	2,1
ΔT_e	18,1	8,5	16,8	7,7	15,8	7,1

4. Desvão ventilado com 9 rph

4.1. Desvão ventilado com 9 rph sem tecto falso e sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,5	2,4	3,3	2,2	3,0	1,9
2	2,9	1,9	2,9	1,8	2,6	1,6
3	2,3	1,4	2,4	1,4	2,3	1,3
4	1,7	0,8	1,9	1,0	1,9	0,9
5	1,0	0,2	1,4	0,5	1,5	0,6
6	0,4	-0,4	0,9	0,1	1,2	0,3
7	-0,1	-0,8	0,5	-0,3	0,9	0,0
8	-0,6	-1,2	0,1	-0,7	0,6	-0,2
9	-0,8	-1,4	-0,1	-0,9	0,5	-0,4
10	-0,8	-1,5	-0,1	-0,9	0,5	-0,4
11	-0,5	-1,3	0,0	-0,8	0,6	-0,3
12	0,0	-0,9	0,4	-0,5	0,9	-0,1
13	0,6	-0,3	0,9	-0,1	1,3	0,3
14	1,4	0,3	1,4	0,4	1,7	0,6
15	2,2	1,0	2,1	0,9	2,2	1,0
16	3,0	1,7	2,7	1,4	2,6	1,4
17	3,7	2,3	3,3	1,9	3,1	1,8
18	4,3	2,8	3,7	2,3	3,4	2,0
19	4,7	3,2	4,0	2,6	3,6	2,3
20	4,9	3,4	4,2	2,8	3,7	2,4
21	4,9	3,4	4,3	2,9	3,7	2,4
22	4,7	3,4	4,2	2,9	3,6	2,4
23	4,4	3,2	4,0	2,7	3,5	2,3
24	4,0	2,8	3,7	2,5	3,3	2,1
Hr Máx.	19	18	20	20	19	19
Máx.	4,9	3,4	4,3	2,9	3,7	2,4
Hr Mín.	6	10	8	10	10	7
Mín.	-0,8	-1,5	-0,1	-0,9	0,5	-0,4
ΔT_e	2,4	1,2	2,2	1,1	2,3	1,1

4.2. Desvão ventilado com 9 rph sem tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,5	2,3	3,2	2,0	2,9	1,7
2	3,1	2,0	3,0	1,8	2,7	1,5
3	2,7	1,6	2,7	1,6	2,4	1,3
4	2,3	1,2	2,3	1,3	2,2	1,1
5	1,8	0,8	1,9	0,9	1,9	0,9
6	1,3	0,4	1,5	0,6	1,6	0,6
7	0,8	0,0	1,1	0,3	1,3	0,4
8	0,4	-0,4	0,8	-0,1	1,1	0,2
9	0,0	-0,7	0,5	-0,3	0,9	0,0
10	-0,2	-0,9	0,3	-0,5	0,8	-0,1
11	-0,2	-0,9	0,3	-0,5	0,7	-0,1
12	0,0	-0,8	0,4	-0,4	0,8	-0,1
13	0,3	-0,6	0,6	-0,3	1,0	0,1
14	0,8	-0,2	1,0	0,0	1,3	0,3
15	1,3	0,2	1,4	0,3	1,6	0,5
16	1,9	0,7	1,8	0,7	1,9	0,8
17	2,5	1,2	2,3	1,1	2,3	1,1
18	3,0	1,6	2,7	1,4	2,6	1,3
19	3,5	2,0	3,0	1,7	2,8	1,5
20	3,8	2,3	3,3	1,9	3,0	1,7
21	3,9	2,5	3,5	2,1	3,1	1,8
22	4,0	2,6	3,5	2,2	3,1	1,9
23	3,9	2,6	3,5	2,2	3,1	1,9
24	3,7	2,5	3,4	2,1	3,0	1,8
Hr Máx.	22	23	23	21	23	23
Máx.	4,0	2,6	3,5	2,2	3,1	1,9
Hr Mín.	9	11	11	11	10	9
Mín.	-0,2	-0,9	0,3	-0,5	0,7	-0,1
ΔT_e	1,7	0,6	1,7	0,6	1,8	0,7

4.3. Desvão ventilado com 9 rph com tecto falso e sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,7	2,5	3,4	2,3	3,1	1,9
2	3,3	2,2	3,1	2,0	2,8	1,7
3	2,8	1,7	2,7	1,7	2,5	1,5
4	2,2	1,2	2,3	1,3	2,2	1,2
5	1,6	0,7	1,9	0,9	1,9	0,9
6	1,1	0,2	1,4	0,5	1,6	0,6
7	0,6	-0,2	1,0	0,2	1,3	0,4
8	0,1	-0,6	0,7	-0,2	1,0	0,1
9	-0,2	-0,9	0,4	-0,4	0,8	-0,1
10	-0,3	-1,1	0,2	-0,6	0,7	-0,1
11	-0,3	-1,0	0,3	-0,6	0,8	-0,1
12	0,0	-0,8	0,4	-0,4	0,9	0,0
13	0,5	-0,5	0,8	-0,2	1,2	0,2
14	1,0	0,0	1,2	0,2	1,5	0,5
15	1,7	0,6	1,7	0,6	1,9	0,8
16	2,4	1,1	2,2	1,0	2,3	1,1
17	3,0	1,7	2,7	1,5	2,7	1,4
18	3,6	2,2	3,2	1,9	3,0	1,7
19	4,1	2,6	3,5	2,2	3,2	1,9
20	4,3	2,9	3,8	2,4	3,4	2,1
21	4,5	3,0	3,9	2,6	3,5	2,2
22	4,5	3,1	3,9	2,6	3,5	2,2
23	4,3	3,0	3,9	2,6	3,4	2,2
24	4,1	2,8	3,7	2,5	3,3	2,1
Hr Máx.	22	22	20	23	22	20
Máx.	4,5	3,1	3,9	2,6	3,5	2,2
Hr Mín.	8	9	10	7	9	8
Mín.	-0,3	-1,1	0,2	-0,6	0,7	-0,1
ΔT_e	2,0	0,9	2,0	0,9	2,1	1,0

4.4. Desvão ventilado com 9 rph com tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,2	2,0	3,0	1,8	2,7	1,5
2	3,0	1,9	2,8	1,7	2,6	1,5
3	2,8	1,7	2,7	1,5	2,5	1,4
4	2,5	1,4	2,5	1,4	2,3	1,2
5	2,2	1,1	2,2	1,2	2,1	1,1
6	1,8	0,8	1,9	0,9	1,9	0,9
7	1,5	0,5	1,7	0,7	1,7	0,7
8	1,1	0,2	1,4	0,5	1,5	0,6
9	0,8	0,0	1,2	0,2	1,4	0,4
10	0,6	-0,2	1,0	0,1	1,2	0,3
11	0,5	-0,3	0,9	0,0	1,2	0,2
12	0,5	-0,3	0,9	0,0	1,2	0,2
13	0,7	-0,2	0,9	0,0	1,2	0,3
14	0,9	-0,1	1,1	0,1	1,4	0,4
15	1,2	0,2	1,3	0,3	1,6	0,5
16	1,6	0,5	1,6	0,6	1,8	0,7
17	2,0	0,8	2,0	0,8	2,0	0,9
18	2,4	1,2	2,3	1,1	2,2	1,1
19	2,8	1,5	2,5	1,3	2,4	1,2
20	3,0	1,7	2,8	1,5	2,6	1,4
21	3,3	1,9	2,9	1,7	2,7	1,5
22	3,4	2,0	3,0	1,8	2,8	1,6
23	3,4	2,1	3,1	1,8	2,8	1,6
24	3,3	2,1	3,0	1,8	2,8	1,6
Hr Máx.	21	24	23	24	24	21
Máx.	3,4	2,1	3,1	1,8	2,8	1,6
Hr Mín.	12	9	10	13	13	12
Mín.	0,5	-0,3	0,9	0,0	1,2	0,2
ΔT_e	1,6	0,6	1,7	0,6	1,8	0,7

4.5. Desvão ventilado com 9 rph com esteira leve com isolante e com ou sem tecto falso

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	-1,2	-1,6	-0,2	-0,8	0,3	-0,4
2	-2,2	-2,5	-1,0	-1,5	-0,3	-1,0
3	-3,0	-3,2	-1,7	-2,2	-0,8	-1,4
4	-3,6	-3,8	-2,3	-2,7	-1,2	-1,8
5	-4,0	-4,2	-2,7	-3,0	-1,4	-2,0
6	-4,1	-4,3	-2,8	-3,2	-1,5	-2,1
7	-3,5	-3,9	-2,5	-2,9	-1,2	-1,9
8	-2,3	-2,9	-1,6	-2,2	-0,5	-1,3
9	-0,6	-1,5	-0,3	-1,2	0,5	-0,5
10	1,4	0,1	1,2	0,0	1,6	0,4
11	3,4	1,8	2,8	1,3	2,8	1,4
12	5,2	3,3	4,2	2,5	3,9	2,3
13	6,7	4,6	5,4	3,5	4,7	3,0
14	7,9	5,6	6,4	4,4	5,4	3,6
15	8,5	6,1	6,9	4,8	5,7	3,9
16	8,4	6,2	6,9	4,9	5,7	3,9
17	7,9	5,9	6,6	4,8	5,4	3,8
18	7,1	5,4	6,0	4,4	4,9	3,5
19	5,9	4,6	5,2	3,9	4,3	3,0
20	4,6	3,6	4,3	3,2	3,5	2,5
21	3,4	2,6	3,4	2,4	2,9	1,9
22	2,2	1,5	2,5	1,7	2,2	1,3
23	1,1	0,5	1,6	0,9	1,6	0,8
24	-0,1	-0,6	0,7	0,0	0,9	0,1
Hr Máx.	15	16	12	13	16	14
Máx.	8,5	6,2	6,9	4,9	5,7	3,9
Hr Mín.	6	5	6	5	6	6
Mín.	-4,1	-4,3	-2,8	-3,2	-1,5	-2,1
ΔT_e	5,9	4,2	4,9	3,3	4,2	2,8

4.6. Desvão ventilado com 9 rph com esteira leve sem isolante e com ou sem tecto falso

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	0,2	-0,6	1,2	0,2	1,6	0,4
2	-1,1	-1,8	0,2	-0,8	0,8	-0,3
3	-2,3	-3,0	-0,8	-1,7	0,1	-1,0
4	-3,2	-3,8	-1,6	-2,5	-0,5	-1,5
5	-4,0	-4,5	-2,3	-3,1	-0,9	-1,9
6	-4,3	-4,9	-2,7	-3,5	-1,2	-2,1
7	-4,2	-4,8	-2,7	-3,5	-1,1	-2,1
8	-3,3	-4,1	-2,1	-3,0	-0,6	-1,7
9	-1,7	-2,8	-0,9	-2,0	0,3	-1,0
10	0,4	-1,0	0,7	-0,7	1,5	0,1
11	2,8	1,0	2,5	0,8	2,9	1,2
12	5,2	3,0	4,3	2,3	4,3	2,4
13	7,3	4,7	6,0	3,7	5,5	3,4
14	9,0	6,3	7,4	5,0	6,5	4,3
15	10,2	7,4	8,4	5,9	7,2	4,9
16	10,7	7,9	8,9	6,3	7,4	5,2
17	10,6	7,9	8,9	6,4	7,4	5,2
18	10,0	7,6	8,5	6,3	7,1	5,0
19	8,9	6,9	7,8	5,8	6,4	4,6
20	7,6	5,9	6,8	5,1	5,7	4,0
21	6,1	4,7	5,7	4,2	4,8	3,4
22	4,7	3,4	4,7	3,3	4,0	2,7
23	3,2	2,1	3,5	2,3	3,2	1,9
24	1,7	0,8	2,4	1,3	2,4	1,2
Hr Máx.	16	13	17	14	15	17
Máx.	10,7	7,9	8,9	6,4	7,4	5,2
Hr Mín.	5	5	5	7	5	7
Mín.	-4,3	-4,9	-2,7	-3,5	-1,2	-2,1
ΔT_e	7,4	5,2	6,3	4,3	5,6	3,6

5. Desvão ventilado com 28 rph

5.1. Desvão ventilado com 28 rph sem tecto falso e sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,5	2,4	3,3	2,2	3,0	1,9
2	2,9	1,9	2,9	1,8	2,6	1,6
3	2,3	1,4	2,4	1,4	2,3	1,3
4	1,7	0,8	1,9	1,0	1,9	0,9
5	1,0	0,2	1,4	0,5	1,5	0,6
6	0,4	-0,4	0,9	0,1	1,2	0,3
7	-0,1	-0,8	0,5	-0,3	0,9	0,0
8	-0,6	-1,2	0,1	-0,7	0,6	-0,2
9	-0,8	-1,4	-0,1	-0,9	0,5	-0,4
10	-0,8	-1,5	-0,1	-0,9	0,5	-0,4
11	-0,5	-1,3	0,0	-0,8	0,6	-0,3
12	0,0	-0,9	0,4	-0,5	0,9	-0,1
13	0,6	-0,3	0,9	-0,1	1,3	0,3
14	1,4	0,3	1,4	0,4	1,7	0,6
15	2,2	1,0	2,1	0,9	2,2	1,0
16	3,0	1,7	2,7	1,4	2,6	1,4
17	3,7	2,3	3,3	1,9	3,1	1,8
18	4,3	2,8	3,7	2,3	3,4	2,0
19	4,7	3,2	4,0	2,6	3,6	2,3
20	4,9	3,4	4,2	2,8	3,7	2,4
21	4,9	3,4	4,3	2,9	3,7	2,4
22	4,7	3,4	4,2	2,9	3,6	2,4
23	4,4	3,2	4,0	2,7	3,5	2,3
24	4,0	2,8	3,7	2,5	3,3	2,1
Hr Máx.	19	18	20	20	19	19
Máx.	4,9	3,4	4,3	2,9	3,7	2,4
Hr Mín.	6	10	8	10	10	7
Mín.	-0,8	-1,5	-0,1	-0,9	0,5	-0,4
ΔT_e	2,4	1,2	2,2	1,1	2,3	1,1

5.2. Desvão ventilado com 28 rph sem tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,5	2,3	3,2	2,0	2,9	1,7
2	3,1	2,0	3,0	1,8	2,7	1,5
3	2,7	1,6	2,7	1,6	2,4	1,3
4	2,3	1,2	2,3	1,3	2,2	1,1
5	1,8	0,8	1,9	0,9	1,9	0,9
6	1,3	0,4	1,5	0,6	1,6	0,6
7	0,8	0,0	1,1	0,3	1,3	0,4
8	0,4	-0,4	0,8	-0,1	1,1	0,2
9	0,0	-0,7	0,5	-0,3	0,9	0,0
10	-0,2	-0,9	0,3	-0,5	0,8	-0,1
11	-0,2	-0,9	0,3	-0,5	0,7	-0,1
12	0,0	-0,8	0,4	-0,4	0,8	-0,1
13	0,3	-0,6	0,6	-0,3	1,0	0,1
14	0,8	-0,2	1,0	0,0	1,3	0,3
15	1,3	0,2	1,4	0,3	1,6	0,5
16	1,9	0,7	1,8	0,7	1,9	0,8
17	2,5	1,2	2,3	1,1	2,3	1,1
18	3,0	1,6	2,7	1,4	2,6	1,3
19	3,5	2,0	3,0	1,7	2,8	1,5
20	3,8	2,3	3,3	1,9	3,0	1,7
21	3,9	2,5	3,5	2,1	3,1	1,8
22	4,0	2,6	3,5	2,2	3,1	1,9
23	3,9	2,6	3,5	2,2	3,1	1,9
24	3,7	2,5	3,4	2,1	3,0	1,8
Hr Máx.	22	23	23	21	23	23
Máx.	4,0	2,6	3,5	2,2	3,1	1,9
Hr Mín.	9	11	11	11	10	9
Mín.	-0,2	-0,9	0,3	-0,5	0,7	-0,1
ΔT_e	1,7	0,6	1,7	0,6	1,8	0,7

5.3. Desvão ventilado com 28 rph com tecto falso e sem isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,7	2,5	3,4	2,3	3,1	1,9
2	3,3	2,2	3,1	2,0	2,8	1,7
3	2,8	1,7	2,7	1,7	2,5	1,5
4	2,2	1,2	2,3	1,3	2,2	1,2
5	1,6	0,7	1,9	0,9	1,9	0,9
6	1,1	0,2	1,4	0,5	1,6	0,6
7	0,6	-0,2	1,0	0,2	1,3	0,4
8	0,1	-0,6	0,7	-0,2	1,0	0,1
9	-0,2	-0,9	0,4	-0,4	0,8	-0,1
10	-0,3	-1,1	0,2	-0,6	0,7	-0,1
11	-0,3	-1,0	0,3	-0,6	0,8	-0,1
12	0,0	-0,8	0,4	-0,4	0,9	0,0
13	0,5	-0,5	0,8	-0,2	1,2	0,2
14	1,0	0,0	1,2	0,2	1,5	0,5
15	1,7	0,6	1,7	0,6	1,9	0,8
16	2,4	1,1	2,2	1,0	2,3	1,1
17	3,0	1,7	2,7	1,5	2,7	1,4
18	3,6	2,2	3,2	1,9	3,0	1,7
19	4,1	2,6	3,5	2,2	3,2	1,9
20	4,3	2,9	3,8	2,4	3,4	2,1
21	4,5	3,0	3,9	2,6	3,5	2,2
22	4,5	3,1	3,9	2,6	3,5	2,2
23	4,3	3,0	3,9	2,6	3,4	2,2
24	4,1	2,8	3,7	2,5	3,3	2,1
Hr Máx.	22	22	20	23	22	20
Máx.	4,5	3,1	3,9	2,6	3,5	2,2
Hr Mín.	8	9	10	7	9	8
Mín.	-0,3	-1,1	0,2	-0,6	0,7	-0,1
ΔT_e	2,0	0,9	2,0	0,9	2,1	1,0

5.4. Desvão ventilado com 28 rph com tecto falso e com isolante

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	3,2	2,0	3,0	1,8	2,7	1,5
2	3,0	1,9	2,8	1,7	2,6	1,5
3	2,8	1,7	2,7	1,5	2,5	1,4
4	2,5	1,4	2,5	1,4	2,3	1,2
5	2,2	1,1	2,2	1,2	2,1	1,1
6	1,8	0,8	1,9	0,9	1,9	0,9
7	1,5	0,5	1,7	0,7	1,7	0,7
8	1,1	0,2	1,4	0,5	1,5	0,6
9	0,8	0,0	1,2	0,2	1,4	0,4
10	0,6	-0,2	1,0	0,1	1,2	0,3
11	0,5	-0,3	0,9	0,0	1,2	0,2
12	0,5	-0,3	0,9	0,0	1,2	0,2
13	0,7	-0,2	0,9	0,0	1,2	0,3
14	0,9	-0,1	1,1	0,1	1,4	0,4
15	1,2	0,2	1,3	0,3	1,6	0,5
16	1,6	0,5	1,6	0,6	1,8	0,7
17	2,0	0,8	2,0	0,8	2,0	0,9
18	2,4	1,2	2,3	1,1	2,2	1,1
19	2,8	1,5	2,5	1,3	2,4	1,2
20	3,0	1,7	2,8	1,5	2,6	1,4
21	3,3	1,9	2,9	1,7	2,7	1,5
22	3,4	2,0	3,0	1,8	2,8	1,6
23	3,4	2,1	3,1	1,8	2,8	1,6
24	3,3	2,1	3,0	1,8	2,8	1,6
Hr Máx.	21	24	23	24	24	21
Máx.	3,4	2,1	3,1	1,8	2,8	1,6
Hr Mín.	12	9	10	13	13	12
Mín.	0,5	-0,3	0,9	0,0	1,2	0,2
ΔT_e	1,6	0,6	1,7	0,6	1,8	0,7

5.5. Desvão ventilado com 28 rph com esteira leve com isolante e com ou sem tecto falso

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	-1,2	-1,6	-0,2	-0,8	0,3	-0,4
2	-2,2	-2,5	-1,0	-1,5	-0,3	-1,0
3	-3,0	-3,2	-1,7	-2,2	-0,8	-1,4
4	-3,6	-3,8	-2,3	-2,7	-1,2	-1,8
5	-4,0	-4,2	-2,7	-3,0	-1,4	-2,0
6	-4,1	-4,3	-2,8	-3,2	-1,5	-2,1
7	-3,5	-3,9	-2,5	-2,9	-1,2	-1,9
8	-2,3	-2,9	-1,6	-2,2	-0,5	-1,3
9	-0,6	-1,5	-0,3	-1,2	0,5	-0,5
10	1,4	0,1	1,2	0,0	1,6	0,4
11	3,4	1,8	2,8	1,3	2,8	1,4
12	5,2	3,3	4,2	2,5	3,9	2,3
13	6,7	4,6	5,4	3,5	4,7	3,0
14	7,9	5,6	6,4	4,4	5,4	3,6
15	8,5	6,1	6,9	4,8	5,7	3,9
16	8,4	6,2	6,9	4,9	5,7	3,9
17	7,9	5,9	6,6	4,8	5,4	3,8
18	7,1	5,4	6,0	4,4	4,9	3,5
19	5,9	4,6	5,2	3,9	4,3	3,0
20	4,6	3,6	4,3	3,2	3,5	2,5
21	3,4	2,6	3,4	2,4	2,9	1,9
22	2,2	1,5	2,5	1,7	2,2	1,3
23	1,1	0,5	1,6	0,9	1,6	0,8
24	-0,1	-0,6	0,7	0,0	0,9	0,1
Hr Máx.	15	16	12	13	16	14
Máx.	8,5	6,2	6,9	4,9	5,7	3,9
Hr Mín.	6	5	6	5	6	6
Mín.	-4,1	-4,3	-2,8	-3,2	-1,5	-2,1
ΔT_e	5,9	4,2	4,9	3,3	4,2	2,8

5.6. Desvão ventilado com 28 rph com esteira leve sem isolante e com ou sem tecto falso

Hora	Inércia Leve		Inércia Média		Inércia Pesada	
	Escura	Clara	Escura	Clara	Escura	Clara
1	0,2	-0,6	1,2	0,2	1,6	0,4
2	-1,1	-1,8	0,2	-0,8	0,8	-0,3
3	-2,3	-3,0	-0,8	-1,7	0,1	-1,0
4	-3,2	-3,8	-1,6	-2,5	-0,5	-1,5
5	-4,0	-4,5	-2,3	-3,1	-0,9	-1,9
6	-4,3	-4,9	-2,7	-3,5	-1,2	-2,1
7	-4,2	-4,8	-2,7	-3,5	-1,1	-2,1
8	-3,3	-4,1	-2,1	-3,0	-0,6	-1,7
9	-1,7	-2,8	-0,9	-2,0	0,3	-1,0
10	0,4	-1,0	0,7	-0,7	1,5	0,1
11	2,8	1,0	2,5	0,8	2,9	1,2
12	5,2	3,0	4,3	2,3	4,3	2,4
13	7,3	4,7	6,0	3,7	5,5	3,4
14	9,0	6,3	7,4	5,0	6,5	4,3
15	10,2	7,4	8,4	5,9	7,2	4,9
16	10,7	7,9	8,9	6,3	7,4	5,2
17	10,6	7,9	8,9	6,4	7,4	5,2
18	10,0	7,6	8,5	6,3	7,1	5,0
19	8,9	6,9	7,8	5,8	6,4	4,6
20	7,6	5,9	6,8	5,1	5,7	4,0
21	6,1	4,7	5,7	4,2	4,8	3,4
22	4,7	3,4	4,7	3,3	4,0	2,7
23	3,2	2,1	3,5	2,3	3,2	1,9
24	1,7	0,8	2,4	1,3	2,4	1,2
Hr Máx.	16	13	17	14	15	17
Máx.	10,7	7,9	8,9	6,4	7,4	5,2
Hr Mín.	5	5	5	7	5	7
Mín.	-4,3	-4,9	-2,7	-3,5	-1,2	-2,1
ΔT_e	7,4	5,2	6,3	4,3	5,6	3,6

Anexo J - Valores Instantâneos de CLTD para Envidraçados

Hora	Inércia Forte	Inércia Média	Inércia Fraca
1	-1.3	-1.9	-2.8
2	-2.0	-2.6	-3.8
3	-2.5	-3.3	-4.5
4	-2.8	-3.7	-5.0
5	-3.0	-3.9	-5.1
6	-2.9	-3.7	-4.8
7	-2.5	-3.1	-4.0
8	-1.8	-2.3	-2.8
9	-0.9	-1.1	-1.3
10	0.1	0.1	0.4
11	1.1	1.4	2.0
12	2.1	2.6	3.5
13	2.9	3.5	4.7
14	3.4	4.2	5.5
15	3.7	4.5	5.8
16	3.8	4.6	5.9
17	3.7	4.4	5.6
18	3.4	4.0	5.0
19	3.0	3.5	4.2
20	2.4	2.7	3.1
21	1.7	1.9	2.0
22	1.0	0.9	0.7
23	0.2	0.0	-0.5
24	-0.6	-1.0	-1.7
Hr Máx	16	16	16
Máx	3.8	4.6	5.9
Hr Mín	5	5	5
Mín	-3.0	-3.9	-5.1
DTe	2.6	3.1	4.0

Anexo L - Valores Instantâneos de CLF para Envidraçados

Orientação Inércia		Hora Solar																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Norte	Leve gr. 1	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.62	0.60	0.62	0.71	0.79	0.86	0.90	0.91	0.89	0.86	0.79	0.81	0.91	0.34	0.25	0.18	0.14	0.10	0.08
	Leve gr. 2	0.15	0.13	0.11	0.09	0.09	0.58	0.54	0.56	0.64	0.70	0.76	0.81	0.82	0.81	0.79	0.75	0.77	0.86	0.39	0.32	0.27	0.24	0.20	0.17
	Média gr. 3	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.48	0.48	0.50	0.57	0.62	0.68	0.73	0.75	0.75	0.75	0.72	0.74	0.81	0.48	0.41	0.36	0.32	0.28	0.25
	Média gr. 4	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.42	0.44	0.47	0.52	0.57	0.61	0.65	0.68	0.69	0.69	0.68	0.70	0.75	0.54	0.47	0.42	0.38	0.35	0.31
	Forte gr. 5	0.35	0.32	0.30	0.29	0.27	0.39	0.42	0.45	0.49	0.52	0.56	0.59	0.62	0.63	0.64	0.64	0.64	0.67	0.57	0.51	0.47	0.43	0.40	0.37
	Forte gr. 6	0.37	0.35	0.33	0.31	0.30	0.39	0.42	0.44	0.47	0.50	0.54	0.57	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62	0.65	0.57	0.52	0.48	0.45	0.42	0.40
Nordeste	Leve gr. 1	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.48	0.70	0.72	0.61	0.43	0.34	0.31	0.29	0.26	0.24	0.21	0.17	0.12	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
	Leve gr. 2	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.42	0.59	0.61	0.51	0.37	0.32	0.30	0.29	0.27	0.25	0.23	0.20	0.16	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
	Média gr. 3	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.32	0.47	0.50	0.45	0.36	0.32	0.30	0.29	0.28	0.26	0.24	0.22	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08
	Média gr. 4	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.25	0.37	0.41	0.40	0.34	0.31	0.29	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11
	Forte gr. 5	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.20	0.29	0.33	0.34	0.32	0.30	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14
	Forte gr. 6	0.14	0.14	0.13	0.12	0.12	0.19	0.27	0.31	0.32	0.30	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15
Este	Leve gr. 1	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.40	0.65	0.76	0.76	0.66	0.47	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15	0.11	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
	Leve gr. 2	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.35	0.56	0.64	0.64	0.56	0.42	0.32	0.29	0.27	0.24	0.22	0.19	0.15	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05
	Média gr. 3	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.27	0.44	0.52	0.54	0.50	0.41	0.33	0.31	0.29	0.27	0.24	0.22	0.19	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08
	Média gr. 4	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.22	0.35	0.42	0.45	0.44	0.38	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.18	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11
	Forte gr. 5	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.19	0.27	0.34	0.38	0.38	0.36	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15
	Forte gr. 6	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.18	0.26	0.31	0.35	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16
Sudeste	Leve gr. 1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.25	0.50	0.69	0.79	0.80	0.72	0.55	0.40	0.34	0.29	0.24	0.20	0.14	0.08	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02
	Leve gr. 2	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.24	0.44	0.59	0.67	0.68	0.62	0.49	0.37	0.34	0.30	0.27	0.23	0.19	0.14	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
	Média gr. 3	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.20	0.35	0.47	0.55	0.58	0.55	0.47	0.39	0.36	0.33	0.30	0.27	0.23	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10
	Média gr. 4	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.18	0.29	0.39	0.46	0.49	0.49	0.44	0.38	0.35	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14
	Forte gr. 5	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.17	0.24	0.32	0.38	0.41	0.42	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.24	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17
	Forte gr. 6	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.18	0.24	0.30	0.35	0.38	0.39	0.38	0.35	0.34	0.32	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19
Sul	Leve gr. 1	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.07	0.13	0.20	0.35	0.54	0.71	0.81	0.82	0.72	0.57	0.42	0.33	0.24	0.14	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03
	Leve gr. 2	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.09	0.14	0.19	0.31	0.47	0.61	0.69	0.70	0.63	0.51	0.40	0.34	0.27	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09
	Média gr. 3	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.10	0.13	0.17	0.26	0.38	0.50	0.58	0.60	0.57	0.49	0.41	0.36	0.31	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13
	Média gr. 4	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.17	0.23	0.32	0.42	0.48	0.52	0.51	0.46	0.40	0.37	0.32	0.28	0.25	0.23	0.20	0.19	0.17
	Forte gr. 5	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.16	0.18	0.22	0.28	0.34	0.40	0.44	0.44	0.42	0.39	0.36	0.33	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19
	Forte gr. 6	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.17	0.17	0.19	0.22	0.27	0.32	0.37	0.40	0.41	0.40	0.37	0.35	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22
Sudoeste	Leve gr. 1	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.05	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.35	0.55	0.72	0.81	0.82	0.73	0.52	0.25	0.18	0.14	0.10	0.08	0.06
	Leve gr. 2	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.32	0.48	0.62	0.70	0.71	0.64	0.48	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12
	Média gr. 3	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.10	0.12	0.13	0.14	0.16	0.18	0.27	0.40	0.51	0.59	0.62	0.58	0.47	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16
	Média gr. 4	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.24	0.34	0.42	0.49	0.53	0.51	0.45	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20
	Forte gr. 5	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.23	0.28	0.35	0.40	0.44	0.45	0.42	0.35	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22
	Forte gr. 6	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.22	0.27	0.33	0.38	0.41	0.42	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24
Oeste	Leve gr. 1	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.04	0.07	0.09	0.12	0.13	0.15	0.17	0.29	0.50	0.68	0.80	0.82	0.66	0.26	0.19	0.14	0.11	0.08	0.06
	Leve gr. 2	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.26	0.43	0.58	0.68	0.70	0.57	0.25	0.21	0.18	0.16	0.13	0.11
	Média gr. 3	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.22	0.36	0.48	0.57	0.60	0.53	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16
	Média gr. 4	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.20	0.30	0.39	0.47	0.51	0.47	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19
	Forte gr. 5	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.19	0.25	0.32	0.38	0.42	0.41	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.21
	Forte gr. 6	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.19	0.24	0.30	0.35	0.38	0.38	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22
Noroeste	Leve gr. 1	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.05	0.09	0.12	0.15	0.18	0.19	0.21	0.22	0.29	0.49	0.69	0.80	0.71	0.26	0.19	0.14	0.10	0.08	0.06
	Leve gr. 2	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.19	0.20	0.26	0.43	0.60	0.69	0.62	0.24	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11
	Média gr. 3	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.19	0.23	0.36	0.49	0.58	0.54	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15
	Média gr. 4	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18	0.21	0.30	0.41	0.48	0.47	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18
	Forte gr. 5	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.20	0.26	0.32	0.38	0.40	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19
	Forte gr. 6	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15																		

Anexo M - Valores Instantâneos de CLF para Iluminação, Ocupantes e Equipamentos

A		B																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Forte	0.46	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Média	0.50	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
	Fraca	0.63	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Forte	0.47	0.53	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	Média	0.50	0.58	0.15	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Fraca	0.63	0.72	0.16	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Forte	0.49	0.55	0.59	0.62	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04
	Média	0.51	0.59	0.65	0.69	0.24	0.19	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
	Fraca	0.63	0.72	0.79	0.85	0.26	0.19	0.14	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Forte	0.51	0.57	0.61	0.64	0.67	0.70	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07
	Média	0.52	0.60	0.66	0.70	0.74	0.77	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
	Fraca	0.63	0.72	0.79	0.85	0.88	0.91	0.31	0.23	0.17	0.13	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
8	Forte	0.54	0.59	0.63	0.67	0.69	0.72	0.73	0.75	0.32	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09
	Média	0.54	0.61	0.67	0.71	0.75	0.78	0.80	0.83	0.35	0.29	0.24	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05
	Fraca	0.63	0.72	0.79	0.85	0.89	0.91	0.94	0.95	0.34	0.25	0.19	0.14	0.10	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
10	Forte	0.57	0.62	0.66	0.69	0.72	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.36	0.31	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12
	Média	0.55	0.63	0.68	0.72	0.76	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87	0.39	0.32	0.27	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07
	Fraca	0.63	0.73	0.80	0.85	0.89	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.35	0.26	0.20	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
12	Forte	0.60	0.65	0.69	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.40	0.35	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16
	Média	0.58	0.65	0.70	0.74	0.77	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09
	Fraca	0.64	0.73	0.80	0.85	0.89	0.92	0.94	0.95	0.97	0.97	0.98	0.99	0.36	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01
14	Forte	0.64	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.43	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20
	Média	0.61	0.68	0.73	0.76	0.79	0.82	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.44	0.37	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13
	Fraca	0.65	0.74	0.80	0.85	0.89	0.92	0.94	0.95	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.37	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03
16	Forte	0.68	0.73	0.76	0.78	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.46	0.41	0.37	0.33	0.31	0.28	0.26	0.25
	Média	0.65	0.71	0.76	0.79	0.81	0.84	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.46	0.39	0.33	0.29	0.25	0.22	0.20	0.17
	Fraca	0.66	0.75	0.81	0.86	0.90	0.92	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	0.37	0.28	0.21	0.15	0.11	0.09	0.06	0.05	
18	Forte	0.73	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.49	0.43	0.39	0.36	0.33	0.30
	Média	0.70	0.76	0.79	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.48	0.40	0.34	0.30	0.26	0.23
	Fraca	0.69	0.77	0.83	0.87	0.90	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.37	0.28	0.21	0.15	0.12	0.09	

- A
- No caso da iluminação artificial esta coluna refere-se ao número total de horas durante as quais a iluminação está ligada.
 - No caso dos ocupantes esta coluna refere-se ao número de horas que cada ocupante permanece no espaço.
 - No caso dos equipamentos esta coluna refere-se ao número total de horas de operação dos equipamentos.
- B
- No caso da iluminação artificial esta coluna refere-se ao número de horas após a iluminação ter sido ligada.
 - No caso dos ocupantes esta coluna refere-se ao número de de horas após cada entrada.
 - No caso dos equipamentos esta coluna refere-se ao número de horas após o equipamento ter sido ligado.

ANEXO N - Guia para o Cálculo das Cargas Térmicas

1. - Introdução

Nas secções seguintes apresenta-se um guia prático para o cálculo das cargas térmicas de arrefecimento em edifícios utilizando os novos valores dos Factores de Resposta, dos Factores de Ponderação, dos CLTD's e dos CLF's propostos neste trabalho.

2. - Método das Funções de Transferência

O método das Funções de Transferência, conforme já foi referido no Capítulo II, requer duas etapas para o cálculo das cargas térmicas arrefecimento: a primeira consiste no cálculo dos ganhos instantâneos de calor e a segunda na sua conversão em cargas térmicas arrefecimento.

2.1. - Cálculo dos Ganhos de Calor

2.1.1. - Ganhos de Calor através de Paredes e Coberturas

Os ganhos de calor através dos elementos opacos da envolvente devem-se à existência de uma diferença de temperaturas entre o exterior e interior do edifício e à incidência da radiação solar nas superfícies exteriores. Em regra, a elementos construtivos diferentes correspondem diferentes ganhos de calor, uma vez que a transferência de calor, por condução, para a superfície interior, através das diversas camadas constituintes do elemento, difere principalmente em função da massa e natureza da construção das paredes ou coberturas.

O fluxo de calor na superfície interior de um elemento opaco da envolvente, ($\dot{q}$) em W/m^2 , é calculado através da equação seguinte:

$$\dot{q}(t) = \sum_{i=0}^{\infty} Y_i T_{as}(t - i\Delta) - \sum_{i=0}^{\infty} Z_i T_{int}(t - i\Delta) \quad (N.1)$$

em que:

- T_{as} é a temperatura fictícia ar-sol, a qual contabiliza simultaneamente a temperatura exterior e os efeitos da incidência da radiação solar na superfície exterior do elemento. Na Tabela III.3 encontram-se valores da temperatura ar-sol de projecto para superfícies escuras e para a zona climática V2. Para outras situações, a temperatura fictícia ar-sol pode ser calculada pela equação I.7.
- T_{int} é a temperatura do ar interior.

- Y_i e Z_i são os factores de resposta térmica do elemento da envolvente, encontrando-se tabelados nos Anexos F e G em função do tipo de parede ou de cobertura, respectivamente. A tipologia construtiva pode ser identificada na Tabela III.10 no caso das paredes e nas Tabelas III.13, III.14 e III.15 no caso das coberturas.

A realização do cálculo dos ganhos de calor através desta equação só é praticamente viável através de um pequeno computador, encontrando-se no Anexo C um programa onde a equação N.1 está implementada.

2.1.2. - Ganhos de Calor através de Vãos Envidraçados

Os ganhos de calor provenientes dos vãos envidraçados podem-se decompor em duas componentes:

1. Ganhos (ou perdas) de calor por condução, provocados pela diferença de temperaturas entre o exterior e o interior.
2. Ganhos de calor por radiação, provocados pela radiação solar transmitida através do vidro.

A primeira componente ocorre quer haja ou não radiação solar incidente, pois representa a transferência de calor, por condução, através de vãos envidraçados. A segunda componente existe apenas quando ha incidência de radiação solar sobre o vão envidraçado.

Estas duas componentes são interdependentes, uma vez que a energia solar absorvida e a diferença de temperaturas se combinam para produzir o ganho ou perda de calor por convecção e radiação do vidro para o espaço. Contudo, eles são considerados separadamente, uma vez que se pode mostrar [79] que o valor correcto dos ganhos de calor provenientes dos vãos envidraçados se pode obter através da soma dos ganhos de calor produzidos pela absorção energia solar com os ganhos de calor produzidos por condução.

2.1.2.1. - Ganhos de Calor através de Vãos Envidraçados por Condução

Quer exista radiação solar ou não, o calor atravessa os vãos envidraçados por condução térmica, sendo o ganho de calor, ($\dot{q}$) em W/m^2 , que chega à superfície interior de um envidraçado calculado por:

$$\dot{q}(t) = K(T_{\text{ext}}(t) - T_{\text{int}}(t)) \quad (\text{N.2})$$

em que:

- K é o coeficiente de transferência de calor do vão envidraçado (os respectivos valores podem ser encontrados em [64, Anexo II, Quadro 9] para um grande número de vãos envidraçados).
- T_{ext} é a temperatura do ar exterior cujos valores de projecto (para as várias regiões climáticas portuguesas e para um dia típico de Verão, podem encontrar-se os valores de T_{ext} na Tabela III.1).
- T_{int} é a temperatura do ar interior.

2.1.2.2. - Ganhos de Calor através de Vãos Envidraçados por Radiação

Os ganhos de calor provocados pela incidência da radiação solar num envidraçado são uma função directa da quantidade de radiação incidente e do factor solar do envidraçado, podendo o ganho de calor, ($\dot{q}$) em W/m^2 , ser calculado por:

$$\dot{q}(t) = S_v G_t(t) \quad (\text{N.3})$$

em que:

- S_v é o factor solar do envidraçado e representa a razão entre o ganho instntâneo de calor solar e a radiação solar incidente. É uma propriedade característica de cada tipo de envidraçado e varia com o ângulo de incidência da radiação. Valores médios de S_v para um grande número envidraçados com ou sem protecções solares podem ser encontrados no RCCTE [2]. Uma metodologia de cálculo para os casos não tabelados pode ser encontrada em [71].
- G_t é a radiação solar global incidente na superfície exterior do envidraçado. Na Tabela III.2 apresentam-se valores típicos da radiação solar para as principais orientações, para um dia médio de Verão sem nuvens. Para altitudes elevadas ou atmosferas muito claras, os valores reais podem ser até 15% mais altos que os valores apresentados na tabela. Para atmosferas industriais muito poluídas e para locais excepcionalmente húmidos, podem ser 20 a 30% inferiores aos valores da tabela [8].

2.1.3. - Ganhos de Calor através da Envolvente Interior

Os ganhos instantâneos de calor através da envolvente interior podem continuar a ser quantificados através dos modelos existentes, uma vez que estes representam suficientemente bem os fenómenos envolvidos. Assim, para calcular os ganhos instantâneos de calor através da envolvente interior pode-se adoptar a metodologia publicada pela ASHRAE [8]:

$$\dot{q}(t) = K [T_{\text{adj}}(t) - T_{\text{int}}(t)] \quad (\text{N.4})$$

em que:

- T_{int} é a temperatura do ar interior.
- T_{adj} é a temperatura do ar no espaço adjacente.
- K é o coeficiente de transferência de calor do elemento interior. Embora estejam tabelados em [64] valores para um grande número de soluções construtivas, chama-se a atenção para que estes valores devem ser corrigidos, de modo a adequá-los à condição de pertencerem a uma envolvente interior, do seguinte modo:

$$\frac{1}{K_{par. int.}} = \frac{1}{K_{par. ext.}} - \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad (N.5)$$

em que:

- $K_{par. int.}$ é o coeficiente de transferência de calor do elemento interior.
- $K_{par. ext.}$ é o coeficiente de transferência de calor do elemento exterior tabelados em [64].
- $1/h_e$ é a resistência térmica superficial exterior.
- $1/h_i$ é a resistência térmica superficial interior.

2.1.4. - Ganhos de Calor Internos

Os ganhos internos instantâneos de calor, tais como os produzidos pela iluminação, ocupantes e equipamentos, podem continuar a ser quantificados através dos modelos existentes, uma vez que estes representam suficientemente bem os referidos ganhos de calor. Assim, para efeitos do cálculo dos ganhos instantâneos de calor produzidos pela iluminação, ocupantes e equipamentos pode-se adoptar a metodologia publicada pela ASHRAE [8], mais precisamente no Capítulo 26 do Handbook of Fundamentals:

Para o cálculo dos ganhos instantâneos de calor produzidos pelos ocupantes, podem-se adoptar os valores que constam da Tabela 26.3.

Para o cálculo dos ganhos instantâneos de calor produzidos pela iluminação, podem-se adoptar os valores que resultam da aplicação da equação 26.9.

Para o cálculo dos ganhos instantâneos de calor produzidos pelos equipamentos, podem-se adoptar os valores que resultam da aplicação da equação 26.18.

2.1.5. - Ganhos de Calor associados à Ventilação e Renovação do Ar

Tal como os ganhos internos de calor e os ganhos provenientes da envolvente interior, os ganhos de calor associados à ventilação e à renovação do ar já estão bem caracterizadas nas metodologias de cálculo tradicionais. Assim, para efeitos do cálculo dos ganhos de calor associadas à ventilação e à renovação do ar pode-se adoptar a metodologia publicada pela ASHRAE [8], ou seja:

$$\dot{Q}(t) = 1,23 \dot{V} [T_{\text{ext}}(t) - T_{\text{int}}(t)] \quad (\text{N.6})$$

em que:

- T_{int} é a temperatura do ar interior.
- T_{ext} é a temperatura do ar exterior.
- $\dot{V}$ é o caudal de ar, em l/s, de ventilação ou de infiltração.

Como os ganhos de calor associados à ventilação e à renovação do ar contribuem de imediato para a carga térmica do espaço não é necessário converter este tipo de ganhos em cargas térmicas, ao contrário do que se passa para os restantes ganhos de calor.

2.2. - Conversão dos Ganhos de Calor em Cargas Térmicas

A carga térmica, $(\dot{Q})$, de um espaço num determinado instante (t), além de depender do valor presente dos ganhos $(\dot{q})$, depende também dos valores anteriores da carga térmica $(\dot{Q}(t-i\Delta))$ e dos valores anteriores dos ganhos $(\dot{q}(t-i\Delta))$, ou seja da energia armazenada na massa térmica do espaço e libertada por esta para o ar no tempo que precedeu o instante em análise. A conversão dos ganhos de calor em carga térmica do espaço é feita por recurso à função de transferência do espaço, conforme já descrito no Capítulo II:

$$\dot{Q}(t) = \sum_{i=0} v_i \dot{q}(t-i\Delta) - \sum_{i=1} \omega_i \dot{Q}(t-i\Delta) \quad (\text{N.7})$$

em que v_i e ω_i são os Factores de Ponderação. Estes além de dependerem da inércia térmica do espaço como referido, dependem também do tipo de ganho de calor, tendo sido calculados valores adequados para as diversas situações possíveis mais típicas e mais importantes.

Existem duas alternativas para a escolha dos factores de ponderação:

- a) Para efectuar um cálculo muito preciso das cargas térmicas na maior parte das situações correntes recomenda-se a utilização dos valores dos factores de

ponderação correspondentes aos diferentes níveis de massa de armazenamento térmico. Estes valores encontram-se nas Tabelas IV.22, IV.23 e IV.24, respectivamente para os ganhos de calor provenientes da Condução de Calor pela envolvente, dos Ocupantes, Equipamentos, Iluminação e da Radiação Solar.

- b) Para efectuar um cálculo mais simplificado das cargas térmicas, mas mesmo assim ainda com precisão suficiente, recomenda-se a utilização de valores médios dos factores de ponderação correspondentes às três classes de inércia definidas no RCCTE. Estes valores estão disponíveis na Tabela IV.17 para os ganhos de calor provenientes da Radiação Solar, dos Ocupantes, Equipamentos, Iluminação e da Condução de Calor pela envolvente.

A realização do cálculo das cargas térmicas a partir dos ganhos de calor através da equação N.4, apesar de simples, necessita de um computador. No Anexo C encontra-se um pequeno programa onde esta equação está implementada.

3. - Método CLTD/CLF

O método CLTD/CLF, ao contrário do método das Funções de Transferência, é um procedimento para o cálculo de cargas térmicas de arrefecimento que consiste apenas de um só passo.

Este método foi introduzido pela primeira vez em 1977 no "ASHRAE Handbook of Fundamentals" e, em virtude da sua grande simplicidade, é normalmente considerado pelos projectistas de ar-condicionado como a primeira alternativa para o de cálculo das cargas térmicas arrefecimento de edifícios.

3.1. - Cargas Térmicas provenientes de Paredes e Coberturas

A componente das cargas térmicas proveniente dos elementos opacos da envolvente do edifícios, $(\dot{Q})$ em W/m^2 , paredes ou coberturas, é calculada através da equação seguinte:

$$\dot{Q}(t) = K \Delta T_e(t) \quad (N.8)$$

em que:

- K é o coeficiente de transferência de calor do elemento opaco, estando os respectivos valores tabelados em [64], para um grande número de soluções construtivas.
- $\Delta T_e(t)$ é o valor instantâneo das Diferenças Efectivas de Temperatura correspondentes ao elemento da envolvente. Nos Anexos H e I encontram-se tabelados, respectivamente, valores de $\Delta T_e(t)$ em função do tipo de parede ou de cobertura e da classe de inércia do espaço para o qual se pretende calcular a carga térmica. Este valores foram calculados através das equações N.1 e N.4

atrás definidas A tipologia construtiva no caso das paredes pode ser identificada na Tabela III.10 e nas Tabelas III.13, III.14 e III.15 no caso das coberturas.

3.2. - Cargas Térmicas provenientes de Vãos Envidraçados

Tal como no método das Funções de Transferência, no método CLTD/CLF a carga térmica proveniente dos vão envidraçados é calculada através da sua decomposição em duas parcelas: 1) carga térmica por condução, resultante da diferença de temperaturas entre o exterior e o interior; 2) carga térmica por radiação, resultante da radiação solar transmitida através do vidro.

3.2.1. - Cargas Térmicas por Condução

As cargas térmicas por condução, $(\dot{Q})$ em W/m^2 , resultantes da diferença de temperaturas entre o exterior e o interior do espaço, são calculadas por:

$$\dot{Q}(t) = K \Delta T_e(t) \quad (N.9)$$

em que:

- K é o coeficiente de transferência de calor do vão envidraçado, e os respectivos valores para um grande número de vãos envidraçados podem ser encontrados em [64, Anexo II, Quadro 9].
- $\Delta T_e(t)$ é o valor instantâneo das Diferenças Efectivas de Temperatura correspondentes ao vão envidraçado. No Anexo J encontram-se tabelados os respectivos valores em função da classe de inércia do espaço para o qual se pretende calcular a carga térmica.

3.2.2. - Cargas Térmicas por Radiação

As cargas térmicas provocadas pela incidência da radiação solar num envidraçado são uma função directa da quantidade de radiação incidente, do factor solar do envidraçado e da capacidade de armazenamento térmico do espaço, podendo as cargas térmicas, $(\dot{Q})$ em W/m^2 , ser calculadas por:

$$\dot{Q}(t) = S_v G_{t \text{ Max}} CLF(t) \quad (N.10)$$

em que:

- S_v é o factor solar do envidraçado. Valores típicos de S_v para um grande número envidraçados com ou sem protecções solares podem ser encontrados no RCCTE [2]. Uma metodologia de cálculo para os casos não tabelados pode ser encontrada em [71].

- $G_{t \text{ Max}}$ é o valor máximo da radiação solar global incidente na superfície exterior do envidraçado. Na Tabela III.2 pode facilmente ser identificado este valor para as principais orientações.
- CLF(t) é factor de carga térmica dos envidraçados, que representa a quantidade de radiação solar que é absorvida pelos elementos do espaço e posteriormente libertada por convecção para o ar. A energia armazenada aumenta quando aumenta a massa do espaço, resultando também um aumento do atraso na conversão do ganho de calor em carga térmica. No Anexo L encontram-se tabelados valores de CLF(t) em função do tipo de classe de inércia do espaço para o qual se pretende calcular a carga térmica.

3.3. - Cargas Térmicas de Ocupantes, Equipamentos e Iluminação

As cargas térmicas provenientes dos ocupantes, dos equipamentos ou da iluminação são uma função directa da quantidade de calor produzido por essas fontes e da capacidade de armazenamento térmico do espaço, podendo as cargas térmicas, ($\dot{Q}$) em W/m^2 , ser calculadas pela seguinte expressão:

$$\dot{Q}(t) = GC \times CLF(t) \quad (N.11)$$

em que:

- GC é o ganho de calor da respectiva fonte de calor, quer se trate de ocupantes ou de equipamentos ou de iluminação cujas grandezas são bem conhecidas.
- CLF(t) são os valores instantâneos de CLF para Iluminação, Ocupantes e Equipamentos. Tal como para os envidraçados, a energia armazenada aumenta quando aumenta a massa do espaço, resultando também um aumento do atraso na conversão do ganho de calor em carga térmica. Assim no Anexo M encontram-se tabelados valores de CLF(t) em função do tipo de classe de inércia do espaço para o qual se pretende calcular a carga térmica.

3.4. - Cargas Térmicas provenientes da Envolvente Interior

As cargas térmicas provenientes da envolvente interior já estão bem caracterizadas nas metodologias de cálculo tradicionais. Atendendo a que a envolvente interior separa ambientes em que a diferença de temperaturas, em regra, não é muito elevada, as cargas térmicas provenientes da envolvente interior são também reduzidas, quando comparadas com as restantes. Deste modo, para efeitos do cálculo das cargas térmicas provenientes da envolvente interior pode-se adoptar a metodologia publicada pela ASHRAE [8]:

$$\dot{Q}(t) = K [T_{adj}(t) - T_{int}(t)] \quad (N.12)$$

em que:

- T_{int} é a temperatura do ar interior.
- T_{adj} é a temperatura do ar no espaço adjacente.
- K é o coeficiente de transferência de calor do elemento interior. Embora estejam tabelados em [64] valores para um grande número de soluções construtivas, chama-se a atenção para que estes valores devem ser corrigidos de acordo com a equação N.5.

3.5. - Cargas Térmicas associadas à Ventilação e Renovação do Ar

Tal como as cargas térmicas provenientes da envolvente interior, as cargas térmicas associadas à ventilação e à renovação do ar já estão bem caracterizadas nas metodologias de cálculo tradicionais. Assim, para efeitos do cálculo das cargas térmicas associadas à ventilação e à renovação do ar pode-se adoptar a metodologia publicada pela ASHRAE [8], ou seja:

$$\dot{Q}(t) = 1,23 \dot{V} [T_{ext}(t) - T_{int}(t)] \quad (N.13)$$

em que:

- T_{int} é a temperatura do ar interior.
- T_{ext} é a temperatura do ar exterior.
- $\dot{V}$ é o caudal de ar, em l/s, de ventilação ou de infiltração.

3.6. - Carga Térmica Total

A carga térmica de arrefecimento total de um dado edifício é, em cada instante, a soma da totalidade das parcelas descritas nas secções anteriores.

... para as três classes de inércia

[1] - valores medidos
[2] - valores calculados
[3] - valores calculados pela equação 1.7
[4] - valores calculados pela equação N.1
[5] - valores calculados pela multiplicação dos valores anteriores por K
[6] - valores calculados pela equação N.2
[7] - valores calculados pela equação N.3
[8] - valores calculados pela equação N.7
[9] - valores calculados por $nH \cdot Vol \cdot 0.34 \cdot (Text - Tini)$

Tabela O.2 - Célula isolada: cálculos efectuados com os factores de ponderação propostos para as diferentes massas de armazenamento térmico

Tabela O.2 - Célula isolada: cálculos efectuados com os factores de ponderação propostos para as diferentes massas de ar ambiente																											
Soma das Cargas Térmicas (W)		3.3	562																								
Renovação do ar (W) - [9]		3.3	541																								
Carga de Radiação (W) - [8]		116.0	109.5																								
Carga de Condução (W) - [8]		442.5	428.4																								
Ganhos de Radiação (W) - [7]		0.0	403.5																								
Soma Ganhos de Condução		502.6	459.4																								
Fluxo Janela (W) - [6]		14.2	14.2																								
Fluxo Pavimento (W) - [6]		16.5	16.5																								
Fluxo Cobertura (W) - [5]		157.9	147.7																								
Fluxo O (W) - [5]		113.9	103.0																								
Fluxo S (W) - [5]		64.2	56.8																								
Fluxo E (W) - [5]		53.2	46.9																								
Fluxo N (W) - [5]		82.7	74.3																								
Fluxo/K H (°C) - [4]		15.9	14.8																								
Fluxo/K O (°C) - [4]		22.9	20.7																								
Fluxo/K S (°C) - [4]		13.1	11.6																								
Fluxo/K E (°C) - [4]		10.7	9.4																								
Fluxo/K N (°C) - [4]		12.5	11.2																								
Tar-sol H (°C) - [3]		18.5	17.4																								
Tar-sol O (°C) - [3]		22.2	21.1																								
Tar-sol S (°C) - [3]		22.2	21.1																								
Tar-sol E (°C) - [3]		22.2	21.1																								
Tar-sol N (°C) - [3]		22.2	21.1																								
Rad. Vert. Horiz (W/m2) - [1]		0.0	0.0																								
Rad. Vert. Oeste (W/m2) - [2]		0.0	0.0																								
Rad. Vert. Sul (W/m2) - [1]		0.0	0.0																								
Rad. Vert. Este (W/m2) - [2]		0.0	0.0																								
Rad. Vert. Norte (W/m2) - [2]		0.0	0.0																								
Temperatura Exterior (°C) - [1]		22.2	22.2																								
Hora Legal		1	2																								

- [1] - valores medidos
 [2] - valores calculados
 [3] - valores calculados pela equação 1.7
 [4] - valores calculados pela equação N.1
 [5] - valores calculados pela multiplicação dos valores anteriores por K
 [6] - valores calculados pela equação N.2
 [7] - valores calculados pela equação N.3
 [8] - valores calculados pela equação N.7
 [9] - valores calculados por $n \cdot h \cdot \text{Vol} \cdot 0.34 \cdot (\text{Text} - \text{Tint})$

Tabela O.4 - Célula isolada: cálculos efectuados com os valores de CLTD e CLF publicados pela ASHRAE

Hora Legal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Temperatura Exterior (°C) - [1]	22.2	22.2	21.1	21.7	16.7	17.8	17.8	18.9	20.6	20.6	24.3	36.0	46.8	53.2	59.6	41.6	29.6	17.9	27.2	25.0	19.4	17.8	17.2	16.7
Rad. Vert. Sul (W/m2) - [1]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	6.3	37.4	123.8	243.1	360.9	468.9	538.6	573.2	499.6	411.6	296.0	173.9	95.8	39.8	0.0	0.0	0.0	0.0
CLF Sul - [2]	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
CLTD N (°C) - [3]	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	11.0	11.0	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
CLTD E (°C) - [3]	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	16.0	16.0	10.0	10.0	10.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
CLTD S (°C) - [3]	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	13.0	13.0	8.5	8.5	8.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
CLTD O (°C) - [3]	12.0	13.0	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
CLTD H (°C) - [3]	17.5	14.5	12.5	10.5	8.5	6.5	5.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
CLTD vidros - [4]	0.0	-1.0	-1.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0
Carga Term. N (W) - [5]	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8
Carga Term. E (W) - [5]	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7
Carga Term. S (W) - [5]	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4
Carga Term. O (W) - [5]	59.7	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6
Carga Term. Cobertura (W) - [5]	174.3	144.4	124.5	104.6	84.7	64.7	54.8	44.9	34.9	24.9	14.9	4.9	-5.0	-15.0	-25.0	-35.0	-45.0	-55.0	-65.0	-75.0	-85.0	-95.0	-105.0	-115.0
Carga Pavimento (W) - [6]	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5
Carga Condução Janela (W) - [7]	0.0	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8
Carga Radiação Janela (W) - [8]	65.4	50.9	36.4	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1
Renovação do ar (W) - [9]	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
Soma Cargas Térmicas (W)	466.4	418.1	369.1	336.0	241.4	217.1	190.0	206.4	233.1	271.6	392.2	538.9	706.4	876.3	998.8	1044.3	1002.4	942.8	868.2	788.7	647.1	549.7	483.9	421.7

- [1] - valores medidos
 [2] - valores tabelados Anexo L
 [3] - valores tabelados Anexo H
 [4] - valores tabelados Anexo J
 [5] - valores calculados pela eq. N.8
 [6] - valores calculados por $K \cdot A \cdot (\text{Text-Tint})$
 [7] - valores calculados pela equação N.9
 [8] - valores calculados pela equação N.10
 [9] - valores calc. por $n_{th} \cdot V_{ol} \cdot 0.34 \cdot (\text{Text-Tint})$

Tabela O.5 - Célula não isolada: cálculos efectuados com os factores de ponderação propostos para as três classes de inércia

Tabela O.5 - Célula não isolada: cálculos efectuados com os factores de ponderação propostos para as três classes de inércia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Soma das Cargas Térmicas (W)	1037																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

- [1] - valores medidos
 [2] - valores calculados
 [3] - valores calculados pela equação 1.7
 [4] - valores calculados pela equação N.1
 [5] - valores calculados pela multiplicação dos valores anteriores por K
 [6] - valores calculados pela equação N.2
 [7] - valores calculados pela equação N.3
 [8] - valores calculados pela equação N.7
 [9] - valores calculados por $n \cdot V \cdot 0.34 \cdot (\text{Text} - \text{Tint})$

Tabela O.7 - Célula não isolada: cálculos efetuados com os valores de CLTD e CLF propostos

Hora Legal	T Ext (°C)	Rad. Sul (W/m2)	CLF Sul	CLTD N (°C)	CLTD E (°C)	CLTD S (°C)	CLTD O (°C)	CLTD H (°C)	CLTD vidros	Carga Term. N (W)	Carga Term. E (W)	Carga Term. S (W)	Carga Term. O (W)	Carga Term. H (W)	Carga Pav (W)	Carga Janela (W)	Carga Térm. de Radiação	Renova-ção do ar (W)	Soma Cargas (W)
1	22.2	0.0	0.2	8.0	13.5	11.2	17.4	9.7	1.4	95.5	120.8	98.5	155.7	227.0	30.2	12.4	116.3	4.6	861
2	22.2	0.0	0.1	7.8	12.9	10.8	17.0	9.5	0.4	93.1	115.5	95.0	152.2	222.3	8.6	3.5	101.8	4.6	797
3	21.1	0.0	0.1	7.5	12.2	10.3	16.3	9.3	-0.5	89.5	109.2	90.6	145.9	217.6	-10.8	-4.4	94.5	1.4	734
4	21.7	0.0	0.1	7.1	11.4	9.8	15.4	9.0	-1.2	84.7	102.0	86.2	137.8	210.6	-25.9	-10.6	87.3	3.1	675
5	16.7	0.0	0.1	6.6	10.5	9.1	14.4	8.7	-1.9	78.8	94.0	80.1	128.9	203.6	-41.0	-16.8	72.7	-11.2	589
6	17.8	0.0	0.1	6.0	9.6	8.4	13.3	8.4	-2.3	71.6	85.9	73.9	119.0	196.6	-49.7	-20.3	65.4	-8.0	534
7	17.8	6.3	0.1	5.4	8.7	7.6	12.2	8.0	-2.5	64.4	77.9	66.9	109.2	187.2	-54.0	-22.1	58.2	-8.0	480
8	18.9	37.4	0.1	4.8	7.7	6.8	11.0	7.6	-2.3	57.3	68.9	59.8	98.5	177.8	-49.7	-20.3	72.7	-4.9	460
9	20.6	123.8	0.1	4.1	6.9	6.0	9.9	7.2	-1.7	48.9	61.8	52.8	88.6	168.5	-36.7	-15.0	101.8	0.0	471
10	20.6	243.1	0.2	3.6	6.3	5.3	8.9	6.9	-0.9	43.0	56.4	46.6	79.7	161.5	-19.4	-8.0	123.6	0.0	483
11	22.8	360.9	0.3	3.2	6.5	4.7	8.0	6.6	0.3	38.2	58.2	41.4	71.6	154.4	6.5	2.7	181.8	6.3	561
12	24.4	468.9	0.4	3.0	7.5	4.3	7.2	6.5	1.5	35.8	67.1	37.8	64.4	152.1	32.4	13.3	261.8	10.9	676
13	25.6	538.6	0.5	3.0	8.9	4.2	6.7	6.5	2.8	35.8	79.7	37.0	60.0	152.1	60.5	24.8	341.7	14.3	806
14	27.8	537.2	0.6	3.1	10.5	4.3	6.4	6.6	4.0	37.0	94.0	37.8	57.3	154.4	86.4	35.4	399.9	20.6	923
15	30.0	499.6	0.6	3.4	12.0	4.9	6.4	6.9	4.9	40.6	107.4	43.1	57.3	161.5	105.8	43.3	421.7	26.9	1008
16	30.6	411.6	0.6	3.8	13.1	5.8	6.5	7.3	5.6	45.3	117.3	51.0	58.2	170.8	121.0	49.5	399.9	28.6	1042
17	28.9	296.0	0.5	4.3	13.8	7.0	6.9	7.8	5.9	51.3	123.5	61.6	61.8	182.5	127.4	52.2	356.3	23.7	1040
18	27.8	173.9	0.4	5.0	14.3	8.2	7.8	8.4	6.0	59.7	128.0	72.1	69.8	196.6	129.6	53.1	298.1	20.6	1028
19	27.2	95.8	0.4	5.6	14.6	9.4	9.1	8.9	5.8	66.8	130.7	82.7	81.4	208.3	125.3	51.3	269.0	18.9	1034
20	25.0	39.8	0.3	6.2	14.8	10.3	11.0	9.3	5.4	74.0	132.5	90.6	98.5	217.6	116.6	47.8	225.4	12.6	1016
21	19.4	0.0	0.3	6.8	14.8	11.0	13.1	9.6	4.9	81.2	132.5	96.8	117.3	224.6	105.8	43.3	189.0	-3.4	987
22	17.8	0.0	0.2	7.4	14.7	11.4	15.1	9.8	4.1	88.3	131.6	100.3	135.2	229.3	88.6	36.3	167.2	-8.0	969
23	17.2	0.0	0.2	7.8	14.5	11.5	16.6	9.9	3.3	93.1	129.8	101.2	148.6	231.7	71.3	29.2	145.4	-9.7	940
24	16.7	0.0	0.2	8.0	14.1	11.5	17.3	9.8	2.3	95.5	126.2	101.2	154.8	229.3	49.7	20.3	130.9	-11.2	897

- [1] - valores medidos

[2] - valores tabelados Anexo L

[3] - valores tabelados Anexo H

[4] - valores tabelados Anexo J
- [5] - valores calculados pela eq. N.8

[6] - valores calculados por $K \cdot A \cdot (\text{Text} - \text{Tint})$

[7] - valores calculados pela equação N.9

[8] - valores calculados pela equação N.10

[9] - valores calc. por $n \cdot h \cdot \text{Vol} \cdot 0.34 \cdot (\text{Text} - \text{Tint})$

Tabela O.8 - Célula não isolada: cálculos efectuados com os valores de CLTD e CLF publicados pela ASHRAE

Hora Legal	1	22.2	0.0	0.1	7.0	12.0	11.5	17.0	17.5	0.0	83.5	107.4	101.2	152.2	409.5	0.0	0.0	65.4	4.6	924
Temperatura Exterior (°C) - [1]	2	22.2	0.0	0.1	7.0	11.0	10.5	16.0	14.5	-1.0	83.5	98.5	92.4	143.2	339.3	-21.6	-8.8	50.9	4.6	782
Rad. Vert. Sul (W/m2) - [1]	3	21.1	0.0	0.1	7.0	11.0	10.5	15.0	12.5	-1.0	83.5	98.5	92.4	134.3	292.5	-21.6	-8.8	36.4	1.4	708
CLF Sul - [2]	4	21.7	0.0	0.0	6.0	10.0	9.5	14.0	10.5	-2.0	71.6	89.5	83.6	125.3	245.7	-43.2	-17.7	29.1	3.1	587
CLTD N (°C) - [3]	5	16.7	0.0	0.0	5.0	9.0	8.5	13.0	8.5	-3.0	59.7	80.6	74.8	116.4	198.9	-64.8	-26.5	29.1	-11.2	457
CLTD E (°C) - [3]	6	17.8	0.0	0.0	5.0	8.0	7.5	12.0	6.5	-3.0	59.7	71.6	66.0	107.4	152.1	-64.8	-26.5	21.8	-8.0	379
CLTD S (°C) - [3]	7	17.8	6.3	0.0	4.0	7.0	6.5	10.0	5.5	-3.0	47.7	62.7	57.2	89.5	128.7	-64.8	-26.5	14.5	-8.0	301
CLTD H (°C) - [3]	8	18.9	37.4	0.1	3.0	6.0	5.5	9.0	3.5	-3.0	35.8	53.7	48.4	80.6	81.9	-64.8	-26.5	36.4	-4.9	241
CLTD vidros - [4]	9	20.6	123.8	0.1	3.0	5.0	4.5	8.0	2.5	-3.0	35.8	44.8	39.6	71.6	58.5	-64.8	-26.5	65.4	0.0	224
Carga Term. N (W) - [5]	10	20.6	243.1	0.1	2.0	5.0	4.5	7.0	2.5	-2.0	23.9	44.8	39.6	62.7	58.5	-43.2	-17.7	101.8	0.0	270
Carga Term. E (W) - [5]	11	22.8	360.9	0.2	2.0	6.0	3.5	6.0	4.5	-1.0	23.9	53.7	30.8	53.7	105.3	-21.6	-8.8	174.5	6.3	418
Carga Term. S (W) - [5]	12	24.4	468.9	0.4	2.0	7.0	3.5	5.0	6.5	0.0	23.9	62.7	30.8	44.8	152.1	0.0	0.0	276.3	10.9	601
Carga Term. O (W) - [5]	13	25.6	538.6	0.5	2.0	9.0	3.5	5.0	9.5	2.0	23.9	80.6	30.8	44.8	222.3	43.2	17.7	385.4	14.3	863
Carga Pavimento (W) - [6]	14	27.8	537.2	0.7	2.0	11.0	3.5	5.0	13.5	3.0	23.9	98.5	30.8	44.8	315.9	64.8	26.5	472.6	20.6	1098
Carga Condução Janela (W) - [7]	15	30.0	499.6	0.7	3.0	12.0	4.5	5.0	16.5	5.0	35.8	107.4	39.6	44.8	386.1	108.0	44.2	523.5	26.9	1316
Carga Radiação Janela (W) - [8]	16	30.6	411.6	0.7	3.0	13.0	6.5	5.0	20.5	5.0	35.8	116.4	57.2	44.8	479.7	108.0	44.2	516.2	28.6	1431
Renovação do ar (W) - [9]	17	28.9	296.0	0.6	4.0	14.0	7.5	6.0	23.5	6.0	47.7	125.3	66.0	53.7	549.9	129.6	53.1	458.1	23.7	1507
Soma Cargas Térmicas (W)	18	27.8	173.9	0.5	4.0	14.0	9.5	7.0	26.5	6.0	47.7	125.3	83.6	62.7	620.1	129.6	53.1	378.1	20.6	1521
	19	27.2	95.8	0.4	5.0	15.0	10.5	9.0	27.5	5.0	59.7	134.3	92.4	80.6	643.5	108.0	44.2	305.4	18.9	1487
	20	25.0	39.8	0.3	6.0	15.0	11.5	11.0	28.5	5.0	71.6	134.3	101.2	98.5	666.9	108.0	44.2	239.9	12.6	1477
	21	19.4	0.0	0.2	7.0	14.0	12.5	14.0	27.5	4.0	83.5	125.3	110.0	125.3	643.5	86.4	35.4	174.5	-3.4	1380
	22	17.8	0.0	0.2	7.0	14.0	12.5	16.0	25.5	2.0	83.5	125.3	110.0	143.2	596.7	43.2	17.7	130.9	-8.0	1242
	23	17.2	0.0	0.1	7.0	14.0	12.5	17.0	22.5	1.0	83.5	125.3	110.0	152.2	526.5	21.6	8.8	101.8	-9.7	1120
	24	16.7	0.0	0.1	8.0	13.0	12.5	18.0	19.5	0.0	95.5	116.4	110.0	161.1	456.3	0.0	0.0	80.0	-11.2	1008

[1] - valores medidos

[2] - valores tabelados Anexo L

[3] - valores tabelados Anexo II

[4] - valores tabelados Anexo J

[5] - valores calculados pela eq. N.8

[6] - valores calculados por $K \cdot A \cdot (\text{Text} - \text{Tint})$

[7] - valores calculados pela equação N.9

[8] - valores calculados pela equação N.10

[9] - valores calc. por $n \cdot \text{Vol} \cdot 0.34 \cdot (\text{Text} - \text{Tint})$