

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Engenharia Civil

## AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

### Proposta de Indicadores para o Projecto

Dissertação apresentada à Universidade do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Construção de Edifícios, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Maria Helena Povoas Corvacho e co-orientador Professor Doutor Jorge Manuel Fachana Moreira da Costa da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

António Manuel Figueiredo Freitas de Oliveira

Licenciado em Engenharia Civil

pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Outubro de 2007



*Á minha esposa Ana Cláudia por nunca me  
deixar desistir...*

*“Verité deça les Pyrénées, erreur au-dela”*

*(Pascal, in Pensées)*

## AGRADECIMENTOS

A minha primeira palavra de agradecimento vai para a minha esposa por todo o apoio que me deu e por sempre ter acreditado no meu trabalho.

Aos meus Orientadores, Professora Doutora Maria Helena Povoas Corvacho e Professor Doutor Jorge Manuel Fachana Moreira da Costa, por todo o apoio prestado e sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Por fim, a todos aqueles que directa ou indirectamente estiveram presentes e me acompanharam ao longo deste percurso, o meu sincero reconhecimento.



## RESUMO

Tendo em consideração as alterações climáticas resultantes da actividade humana o esgotamento a breve prazo das reservas de petróleo, o seu preço aumenta diariamente, e o aumento crescente das exigências de conforto no interior dos edifícios, é imperativo projectar edifícios com elevada eficiência energética, isto é, conceber edifícios adaptados ao clima local e utilizando energias renováveis, salvaguardado simultaneamente a qualidade de vida dos seu utilizadores. Medidas relacionadas com a eficiência energética e com as fontes de energia renováveis são uma componente importante da acção necessária para dar cumprimento às disposições do Protocolo de Quioto.

Com este trabalho pretende-se criar uma metodologia de avaliação da qualidade térmica dos edifícios durante a fase de concepção de modo a obter edifícios com elevado desempenho, isto é, elevada qualidade térmica e um consumo de energia necessário para o seu funcionamento (aquecimento, arrefecimento, aquecimento de água quente sanitária, iluminação, ventilação, etc.) eficiente, com um impacto ambiental mínimo, tendo como pontos principais a adaptação dos edifícios às condições climáticas locais e a garantia das condições de conforto dos ocupantes.

Desenvolve-se e estrutura-se uma nova metodologia de avaliação da qualidade térmica dos edifícios, apoiada no desenvolvimento de uma hierarquia de indicadores de qualidade através da aplicação de fichas de avaliação e diagnóstico, explicando-se a estrutura do método, a estrutura das fichas de avaliação e diagnóstico, os procedimentos a seguir no processo de avaliação e decisão, a ponderação dos elementos de avaliação e o perfil de qualidade.

Exemplifica-se a aplicação desta nova metodologia, com o objectivo de a validar, a duas tipologias diferentes de edifícios de habitação, um edifício unifamiliar e a um edifício multifamiliar, indicando as características de construção definidas no projecto de arquitectura e no estudo do comportamento térmico e a apresentação do respectivo Perfil de Qualidade.

O contributo mais importante do trabalho consiste na criação de uma metodologia de avaliação e diagnóstico do projectar edifícios adaptados ao clima local, de modo a utilizarem os recursos naturais, “Concepção Bioclimática de Edifícios”, garantindo conforto e bem-estar aos ocupantes, “Qualidade do Ambiente Interior”, sem consumos exagerados de energia de forma a reduzir ou minimizar os custos e os impactos no meio ambiente, “Impacto Ambiental dos Edifícios”.

**PALAVRAS-CHAVE** – Qualidade Térmica dos Edifícios, Eficiência Energética, Metodologia de Avaliação e Diagnóstico.

## ABSTRACT

Considering the result of the climatic changes caused by human activity, the soon exhaustion of oil reserves (its price raises every day) and the growing increase of comfort requirements in the interior of buildings, it is imperative to design buildings with a high energy efficiency. This means that it is necessary to create buildings that suit to the local climate and that use renewable energies at the same time. By doing this, it is also possible to protect the quality of life of its users. Measures related to energy efficiency and renewable energy sources play an important role to fulfil the Kyoto Protocol's arrangements.

With this work, it is intended to create an evaluation methodology of the thermal quality of buildings during its conception, in order to get buildings with a high performance, that is, a high thermal quality and a use of necessary energy to their efficient working (heating, cooling system, water heating, illumination, ventilation, etc.), with a minimum environmental impact, having as main points the adaptation of the buildings to the local climatic conditions and the guarantee of its users comfort.

A new evaluation methodology of the thermal quality of the buildings has been develop and structure, supported by the development of a quality pointers hierarchy. This should be made through the application of evaluation and diagnostic tests. This work explains the structure of the method, the structure of the evaluation and diagnostic tests, the procedures that are necessary to follow during the evaluation and decision process, the consideration of the evaluation elements and the quality profile.

With the aim of validating this new methodology, to two different types of residential buildings – a single-family house (detached house) and a multifamiliar one (terraced housing) – wear evaluated, pointing out the construction features defined on the architecture project and on the thermal behavior study and the presentation of its Quality Profile.

The most important contribution of this work is the creation of an evaluation and diagnostic methodology to desing buildings adapted to the local climate, in order to use the natural resources “Bioclimatic Conception of Buildings”, guaranteeing comfort and well-being to its users “Indoor Environmental Quality”, without an exaggerated use of energy. By doing this, it should be possible to reduce or minimize costs and impacts in the environment “Environmental Impact of Buildings”.

**KEY-WORDS** – Thermal Quality of the Buildings, Energy Efficiency, Evaluation and Diagnostic Methodology.



# ÍNDICE GERAL

Pág.

## CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	
<b>1.1.</b>	<b>Enquadramento .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.</b>	<b>Objectivos do Trabalho .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.</b>	<b>Estrutura do Texto .....</b>	<b>7</b>

## CAPÍTULO II - ESTADO DA ARTE

<b>2.</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b>	
<b>2.1.</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.</b>	<b>Regulamentação Térmica de Edifícios em Portugal .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.</b>	<b>Métodos de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios .....</b>	<b>17</b>
2.3.1.	Tipos de métodos existentes .....	17
2.3.2.	Ferramentas de Suporte à Concepção de Edifícios Sustentáveis .....	18
2.3.3.	Sistemas de Análise do Ciclo de Vida .....	19
2.3.4.	Sistemas e Ferramentas de Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios .....	20
2.3.5.	Métodos Desenvolvidos em Portugal .....	21
2.3.5.1.	Introdução .....	21
2.3.5.2.	Método de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação ..	22
2.3.5.3.	Programa Habitacional .....	23

## CAPÍTULO III – QUALIDADE TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS

<b>3.</b>	<b>QUALIDADE TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS</b>	
<b>3.1.</b>	<b>Concepção Bioclimática de Edifícios .....</b>	<b>29</b>
3.1.1.	Introdução .....	29
3.1.1.1.	Conceito de Envolvente do Edifício .....	30
3.1.1.2.	As exigências a Satisfazer pela Envolvente dos Edifícios .....	31
3.1.1.3.	Princípios de Concepção .....	35
3.1.2.	Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento .....	35
3.1.2.1.	Caracterização da Localização do Edifício .....	36
3.1.2.1.1.	Caracterização do Clima .....	36

3.1.2.1.2. Caracterização do Espaço Urbano.....	38
3.1.2.1.3. Caracterização do Lote.....	40
3.1.2.2. Implantação do Edifício .....	40
3.1.2.2.1. Orientação do Edifício .....	41
3.1.2.2.2. Sombreamento .....	41
3.1.2.2.3. Protecção da Radiação Solar no Verão .....	42
3.1.2.2.4. Protecção contra o Vento .....	43
3.1.2.3. Ganhos Solares pelos Envidraçados.....	44
3.1.2.3.1. Orientação e Inclinação dos Vãos Envidraçados .....	44
3.1.2.3.2. Razão entre a Área de Envidraçado e a Área do Compartimento .....	46
3.1.2.3.3. Características dos Vãos Envidraçados em Relação à Radiação Solar .....	46
3.1.2.4. Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior .....	46
3.1.2.5. Elementos Especiais da Envolvente.....	47
3.1.2.5.1. Parede de Trombe.....	47
3.1.2.5.2. Paredes de Água.....	49
3.1.2.5.3. Coberturas de Água.....	50
3.1.2.5.4. Estufas.....	51
3.1.3. Armazenamento Térmico .....	51
3.1.3.1. Conceito de Inércia Térmica e sua Avaliação .....	52
3.1.3.2. Quantificação da Inércia Térmica Interior ( <i>It</i> ) .....	54
3.1.3.3. A Inércia Térmica e os Compartimentos Orientados no Quadrante Sul.....	54
3.1.3.4. A Inércia Térmica e a Ventilação .....	54
3.1.3.5. Elementos Especiais para Armazenamento .....	55
3.1.3.6. A Inércia Térmica e a Reabilitação .....	55
3.1.4. Conservação da Energia e Protecção do Vento.....	55
3.1.4.1. Forma do Edifício.....	55
3.1.4.1.1. Forma do Edifício e a Conservação de Energia .....	56
3.1.4.1.2. Forma do Edifício e a Exposição ao Vento.....	57
3.1.4.1.3. Espaços Tampão.....	57
3.1.4.1.4. Formas Irregulares .....	58
3.1.4.2. Iluminação Natural nos Edifícios .....	58
3.1.4.3. Organização Interna dos Espaços.....	59
3.1.4.3.1. Distribuição da Área Útil de Pavimento .....	59
3.1.4.3.2. Zonamento Térmico e a Troca de Calor na Vertical e na Horizontal.....	61
3.1.4.4. Concepção da Envolvente Opaca do Edifício .....	62

3.1.4.4.1. Isolamento da Envolvente Opaca do Edifício .....	62
3.1.4.4.2. Soluções Construtivas Inovativas da Envolvente dos Edifícios.....	63
3.1.4.5. Concepção das Portas e Janelas .....	64
3.1.4.5.1. Transmissão de Calor Através das Portas e Janelas .....	65
3.1.4.5.2. A selecção da Caixilharia Exterior em Função da sua Exposição.....	66
3.1.4.5.3. Controlo das Infiltrações de Ar .....	66
3.1.4.6. Pontes Térmicas.....	67
3.1.4.6.1. Pontes Térmicas Planas.....	67
3.1.4.6.2. Pontes Térmicas Lineares .....	68
3.1.4.6.3. Tratamento das Pontes Térmicas Pontes .....	68
3.1.5. Distribuição de Calor .....	68
3.1.5.1. Trocas de Calor por Condução.....	70
3.1.5.2. Trocas de Calor por Convecção .....	70
3.1.5.2.1. Contabilização das Perdas de Calor Resultantes da Renovação do Ar.....	71
3.1.5.2.2. Ventilação Natural e Arrefecimento Passivo .....	72
3.1.5.3. Trocas de Calor por Radiação .....	75
3.1.5.3.1. Protecção da Radiação Solar Directa Durante o Verão .....	75
3.1.5.3.2. Refrigeração por Radiação Nocturna .....	76
<b>3.2. Qualidade do Ambiente Interior (QAI).....</b>	<b>77</b>
3.2.1. Introdução.....	77
3.2.2. Qualidade Termohigrométrica .....	78
3.2.2.1. Condições de Conforto Térmico Global.....	79
3.2.2.2. Índices de Avaliação Térmica .....	81
3.2.2.3. Desconforto Local.....	83
3.2.2.4. Conforto Adaptativo .....	85
3.2.3. Qualidade do Ar Interior.....	87
3.2.3.1. Critérios de Qualidade do Ar .....	88
3.2.3.2. Fontes de Poluição do Ar Interior .....	90
3.2.3.3. Sistemas de Ventilação .....	91
3.2.3.3.1. Ventilação Natural .....	92
3.2.3.3.2. Ventilação Mecânica.....	96
3.2.4. Qualidade da Iluminação .....	97
3.2.4.1. Iluminação Natural nos Edifícios .....	97
3.2.4.2. Níveis de Iluminância.....	98
3.2.4.3. Contraste .....	100

3.2.4.4. Encandeamento.....	101
3.2.5. Qualidade Acústica.....	102
<b>3.3. Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE).....</b>	<b>103</b>
3.3.1. Introdução.....	103
3.3.2. Energia .....	104
3.3.2.1. Consumo Energético nos Edifícios.....	106
3.3.2.2. Eficiência Térmica do Edifício.....	107
3.3.2.3. Eficiência Térmica na Iluminação e Electrodomésticos.....	108
3.3.2.4. Redução do Consumo Energético na Produção de Água Quente .....	111
3.3.2.5. Sistemas de Produção Doméstica de Electricidade a partir de Fontes Renováveis .....	113
3.3.3. Materiais de Construção.....	114
3.3.3.1. Matérias-Primas.....	114
3.3.3.2. Produção de Resíduos .....	115

## CAPÍTULO IV - MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

<b>4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS</b>	
<b>4.1. Metodologia de Avaliação Proposta .....</b>	<b>119</b>
4.1.1. Estrutura do Método de Avaliação e Diagnóstico.....	120
4.1.2. Estrutura das Fichas de Avaliação e Diagnóstico .....	131
4.1.3. Ponderação dos Elementos de Avaliação e Diagnóstico .....	132
4.1.4. Definição da Ponderação das Categorias Propostas .....	133
4.1.5. Perfil de Qualidade .....	133
<b>4.2. Fichas de Avaliação e Diagnóstico .....</b>	<b>135</b>
4.2.1. Avaliação da Concepção Bioclimática de Edifícios (CBE) .....	135
4.2.2. Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior (QAI) .....	185
4.2.3. Avaliação do Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE) .....	205
<b>4.3. Critérios de Ponderação .....</b>	<b>225</b>
<b>4.4. Desempenho do Edifício .....</b>	<b>235</b>

## CAPÍTULO V – APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO

<b>5. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO</b>	
<b>5.1. Aplicação do Método de Avaliação.....</b>	<b>239</b>

<b>5.2. Edifício Unifamiliar (moradia).....</b>	<b>239</b>
5.2.1. Elementos Desenhados.....	239
5.2.2. Elementos Escritos e Medições.....	242
5.2.3. Caracterização Térmica do Edifício.....	244
5.2.4. Nível Global de Qualidade da Moradia.....	251
5.2.4.1. Conceção Bioclimática dos Edifícios (CBE) .....	251
5.2.4.2. Qualidade do Ambiente Interior Conceção (QIA) .....	256
5.2.4.3. Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE) .....	258
5.2.4.4. Nível de Qualidade Térmica .....	260
5.2.4.5. Desempenho do Edifício.....	260
5.2.4.6. Representação do Perfil de Qualidade.....	261
<b>5.3. Edifício Multifamiliar (pisos intermédios de um bloco de apartamentos)...</b>	<b>262</b>
5.3.1. Elementos Desenhados.....	262
5.3.2. Elementos Escritos e Medições.....	265
5.3.3. Caracterização Térmica do Edifício .....	266
5.3.4. Nível Global de Qualidade para os pisos intermédios ( piso 2 e 3) .....	272
5.3.4.1. Conceção Bioclimática dos Edifícios (CBE) .....	272
5.3.4.2. Qualidade do Ambiente Interior Conceção (QIA) .....	277
5.3.4.3. Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE) .....	279
5.3.4.4. Nível de Qualidade Térmica .....	281
5.3.4.5. Desempenho do Edifício.....	281
5.3.4.6. Representação do Perfil de Qualidade.....	282
<b>5.4. Análise dos Resultados .....</b>	<b>283</b>
<b>5.5. Comentários à Aplicação do Método de Avaliação.....</b>	<b>283</b>

## CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES

<b>6. CONCLUSÕES</b>	
6.1. Considerações Finais.....	287
6.2. Dificuldades Sentidas no Desenvolvimento do Trabalho.....	289
6.3. Desenvolvimentos Futuros.....	290

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>291</b>
--------------------------	------------

<b>ANEXO .....</b>	<b>303</b>
--------------------	------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 3.1</b> - Exemplo de sombreamento com uma árvore de folha caduca no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) [29].	43
<b>Figura 3.2</b> - O efeito da inércia térmica no conforto interior.	53
<b>Figura 3.3</b> - Forma constante com volume e área exterior ( $A_e$ ) variáveis (o factor de forma decresce com o aumento do volume) [31].	56
<b>Figura 3.4</b> - Várias formas com volume unitário ( $V=1$ ) e factor de forma (COF) e perdas térmicas ( $Q$ ) variáveis (calote esférica forma mais optimizada) [31].	56
<b>Figura 3.5</b> - $PPD$ em função de $PMV$ [53].	82
<b>Figura 3.6</b> - Zona de conforto (trabalho leve, velocidade do ar inferior a 0,2 m/s, vestuário adaptado às épocas do ano [61].	85
<b>Figura 3.7</b> - Os componentes da iluminação natural [139].	98
<b>Figura 3.8</b> - Produção de energia no sistema eléctrico nacional em 2003 [79].	105
<b>Figura 4.1</b> - Qualidade da Implantação Orientação de um edifício [27].	140
<b>Figura 4.2</b> - Ângulo de obstrução ( $\theta$ ), adaptada de [28].	141
<b>Figura 4.3</b> - Na figura da esquerda o terreno tem uma inclinação a Norte, na figura da direita o terreno tem uma inclinação a Sul e na figura ao centro o terreno é plano [28].	141
<b>Figura 4.4</b> - Secção no plano perpendicular a fachada principal do edifício [10].	158
<b>Figura 4.5</b> - A definição do ângulo $\theta$ , o ângulo subentendido, no plano vertical normal à janela, pelo céu visível a partir do centro da abertura [10].	158
<b>Figura 4.6</b> - Na linha de ocultação do céu [10].	159
<b>Figura 4.7</b> - Cálculo da linha de ocultação do céu [10].	159
<b>Figura 4.8</b> - Exemplos de sistemas de oclusão/protecção solar exterior de vãos envidraçados [24].	197
<b>Figura 4.9</b> - Tipos de lâmpadas utilizadas na iluminação artificial dos edifícios [85].	213
<b>Figura 4.10</b> - Comparação da eficiência luminosa dos diferentes tipos de Lâmpadas [7] e [84].	213
<b>Figura 4.11</b> - Etiqueta energética de electrodomésticos (exemplo para uma máquina de lavar roupa) [85].	220
<b>Figura 5.1</b> - Planta do Rés-do-Chão.	239
<b>Figura 5.2</b> - Planta do 1.º Andar.	240
<b>Figura 5.3</b> - Corte AB.	240
<b>Figura 5.4</b> - Planta do Sótão (à esquerda) e Planta de Cobertura (à direita).	241

<b>Figura 5.5</b> - Alçado Principal (à esquerda) e Alçado Posterior (à direita). ....	241
<b>Figura 5.6</b> - Alçados Lateral Esquerdo (à esquerda) e Alçado Lateral Direito (à direita.).....	241
<b>Figura 5.7</b> - Ligação da fachada com pavimento intermédio e com torsa (corte vertical).....	242
<b>Figura 5.8</b> - Ligação da fachada com a varanda em corte vertical (à esquerda) e ligação entre duas paredes, em planta (à direita). ....	242
<b>Figura 5.9</b> - Planta do Piso Tipo. ....	262
<b>Figura 5.10</b> - Corte AB.....	262
<b>Figura 5.11</b> - Planta do Sótão (à esquerda) e Planta de Cobertura (à direita). ....	263
<b>Figura 5.12</b> - Alçado Principal (à esquerda) e Alçado Posterior (à direita). ....	263
<b>Figura 5.13</b> - Ligação da fachada com a varanda e com a caixa de estore (corte vertical)....	264
<b>Figura 5.14</b> - Ligação da fachada com pavimento intermédio, em corte vertical (à esquerda) e ligação entre duas paredes, em planta (à direita). ....	264

# ÍNDICE DE QUADROS

Pág.

<b>Quadro 2.1</b> - Principais áreas de verificação nos sistemas mais conhecidos de avaliação e reconhecimento da sustentabilidade de edifícios de habitação [10], [11] e [12].	21
<b>Quadro 2.2</b> - Representação da classificação de exigências de qualidade definidas no Método de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação. ..	22
<b>Quadro 2.3</b> - Subdivisão do Objectivo Superior Conforto Ambiental .....	23
<b>Quadro 2.4</b> - Representação da classificação de exigências de qualidade definidas no Programa Habitacional. ....	24
<b>Quadro 3.1</b> - Vantagens e inconvenientes da parede de Trombe.....	49
<b>Quadro 3.2</b> - Vantagens e desvantagens da utilização de paredes com isolamento transparente.....	64
<b>Quadro 3.3</b> - Escala de sensação térmica [57].	81
<b>Quadro 3.4</b> - Intervalos de variação dos parâmetros intervenientes no cálculo de PMV [57].	82
<b>Quadro 3.5</b> - Categorias de ambiente térmico global [57].	83
<b>Quadro 3.6</b> - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios [2].	89
<b>Quadro 3.7</b> - Resumo de prescrições de ventilação para edifícios residenciais [1], [2], [45] e [58].	90
<b>Quadro 3.8</b> - Iluminâncias recomendadas para zonas interiores [30] e [74].	99
<b>Quadro 3.9</b> - Iluminâncias recomendadas para zonas interiores [30].	100
<b>Quadro 3.10</b> - Valores recomendados do FLDM (%) em edifícios residenciais [30].	100
<b>Quadro 3.11</b> - Reflectâncias recomendadas [30].	101
<b>Quadro 3.12</b> - Quocientes de luminâncias [30].	101
<b>Quadro 4.1</b> - Estrutura do método de avaliação proposto.	120
<b>Quadro 4.2</b> - Objectivo Principal e Categorias da Metodologia de Avaliação e Diagnostico proposta.	122
<b>Quadro 4.3</b> - Categoria Concepção Bioclimática de Edifícios – desenvolvida até Indicador de qualidade, 4.º nível.	123
<b>Quadro 4.4</b> - Princípio de Concepção Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível. ....	124
<b>Quadro 4.5</b> - Princípio de Concepção Armazenamento Térmico – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.	125



<b>Quadro 4.6 -</b>	Princípio de Concepção Conservação da Energia e Protecção do Vento – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível. ....	126
<b>Quadro 4.7 -</b>	Princípio de Concepção Distribuição de Calor – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.....	127
<b>Quadro 4.8 -</b>	Categoria Qualidade do Ambiente Interior – desenvolvida até Indicador de qualidade, 4.º nível. ....	128
<b>Quadro 4.9 -</b>	Princípio de Concepção Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível. ....	128
<b>Quadro 4.10 -</b>	Princípio de Concepção Sistemas de Controlo e Gestão – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.....	129
<b>Quadro 4.11 -</b>	Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios – desenvolvida até Indicador de qualidade, 4.º nível. ....	129
<b>Quadro 4.12 -</b>	Princípio de Concepção Eficiência Energética da Concepção do Edifício – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível. ....	129
<b>Quadro 4.13 -</b>	Princípio de Concepção Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível. ....	130
<b>Quadro 4.14 -</b>	Princípio de Concepção Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível. ....	130
<b>Quadro 4.15 -</b>	Forma de atribuição dos níveis de qualidade.....	132
<b>Quadro 4.16 -</b>	Representação do Perfil de Qualidade.....	134
<b>Quadro 4.17 -</b>	Classe de exposição ao Vento das fachadas do edifício [1]. ....	142
<b>Quadro 4.18 -</b>	Espessuras mínimas recomendadas para as paredes de fachada com isolamento Térmico [88]. ....	147
<b>Quadro 4.19 -</b>	Cor da superfície exterior da protecção solar [1]. ....	147
<b>Quadro 4.20 -</b>	Exemplo de um quadro para calcular a inércia térmica interior ( $It$ ), por compartimento, adaptado de [1]. ....	151
<b>Quadro 4.21 -</b>	Classes de inércia térmica interior ( $It$ ) [1]. ....	152
<b>Quadro 4.22 -</b>	Valores do coeficiente $\tau$ [1]. ....	154
<b>Quadro 4.23 -</b>	Valores de FLDM recomendados para edifícios residenciais [30]. ....	160
<b>Quadro 4.24 -</b>	Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência ( $U_{ref.}$ ) [1]. ....	167
<b>Quadro 4.25 -</b>	Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos ( $U_{máx.}$ ) [1]. ....	167
<b>Quadro 4.26 -</b>	Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência ( $U_{ref.}$ ) [1]. ....	171
<b>Quadro 4.27 -</b>	Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos ( $U_{máx.}$ ) [1]. ....	171
<b>Quadro 4.28 -</b>	Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência ( $U_{ref.}$ ) [1]. ....	173
<b>Quadro 4.29 -</b>	Seleção da classe de permeabilidade ao ar de janelas e porta exteriores [35]. ....	173

<b>Quadro 4.30</b> - Selecção da classe de estanquidade à água de janelas e porta exteriores [35].	174
<b>Quadro 4.31</b> - Selecção da classe de resistência ao vento de janelas e porta exteriores [35].	174
<b>Quadro 4.32</b> - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios definidas no RSECE [2].	191
<b>Quadro 4.33</b> - Reflectâncias (R) luminosas de algumas superfícies [30].	196
<b>Quadro 4.34</b> - Reflectâncias (R) luminosas recomendadas [30].	196
<b>Quadro 4.35</b> - Iluminâncias recomendadas para zonas interiores [30] e [74].	197
<b>Quadro 4.36</b> - Exemplo de critérios de caracterização da capacidade de controlo e modelação da iluminação natural de alguns tipos de dispositivos de Ocultação/Protecção típicos [95].	197
<b>Quadro 4.37</b> - Condições regulamentar a satisfazer para o $D_{n,w}$ [89], para edifícios habitacionais e mistos.	200
<b>Quadro 4.38</b> - Variáveis a controlar, condições de projecto necessárias e tipo de controlo possíveis [27].	203
<b>Quadro 4.39</b> - Tipos de controlo possíveis para cada tipo de compartimento [27].	203
<b>Quadro 4.40</b> - Classes energéticas dos electrodomésticos (exemplo para uma máquina de lavar roupa).	220
<b>Quadro 4.41</b> - síntese quantitativa dos indicadores de qualidade e dos requisitos e critérios de avaliação desenvolvidos.	225
<b>Quadro 4.42</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios.	226
<b>Quadro 4.43</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.)	227
<b>Quadro 4.44</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.)	228
<b>Quadro 4.45</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.)	229
<b>Quadro 4.46</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.)	230
<b>Quadro 4.47</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.)	230
<b>Quadro 4.48</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior.	231
<b>Quadro 4.49</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior. (Cont.)	232
<b>Quadro 4.50</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior. (Cont.)	233

<b>Quadro 4.51</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. ....	233
<b>Quadro 4.52</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. (Cont.) .....	234
<b>Quadro 4.53</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. (Cont.) .....	234
<b>Quadro 4.54</b> - Quadro de apresentação dos resultados de aplicação do Método de Avaliação da Qualidade Térmica dos Edifícios desenvolvido, Nível de Qualidade Térmica. ....	234
<b>Quadro 4.55</b> - Desempenho Energético do Edifício em função do Nível de Qualidade Térmica. ....	235
<b>Quadro 5.1</b> - Caracterização Térmica do Edifício ou Fracção Autónoma, adaptado de [1]. ....	246
<b>Quadro 5.2</b> - Cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, adaptado de [1]. ....	247
<b>Quadro 5.3</b> - Cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, adaptado de [1]. (Cont.) .....	248
<b>Quadro 5.4</b> - Cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, adaptado de [1]. (Cont.) .....	249
<b>Quadro 5.5</b> - Cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, adaptado de [1]. (Cont.) .....	250
<b>Quadro 5.6</b> - Resumo da distribuição da área das paredes exteriores, da área dos vãos envidraçados, da área dos compartimentos e da massa superficial útil de acordo com a sua orientação. ....	250
<b>Quadro 5.7</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. ....	251
<b>Quadro 5.8</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	252
<b>Quadro 5.9</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	253
<b>Quadro 5.10</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	254
<b>Quadro 5.11</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	255
<b>Quadro 5.12</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	255
<b>Quadro 5.13</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior. ....	256
<b>Quadro 5.14</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior. (Cont.) .....	257

<b>Quadro 5.15</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior. (Cont.) .....	257
<b>Quadro 5.16</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. ....	258
<b>Quadro 5.17</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. (Cont.) .....	259
<b>Quadro 5.18</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. (Cont.) .....	259
<b>Quadro 5.19</b> - Quadro de apresentação dos resultados de aplicação do Método de Avaliação da Qualidade Térmica dos Edifícios desenvolvido, Nível de Qualidade Térmica. ....	260
<b>Quadro 5.20</b> - Desempenho Energético do Edifício em função do Nível de Qualidade Térmica. ....	260
<b>Quadro 5.21</b> - Representação do Perfil de Qualidade do Edifício Unifamiliar (Moradia).....	261
<b>Quadro 5.22</b> - Caracterização Térmica do Edifício ou Fracção Autónoma, adaptado de [1]. ....	267
<b>Quadro 5.23</b> - Cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, para o piso intermédio, adaptado de [1]. ....	268
<b>Quadro 5.24</b> - Cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, para o piso intermédio, adaptado de [1]. (Cont.).....	269
<b>Quadro 5.25</b> - Cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, para o piso intermédio, adaptado de [1]. (Cont.).....	270
<b>Quadro 5.26</b> - Resumo da distribuição da área das paredes exteriores, da área dos vãos envidraçados, da área dos compartimentos e da massa superficial útil de acordo com a sua orientação, para os pisos intermédios. ....	270
<b>Quadro 5.27</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Conceção Bioclimática dos Edifícios. ....	272
<b>Quadro 5.28</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Conceção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	273
<b>Quadro 5.29</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Conceção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	275
<b>Quadro 5.30</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Conceção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	275
<b>Quadro 5.31</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Conceção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	276
<b>Quadro 5.32</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Conceção Bioclimática dos Edifícios. (Cont.) .....	276

<b>Quadro 5.33</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior. ....	277
<b>Quadro 5.34</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior. (Cont.) ....	278
<b>Quadro 5.35</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Qualidade do Ambiente Interior. (Cont.) ....	278
<b>Quadro 5.36</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. ....	279
<b>Quadro 5.37</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. (Cont.) ....	280
<b>Quadro 5.38</b> - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios. (Cont.) ....	280
<b>Quadro 5.39</b> - Quadro de apresentação dos resultados de aplicação do Método de Avaliação da Qualidade Térmica dos Edifícios desenvolvido, Nível de Qualidade Térmica. ....	281
<b>Quadro 5.40</b> - Desempenho Energético do Edifício em função do Nível de Qualidade Térmica. ....	281
<b>Quadro 5.41</b> - Representação do Perfil de Qualidade do Edifício Multifamiliar. ....	282

## ÍNDICED DE FICHAS DE AVALIAÇÃO

Pág.

### AVALIAÇÃO DA CONCEPÇÃO BIOCLIMÁTICA DE EDIFÍCIOS (CBE)

CBE 1 - Exposição (Captação no Inverno e Protecção no Verão) à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento

<b>FA CBE 1.1</b> - Caracterização da Localização do Edifício .....	136
<b>FA CBE 1.2</b> - Implantação do Edifício .....	139
<b>FA CBE 1.3</b> - Ganhos Solares pelos Envidraçados .....	143
<b>FA CBE 1.4</b> - Ganhos Solares pela Envolvente Opaca .....	146
<b>FA CBE 1.5</b> - Elementos Especiais da Envolvente .....	148

CBE 2 – Armazenamento Térmico

<b>FA CBE 2.1</b> - Inércia Térmica.....	150
--	-----

CBE 3 – Conservação da Energia e Protecção do Vento

<b>FA CBE 3.1</b> - Forma do Edifício .....	153
<b>FA CBE 3.2</b> - Iluminação Natural em Edifícios .....	156
<b>FA CBE 3.3</b> - Organização Interna dos Espaços .....	161
<b>FA CBE 3.4</b> - Isolamento da Envolvente Opaca Vertical .....	165
<b>FA CBE 3.5</b> - Isolamento da Envolvente Opaca Horizontal.....	169
<b>FA CBE 3.6</b> - Isolamento das Portas e Janelas .....	172
<b>FA CBE 3.7</b> - Tratamento das Pontes Térmicas .....	176

CBE 4 – Distribuição de Calor

<b>FA CBE 4.1</b> - Trocas de Calor por Convecção.....	178
<b>FA CBE 4.2</b> - Trocas de Calor por Radiação.....	182

### AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR (QAI)

QAI 1 - Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes

<b>FA QAI 1.1</b> - Qualidade Termohigrométrica .....	186
---	-----

<b>FA QAI 1.2</b> - Qualidade do Ar .....	190
<b>FA QAI 1.3</b> - Conforto Visual .....	195
<b>FA QAI 1.4</b> - Conforto Acústico.....	199

#### QAI 1 - Sistemas de Controlo e Gestão

<b>FA QAI 2.1</b> - Sistemas de Controlo e Gestão.....	202
--	-----

### AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DOS EDIFÍCIOS (IAE)

#### IAE 1 - Eficiência Energética da Concepção do Edifício

<b>FA IAE 1.1</b> - Necessidades Anuais Globais de Energia.....	206
---	-----

#### IAE 2 - Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos

<b>FA IAE 2.1</b> - Sistemas Mecânicos de Climatização .....	208
<b>FA IAE 2.2</b> - Sistemas de Ventilação .....	210
<b>FA IAE 2.3</b> - Sistemas de Iluminação.....	212
<b>FA IAE 2.4</b> - Energias Renováveis.....	216
<b>FA IAE 2.5</b> - Equipamentos/Electrodomésticos .....	219

#### IAE 3 - Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção

<b>FA IAE 3.1</b> - Materiais de Construção.....	222
--	-----





# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Enquadramento

### 1.2. Objectivos do Trabalho

### 1.3. Estrutura do Texto

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Enquadramento

Tendo em consideração as alterações climáticas resultantes da actividade humana o esgotamento a breve prazo das reservas de petróleo, o seu preço aumenta diariamente, e o aumento crescente das exigências de conforto no interior dos edifícios, é imperativo projectar edifícios com elevada eficiência energética, isto é, conceber edifícios adaptados ao clima local e utilizando energias renováveis, salvaguardado simultaneamente a qualidade de vida dos seus ocupantes. Medidas relacionadas com a eficiência energética e com as fontes de energia renováveis são uma componente importante da acção necessária para dar cumprimento às disposições do Protocolo de Quioto, conforme previsto no Programa Europeu para as Alterações Climáticas (ECCP). As alterações físicas observadas em toda a Europa e noutras regiões do mundo realçam a necessidade de medidas urgentes.

O Livro Verde “Para uma Estratégia Europeia de Segurança e Aprovisionamento Energético” no qual se procura lançar o debate sobre o tema da segurança do aprovisionamento energético, refere *“constata-se a dependência crescente da União Europeia em relação as fontes de energia externas, a qual poderá atingir 70% dentro de 20 a 30 anos, em comparação com os actuais 50%, sublinhando portanto a necessidade de reequilibrar a política de aprovisionamento através de uma acção clara da política da procura e de uma verdadeira mudança no comportamento dos consumidores, com vista a orientar a procura para consumos mais controlados, mais eficazes e respeitadores do ambiente, em especial nos sectores dos transportes e da construção, e de dar prioridade ao desenvolvimento de fontes novas e renováveis de aprovisionamento de energia, de modo a responder ao desafio do aquecimento global”* [5].

Em 2001, o governo português optou pelo Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas) que tem os objectivos de *“...pela promoção da eficiência e da valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização na nossa sociedade, salvaguardado simultaneamente a qualidade de vida das gerações pela redução de emissões, em particular de CO<sub>2</sub>, responsável pelas alterações climáticas”* [6]. Para que estes objectivos fossem atingidos, o Programa E4 compreendia a revisão dos regulamentos existentes em Portugal sobre a matéria, nomeadamente o RCCTE e o RSECE, de modo a torná-los mais exigentes.

A Directiva Europeia 2002/91/CE sobre o “Desempenho Energético dos Edifícios” impondo aos Estados Membros a estabelecimento e actualização periódica de regulamentos para reduzir os consumos energéticos nos edifícios, refere *“o sector residencial e terciário, a maior parte do qual constituído por edifícios, absorve mais de 40% do consumo final de energia da Comunidade e encontra-se em expansão, tendência que deverá vir a acentuar o respectivo consumo de energia e, por*

*consequente, as correspondentes emissões de dióxido de carbono” e “As medidas destinadas a melhorar o desempenho energético dos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas e locais, bem como o ambiente interior e a rentabilidade económica.” [4].*

Tendo em consideração o disposto anteriormente, as medidas destinadas a melhorar o desempenho energético dos edifícios devem ser baseadas numa compreensão do clima, da geografia, da cultura e das tradições locais, combinadas com o conhecimento das melhores experiências práticas e inovações. Tais influências contextuais estão implícitas em paisagens tradicionais, nos comportamentos e nos estilos de vida, e continuam frequentemente a servir como exemplo, embora os desenvolvimentos tecnológicos possam oferecer soluções mais apelativas. O projecto e o planeamento urbano com elevada eficiência energética devem promover um ambiente que ofereça [156]:

a) **Diversidade** - permitindo a variedade e flexibilidade

- compreendendo uma mistura de tipos diferentes de edifícios, de actividades e de classes sociais e considerando a ocupação de 24 horas das áreas urbanas;
- desenvolvendo-se à volta de espaços verdes com uma diversidade da flora e da fauna;
- utilizando uma escala de fontes de energia (principalmente renováveis) que reduzem assim a dependência de um único recurso.

b) **Produtividade** - produção eficiente em circuito fechado

Num futuro próximo os sistemas instalados nos edifícios com elevada eficiência energética, tais como fotovoltaicos, recuperadores de calor, reutilização da água, o aquecimento solar, etc., dará a cada edifício ou a conjunto de edifícios o potencial de produzir a energia e água potável para o seu próprio uso e contribuir para as redes urbanas de produção de energia. Estes sistemas permitem uma utilização, recuperação e reutilização que poderiam reduzir as necessidades de produção da rede de distribuição de electricidade a procura e de fontes de água.

Com a diminuição da utilização dos recursos naturais, reutilizar e reciclar, a maior parte dos desperdícios podem ser tratados dentro dos limites da cidade e os impactos ambiental do desenvolvimento urbanos contidos.

c) **Protecção** – controlar os extremos climáticos

- bioclimático, o planeamento ecológico e o projecto podem oferecer meios para moderação climática e beneficiar as populações, a fauna e a flora em aglomerados urbanos;
- as estratégias incluem a optimização da energia solar, protecção do vento e do ruído, arrefecimento natural, gestão dos recursos hídricos e utilização da vegetação como filtros da poluição;

- os abrigos naturais (carreiras de árvores e a disposição dos edifícios) podem criar zonas de amortecedor climáticas entre utilizações diferentes do solo (espaços).

## 1.2. Objectivos do Trabalho

Pretende-se criar uma metodologia de avaliação do impacto ambiental dos edifícios durante a fase de concepção de modo a obter edifícios com elevado desempenho, isto é, elevada qualidade térmica e um consumo de energia necessário para o seu funcionamento (aquecimento, arrefecimento, aquecimento de água quente sanitária, iluminação, ventilação, etc.) reduzido, tendo como pontos principais a adaptação dos edifícios às condições climáticas locais e a garantia das condições de conforto dos ocupantes. É de referir que a abordagem global que se pretende realizar leva a que muitas questões importantes não tenham o desenvolvimento adequado.

Em Portugal ainda há poucos anos não existia uma tradição de qualidade e rigor no projecto térmico dos edifícios devido ao tradicional reduzido grau de exigência relativamente às condições de conforto no interior dos edifícios. No entanto, o crescimento económico tem vindo a provocar um aumento generalizado deste grau de exigência ao qual tem vindo a ser dada, de uma forma geral, a resposta menos racional, isto é, a instalação sistemática de equipamentos mecânicos de climatização, descorando as boas condições climáticas que o nosso país dispõe para a utilização das tecnologias "solares passivas", tanto para aquecimento, arrefecimento, aquecimento de águas sanitárias, iluminação e renovação de ar. Por exemplo, um sistema passivo de captação de energia solar é, ao contrário dos sistemas chamados "activos", aquele em que a energia térmica é captada e transmitida naturalmente por convecção, condução e radiação, sem recorrência a meios mecânicos artificiais, tais como bombas de circulação de fluidos, etc.

Projectar edifícios com Elevada Qualidade Térmica e com Eficiência Energética adaptados ao clima local, de modo a utilizarem os recursos naturais, "Concepção Bioclimática de Edifícios", garantindo conforto e bem-estar aos ocupantes, "Qualidade do Ambiente Interior", sem consumos exagerados de energia de forma a reduzir ou minimizar os custos e os impactos no meio ambiente, "Impacto Ambiental dos Edifícios".

Pretende-se com este estudo criar uma ferramenta que possa ajudar o projectista na fase de projecto, através de uma análise expedita da qualidade térmica dos edifícios, à luz das novas exigências regulamentares, nomeadamente ao nível da regulamentação europeia e do novo enquadramento legislativo nacional sobre o comportamento térmico dos edifícios, recorrendo à utilização de indicadores facilmente quantificáveis e criando uma ferramenta que possa servir, simultaneamente, aos projectistas, na sua selecção de alternativas de projecto.

O projecto de Edifícios com Elevada Qualidade Térmica e com Eficiência Energética é um processo em que as múltiplas disciplinas e aspectos aparentemente não relacionados no projecto são integradas de maneira a permitir que sejam realizados benefícios sinérgicos, a optimização do desempenho de uma estratégia depende da

existência de outra, por exemplo, o facto de termos um bom isolamento da envolvente de nada valia para o conforto térmico interior se não houver cuidado na escolha dos envidraçados, da massa dos elementos ou mesmo da localização do isolante. O objectivo é conseguir o desempenho elevado e benefícios múltiplos a um custo mais baixo do que o custo total para todos os componentes combinados. Este processo inclui frequentemente a integração de estratégias de projecto “bioclimático” com critérios de projecto convencionais como a forma, a função e o custo do edifício.

A consideração no projecto do edifício para todos os aspectos do projecto “bioclimático” para melhorar a eficiência da utilização de energia, planeando uma localização sustentável, de protecção da água, criando ambientes interiores saudáveis, e usar de preferência materiais em termos ambientais.

A chave para o sucesso do projecto com Elevada Qualidade Térmica e com Eficiência Energética é a participação de pessoas das diferentes especialidades de projecto, arquitectura geral, iluminação e projecto eléctrico, projecto de interiores, e projecto de arranjos exteriores, trabalhando juntas nos pontos chave no processo de projecto desde a fase inicial deste. Estes especialistas podem frequentemente identificar soluções altamente atractivas para projectar as necessidades que não seriam obtidas de outra maneira. Por exemplo, no projecto com Elevada Qualidade Térmica e com Eficiência Energética, o engenheiro civil ou mecânico calculará o uso da energia e os custos nas fases iniciais do projecto, informando os arquitectos das implicações do uso da energia, da orientação do edifício, da configuração, da fenestração, dos sistemas mecânicos, e das opções da iluminação.

A obtenção dos objectivos definidos deve forçar uma aproximação da equipa de projecto, e a definição das necessidades para o projecto com Elevada Qualidade Térmica e com Eficiência Energética devem claramente ser apresentadas na sua fase inicial. Por exemplo, devem estipular reuniões frequentes e um nível significativo do esforço dos arquitectos e engenheiros para avaliar as opções do projecto.

A inclusão dos aspectos energéticos desde as fases iniciais do projecto, permite que se evitem tomadas de decisões que se venham a demonstrar ineficazes ou desadequadas do ponto de vista energético e de conforto dos ocupantes.

Podemos sintetizar os objectivos do trabalho da seguinte forma:

- Estruturar uma metodologia de avaliação aplicável ao projecto de edifícios;
- Definir indicadores de qualidade, requisitos e critérios de avaliação a satisfazer, na localização e implantação dos edifícios, pelos diferentes elementos construtivos da envolvente, na distribuição interna dos espaços, as necessidades de energias e dos ocupantes, e atribuição de níveis de qualidade;
- Estruturar fichas de avaliação de apoio ao diagnóstico e estabelecer critérios de ponderação;
- Aplicar a metodologia desenvolvida a dois tipos de edifícios de habitação, para testar a sua validade, aproveitando a oportunidade para obter informações

### 1.3. Estrutura do Texto

Este trabalho de dissertação, para além desta introdução, encontra-se dividido em cinco capítulos principais.

No Capítulo 2, apresenta-se uma abordagem sobre o estado da arte, nomeadamente com a implantação da Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios. Faz-se uma revisão bibliográfica sobre a regulamentação energética em Portugal, ao nível do projecto de edifícios novos e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia, quer no Verão, quer no Inverno: RCCTE [1], RSECE [2] e SCE [3]. Faz-se também uma breve apresentação dos Métodos de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios existentes e as condicionantes de aplicação ao sector da construção. Referindo-se os métodos desenvolvidos em Portugal.

No Capítulo 3, caracteriza-se a Qualidade Térmica dos Edifícios através de três subcapítulos. Não queria deixar de referir que o tema é muito vasto, pelo que o principal objectivo foi desenvolver, sobretudo dentro de uma filosofia que parte do geral para o particular, as linhas orientadoras desta matéria. Obviamente, cada subcapítulo aqui apresentado poderia dar origem a uma dissertação de mestrado, podendo ser alvo de um estudo mais aprofundado.

O primeiro subcapítulo analisa a Concepção Bioclimática de Edifícios, desde a caracterização da localização do edifício, até à forma como se faz a distribuição de calor no seu interior, aproveitando as condições climáticas do local.

O segundo subcapítulo analisa a Qualidade do Ambiente Interior, abordando a intersecção entre o edifícios e as necessidades de conforto dos ocupantes e a qualidade do ar interior.

O terceiro subcapítulo analisa o Impacto Ambiental dos Edifícios, sendo o edifício um sistema artificial integrado num meio natural, pretende-se minimizar o impacto ambiental produzido durante as várias fases do ciclo de vida do edifício e incentivar o recurso as energias renováveis e à reciclagem dos materiais.

No Capítulo 4, desenvolve-se e estrutura-se uma metodologia de avaliação, apoiada no desenvolvimento de uma hierarquia de indicadores de qualidade, referentes a cada um dos subcapítulos analisados no Capítulo 3, através da aplicação de fichas de

avaliação e diagnóstico, explicando-se a estrutura do método, a estrutura das fichas de avaliação e diagnóstico, os procedimentos a seguir no processo de avaliação e decisão, a ponderação dos elementos de avaliação e o perfil de qualidade.

No Capítulo 5, com o objectivo de validar a metodologia de avaliação da qualidade térmica de edifícios proposta, apresenta-se a sua aplicação ao projecto de duas tipologias diferentes de edifícios de habitação, a um edifício unifamiliar e a um edifício multi-familiar, indicando as características de construção definidas nos elementos escritos e desenhados no projecto de arquitectura e no estudo do comportamento térmico (caracterização térmica do edifício) e a apresentação do respectivo Perfil de Qualidade.

No Capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões deste trabalho e apontam-se possíveis desenvolvimentos futuros.



## **CAPÍTULO II**

### **ESTADO DA ARTE**

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Introdução

### 2.2. Regulamentação Térmica de Edifícios em Portugal

### 2.3. Métodos de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios

#### 2.3.1. Tipos de métodos existentes

#### 2.3.2. Ferramentas de Suporte à Concepção de Edifícios Sustentáveis

#### 2.3.3. Sistemas de Análise do Ciclo de Vida

#### 2.3.4. Sistemas e Ferramentas de Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios

#### 2.3.5. Métodos Desenvolvidos em Portugal

##### 2.3.5.1. Introdução

##### 2.3.5.2. Método de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação

##### 2.3.5.3. Programa Habitacional

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Introdução

A implementação da Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios está na agenda de cada departamento do governo ou agência responsável pela energia na UE [4].

Entre as várias exigências, a certificação dos edifícios está em lugar de destaque: deve ser um novo serviço - na maioria dos países - para proprietários ou ocupantes de edifícios e não deve trazer-lhes somente a informação do seu desempenho energético mas também as maneiras ou as recomendações em como melhorá-lo. Assim contribuirá para uma redução das emissões de gases com efeito estufa devido ao consumo de energia. Acima de tudo, deve ser aplicável às construções novas e aos edifícios existentes.

O sector da construção é o responsável pelo consumo de 50% dos recursos materiais retirados da natureza e pela produção de 50% dos resíduos. Cerca de 40% do consumo de energia na Europa está relacionado com os gastos em edifícios. Com o objectivo de minimizar estes desperdícios, o sector da construção tem evoluído no sentido de adoptar e favorecer medidas que minimizem os seus gastos energéticos e os impactos ambientais no meio ambiente de forma a promover um desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade na construção passa por quatro medidas essenciais:

- melhoria dos projectos em termos de eficiência energética, minimizando as suas necessidades em iluminação, ventilação e climatização artificiais;
- substituição do consumo de energia convencional por energia renovável, não poluente e gratuita;
- utilização de materiais locais, preferencialmente materiais de fontes renováveis ou com possibilidade de reutilização e que minimizem o impacto ambiental (extração, gasto de energia, consumo de água na sua extração, aspectos de saúde, emissões poluentes, etc.);
- reabilitação de edifícios, tendo em consideração o estado de degradação que a generalidade dos edifícios apresenta.

### 2.2. Regulamentação Térmica de Edifícios em Portugal

Em 1990 surgiu o primeiro documento normativo nacional no âmbito da térmica de edifícios, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei 40/90 de 6 de Fevereiro, em resposta à necessidade de existir um instrumento legal que regulamentasse as condições térmicas do parque construído, *“ao nível do projecto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia,*

*quer de Inverno, quer de Verão*”, melhores condições de salubridade, de higiene e de conforto nos edifícios em geral e na habitação em particular, bem como a qualidade de construção em geral. Este documento visava fundamentalmente impor uma melhoria na qualidade térmica da envolvente dos edifícios, no sentido da melhoria das condições de conforto sem acréscimo dos consumos de energia e minimizar as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas.

Este regulamento já incentivava os promotores, engenheiros, arquitectos e utilizadores finais a aplicar o conceito de Edifícios Solares Passivos, fazendo o maior aproveitamento possível das condições climáticas do local. Com este conceito, tenta-se melhorar o comportamento térmico dos edifícios durante a estação de aquecimento (Inverno) e de arrefecimento (Verão), através da introdução de uma série de condicionantes nas envolventes dos edifícios e com isso melhorar o conforto térmico com necessidades energéticas menores. Assim, para que os edifícios tivessem melhor comportamento durante o Inverno:

- restrição de perdas de calor por condução através de envolventes opacas (de paredes, coberturas, pavimentos) e transparente (envidraçados) exteriores e interiores, através da introdução de isolamento térmico nas envolventes opacas e de vidros duplos nos vãos envidraçados;
- promoção de ganhos solares através da orientação dos envidraçados do quadrante Sul e protegidos durante a noite por estores ou outros dispositivos equivalentes que diminuíssem as perdas através destes, durante o período nocturno.

Durante o Verão, as preocupações ao nível da captação de energia solar são exactamente opostas, pretendendo-se:

- restrição dos ganhos de calor por condução/radiação através da envolvente opaca e transparente, sendo este objectivo conseguido pela utilização de elementos de sombreamento nos envidraçados, principalmente nos orientados a Sul;
- utilizar a ventilação natural como forma de remover a carga térmica interior, sempre que conveniente.

Segundo o mesmo regulamento a utilização de massa térmica pesada contribui sempre para um melhoramento da eficiência energética dos edifícios. Porém, em certos casos a falta dela pode ser menos gravosa que noutros.

Em 1998, entra em vigor outro regulamento no contexto do consumo energético dos edifícios, intitulado Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios (RSECE), Decreto-Lei 118/98 de 7 de Maio. Este regulamento destina-se a edifícios onde havia consumos significativos de energia para climatização (aquecimento e/ou arrefecimento). Como grande parte da energia consumida pelos edifícios se verifica principalmente nos grandes edifícios de serviços, este destinava-se sobretudo a este tipo de edifícios. No entanto, aplicava-se também a todos os edifícios residenciais que apresentavam sistemas de condicionamento da temperatura interior com potência instalada superior a 25 kW. Este regulamento tinha como objectivo disciplinar a dimensão dos sistemas de climatização instalados, para evitar os sobredimensionamentos e com isto diminuir os consumos energéticos

correspondentes e evitar investimentos desnecessários. Este regulamento impunha também, na mesma linha de orientação, um conjunto de medidas de racionalização dos consumos como, por exemplo, a recuperação de calor, o arrefecimento gratuito “*free cooling*”, os sistemas de gestão de energia, os fraccionamentos da potência nos equipamentos produtores de frio e de calor e respectivas eficiências mínimas, as práticas de boa manutenção e a responsabilização dos projectistas e dos instaladores, entre outras.

Estes regulamentos, apesar de serem considerados pela maioria dos intervenientes da construção bastante moderados, em termos exigenciais, o que é natural por terem sido as primeiras intervenções a este nível no sector da construção, foram assimilados e tiveram um impacto significativo na forma de construir em Portugal, tendo-se assinalado, na última década, um salto qualitativo positivo nos edifícios. Hoje, contrariamente à realidade existente antes da publicação do RCCTE, a maioria dos edifícios apresenta isolamento térmico da envolvente e o vidro duplo é agora norma nas construções de boa qualidade. Apesar do RSECE não ter sido tão bem sucedido como o RCCTE, uma vez que se verificou uma certa indiferença por parte das entidades licenciadoras e lançou a aplicação do regulamento para a responsabilidade dos projectistas, instaladores e fornecedores dos equipamentos, o RSECE conseguiu mesmo assim limitar os galopantes consumos ao nível da climatização, principalmente nos edifícios de serviços. O comportamento térmico passou a ser encarado como um aspecto diferenciador de qualidade que, indo ao encontro das exigências dos seus utilizadores, acabou por potenciar a procura de edifícios que integram preocupações a este nível [7].

O aumento significativo da instalação de sistemas de climatização verificado na última década, como resposta à melhoria do nível de vida das populações e do seu maior grau de exigência em termos de conforto provocou um aumento dos consumos energéticos no sector dos edifícios de cerca de 12% ao ano. Foi necessário proceder à revisão destes dois regulamentos (RCCTE e RSECE) e à implementação de um sistema de certificação energética de modo a aumentar o nível de exigência e melhorar o desempenho energético de referência para os edifícios novos, bem como para os edifícios a reabilitar e informar os utilizadores sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos.

Nesta óptica e dando seguimento à Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (2002/91/CE) que impondo aos Estados Membros a estabelecimento e actualização periódica de regulamentos para reduzir os consumos energéticos nos edifícios, foi publicado em 4 de Abril de 2006 o novo enquadramento legislativo desta matéria: o novo RCCTE (Decreto-Lei 80/2006), o novo RSECE (Decreto-Lei 79/2006) e a criação do SCE (Decreto-Lei 78/2006). As alterações de base relativamente aos regulamentos anteriores são:

- aumentar as exigências de qualidade;
- exigir qualificações específicas para quem aplica os regulamentos e para quem verifica a sua aplicação;

- dar estrutura estável aos regulamentos, com objectivos actualizáveis de forma periódica pelos Ministérios que tutelam o sector;
- implementação da certificação energética dos edifícios.

O novo RCCTE entrou em vigor no dia 3 de Julho de 2006 e aplica-se a edifícios de habitação e pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados. Este regulamento tem uma estrutura semelhante ao anterior, havendo apenas alterações ao nível das exigências, de modo a promover uma maior eficiência energética e utilização dos recursos endógenos e consequentemente os edifícios solares passivos e alterações ao nível da metodologia de cálculo, através de:

- actualização das características térmicas de referência para a envolvente dos edifícios, com base nos critérios de viabilidade económica indicados na Directiva Europeia para a Eficiência Energética dos Edifícios, que apontam para a adopção de todas as medidas de conservação de energia com períodos de recuperação do investimento de oito anos ou inferior;
- aumento das exigências de qualidade para o dobro, na generalidade, as espessuras de isolamento nos elementos da envolvente exterior (paredes, coberturas e pavimentos), o que se traduz na melhoria de 50% dos coeficientes de transmissão térmica, relativamente aos exigidos no regulamento anterior, adopção de vidro duplos, pelo menos nos climas mais frios e nas orientações sem ganhos solares significativos;
- consideração de ventilação permanente com um caudal mínimo de ar que garanta uma taxa de renovação mínima;
- consideração da forma dos edifícios no cálculo das necessidades de energia para o aquecimento. Através da introdução de um factor relacionado com a forma dos edifícios, pretende-se que nos edifícios com envoltentes demasiado recortadas a equipa de projecto seja forçada a adoptar um maior nível de isolamento, para não se exceder o limite regulamentar das necessidades nominais de energia para o aquecimento;
- contabilização da contribuição de sistemas solares passivos (para além dos vãos envidraçados) e de sistemas de aquecimento de água sanitária (em favorecimento da água quente produzida por sistemas de colectores solares);
- obrigatoriedade de se instalarem sistemas de colectores solares térmicos para o aquecimento de água sanitária sempre que o edifício apresente uma exposição adequada;
- novos procedimentos de cálculo das perdas pelas pontes térmicas. As zonas de pontes térmicas são abordadas de uma forma mais detalhada de modo a se determinar com maior rigor as trocas de energia que se verificam nessas zonas;
- aumento do grau de exigência de formação profissional dos técnicos intervenientes.

Estas alterações permitirão uma redução significativa dos consumos energéticos no sector residencial e dos pequenos edifícios de serviços a licenciar, sejam estes edifícios novos, isto é, a construir, ou edifícios já existentes que sofram obras de

reabilitação cujo custo seja superior ou igual a 25% do valor dos edifícios construídos de novo.

O novo RSECE também entrou em vigor no dia 3 de Julho de 2006 e aplica-se a edifícios de serviços (novos e existentes) e a edifícios de habitação com sistema de climatização com potência instalada superior a 25 kW.

Com a revisão do RSECE, pretendeu-se que este regulamento não se limitasse apenas a potência máxima dos sistemas de climatização, mas todos os consumos reais efectivos dos edifícios que dispõem deste tipo de sistemas, como única forma efectiva de controlar e reduzir os consumos de energia. Assim, para além da contabilização da energia consumida pelos sistemas de climatização, passará a ser contabilizada a energia consumida para outros fins, nomeadamente, a iluminação, os equipamentos, etc..

O novo RSECE passa a actuar em duas fases distintas: na fase de projecto e na fase de funcionamento normal do edifício.

Na fase de projecto, o novo RSECE deverá garantir três objectivos fundamentais:

- o dimensionamento correcto das instalações de climatização, semelhante ao processo contemplado pelo anterior RSECE, mas com as alterações que contemplam as recentes normas europeias sobre o consumo;
- a concepção correcta dos sistemas primários fornecedores de energia e opções de utilização racional de energia, avaliando a viabilidade económica de sistemas menos convencionais do tipo cogeração ou micro-cogeração, captações de energias renováveis, redes urbanas de distribuição de calor e/ou frio, para além dos sistemas já previstos pelo antigo RSECE como a recuperação de calor, arrefecimento gratuito, gestão centralizada, repartição de potência, entre outros;
- a estimativa dos consumos energéticos do edifício, obtida por metodologias simplificadas, que permitam obter uma ordem de grandeza do seu consumo global sob condições nominais previsíveis de utilização.

Como existem factores que influenciam significativamente o consumo do edifício, para além dos previstos e controláveis na fase de projecto do edifício, nomeadamente a influência dos próprios ocupantes, os hábitos de manutenção dos sistemas, etc., a regulamentação passou a incidir também na fase de funcionamento normal do edifício após a conclusão da construção. Só deste modo se conseguirá conhecer o consumo efectivo dos edifícios, que será a base das tomadas de decisão que terão como objectivo o controlo do consumo, para que este não ultrapasse valores que sejam considerados excessivos. O RSECE passou a actuar nesta fase através da introdução de um sistema de auditorias energéticas periódicas obrigatórias, tal como previsto na Directiva Europeia, acima de um valor limite da área útil de pavimento, para a emissão/renovação dos Certificados Energéticos.

Para que estes objectivos sejam realmente alcançados preconiza-se uma série de medidas, destacando-se a necessidade de apresentação do Certificado Energético no final da construção de edifícios novos ou reabilitações importantes.

Os objectivos principais do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) são:

- assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e RSECE;
- certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior;
- identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

A certificação energética dos edifícios é uma das obrigações que foram impostas a Portugal pela Directiva Europeia sobre Eficiência Energética e apresenta os seguintes objectivos específicos:

- informar o utente, potencial proprietário ou locatário de um edifício ou fracção autónoma, sobre as características térmicas do produto/imóvel que lhe é oferecido, as quais irão influenciar necessariamente os custos de funcionamento de sistemas para a manutenção de um ambiente interior mais confortável;
- permitir seleccionar entre várias opções disponíveis e decidir na posse de todas variáveis e informações relevantes;
- informar o consumidor sobre potenciais medidas que melhorem o desempenho energético do edifício e a respectiva viabilidade económica.
- informar e sensibilizar os utentes dos edifícios públicos, de maior dimensão, sobre o desempenho energético do edifício, com o objectivo de promover a sua reabilitação energética sempre que necessário;
- permitir aos diversos decisores nesta área, a recolha de informações objectivas actualizadas sobre o desempenho do parque construído, de modo a que sejam tomadas as medidas necessárias para o aumento da eficiência global do sector.

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) é gerido pela ADENE (Agência para a Energia – [www.adene.pt](http://www.adene.pt)). Os Certificados Energéticos para Edifícios apresentam um aspecto gráfico semelhante ao das Etiquetas Energéticas para electrodomésticos, com as quais os consumidores, na sua maioria, já se encontram familiarizados. Os Certificados Energéticos serão elaborados por peritos qualificados e deverão indicar os valores expectáveis do consumo energético e das emissões de CO<sub>2</sub> correspondentes e propondo medidas de melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior, referindo a redução anual da factura energética o custo estimado de investimento e o período de retorno do investimento, intervindo nomeadamente sobre:

- paredes, coberturas e pavimentos;
- vãos envidraçados;
- climatização;



- preparação de águas quentes sanitárias;
- sistemas de aproveitamento de energias renováveis;
- ventilação.

A portaria nº461/2007 de 13 de Março estabelece a calendarização para a aplicação do Sistema de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior (SCE) aos edifícios segundo a sua tipologia, finalidade e área útil.

Os novos regulamentos, tal como os anteriores, apesar de estabelecerem requisitos mínimos de qualidade, exigindo o cumprimento das necessidades nominais de energia para a climatização no caso de RCCTE ou da potência máxima a instalar no caso de RSECE, deixam grande liberdade aos projectistas para utilizarem as soluções técnicas que pretendem, pois não são de carácter prescritivo ao nível das soluções técnicas, dando liberdade à criatividade dos intervenientes neste sector, favorecendo, por conseguinte, a inovação, como é desejável.

## 2.3. Métodos de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios

### 2.3.1. Tipos de métodos existentes

A qualidade ambiental dos projectos de edifícios é cada vez mais uma exigência da sustentabilidade do sector da construção. Este reúne uma série de parâmetros que se enquadram nas diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável. A utilização de metodologias que avaliassem a sustentabilidade através da análise do desempenho das soluções construtivas ao nível de todos esses parâmetros constituiria um processo moroso que desencorajaria a utilização dessas metodologias, o que colocaria em causa a prossecução dos seus objectivos. Deste modo, as metodologias existentes abordam a sustentabilidade de uma forma holística, baseando a avaliação da sustentabilidade numa série de indicadores de qualidade e requisitos que se considera a mais representativa para os objectivos da avaliação. Um indicador de qualidade permite avaliar o comportamento de uma solução face a um ou mais objectivos do desenvolvimento sustentável e um requisito é uma propriedade mensurável ou observável que fornece informação acerca de um fenómeno, ambiente ou área.

A avaliação da sustentabilidade dos edifícios reúne algumas limitações específicas ao sector da construção e outras comuns à avaliação da sustentabilidade doutros processos construtivos, destacando-se, entre outras:

- **Especificidade do sector da construção:** a indústria da construção é multidisciplinar, com imensos intervenientes nas diversas fases do ciclo de vida; o processo de produção e o produto final são sempre diferentes; a durabilidade é muito variável e o desempenho dos edifícios é muito dependente dos seus utilizadores;
- **Variabilidade do peso de cada indicador e parâmetro na avaliação da sustentabilidade dos edifícios:** o peso varia em função das assimetrias ao nível

do clima, do contexto político, tecnológico, cultural, social e económico existente entre países e mesmo dentro de cada país;

- **Avaliação de diferentes tipos de parâmetros:** a avaliação assenta em diversos tipos de parâmetros, uns quantitativos e outros qualitativos, que nem sempre estão correlacionados entre si e que não se expressam na mesma grandeza (estética vs coeficiente de transmissão térmica superficial);
- **Falta de consenso ao nível dos indicadores, parâmetros e respectivas ponderações na avaliação:** existem vários tipos de metodologias que consideram diferentes indicadores, parâmetros e respectivos pesos na avaliação, o que torna difícil a comparação de resultados e a própria interpretação dos mesmos [7] e [8].

Atendendo às limitações anteriormente citadas não existe actualmente uma metodologia que seja internacionalmente aceite e na panóplia de metodologias que existe a maior parte tem carácter nacional ou regional [8].

Devido à importância do sector dos edifícios, é ao nível da avaliação da sustentabilidade dos edifícios que tem incidido a maior parte da investigação que se tem realizado neste domínio. Os diferentes métodos de avaliação da sustentabilidade de edifícios encontram-se orientados para diferentes escalas de análise: material de construção, produto de construção, elemento de construção, zona independente, edifício e local de implantação. Analisando o objectivo das diferentes metodologias e ferramentas existentes é possível distinguir três tipos diferentes:

- **Ferramentas de suporte à concepção** de edifícios sustentáveis (*Performance Based Design*);
- **Sistemas de análise do ciclo de vida** (*Life Cycle Assessment – LCA*) dos produtos e materiais de construção;
- **Sistemas e ferramentas de avaliação da sustentabilidade de edifícios.**

### 2.3.2. Ferramentas de Suporte à Concepção de Edifícios Sustentáveis

As ferramentas de suporte à concepção de edifícios sustentáveis são aplicadas às fases de anteprojecto e projecto dos edifícios, apoiando os diversos decisores na definição do desempenho pretendido para o edifício. Desta forma os decisores, nomeadamente o coordenador da equipa de projecto, descrevem as propriedades pretendidas para a solução final de projecto através de uma hierarquia de requisitos e níveis de desempenho preestabelecidos que, a serem respeitados pela equipa de projecto, se traduzem no desenvolvimento de um edifício mais sustentável [4] e [7].

A pesquisa e o desenvolvimento dos últimos anos revelaram conhecimentos valiosos no campo da eficiência energética dos edifícios, qualidade do ambiente interior e física das construções, e muitas ferramentas de cálculo e de projecto foram desenvolvidas. Entretanto, a maioria destas foi criada dentro do contexto da pesquisa ou de programas educacionais com a finalidade de trocar o conhecimento e a informação entre cientistas e engenheiros e não para ajudar os projectistas com os seus problemas de projecto.

As ferramentas de suporte à concepção de edifícios sustentáveis, que tratam da eficiência de energia e da qualidade interior dos edifícios podem ser classificadas em duas categorias principais [9]:

- Ferramentas Computacionais Globais;
- Ferramentas Computacionais Específicas.

As **Ferramentas Computacionais Específicas**, fornecem algoritmos para auxiliar o cálculo do desempenho térmico de componentes específicos do edifício na fase de projecto (pontes térmicas), de uma estratégia específica (ventilação natural) ou de uma parte do ambiente do edifício (efeito da ventilação cruzada). Estas ferramentas ajudam os cientistas e os projectistas a compreender e a avaliar o desempenho dos sistemas e das técnicas sob diferentes condições e a investigar os parâmetros específicos do ambiente dos edifícios. Estas ferramentas não permitem a combinação dos algoritmos específicos entre si apenas descrevem o desempenho térmico global do edifício e não realçam o impacto do componente específico ou da técnica no desempenho global do edifício.

As **Ferramentas Computacionais Globais**, ajudam a integrar todos os algoritmos necessários com o objectivo de fornecer uma avaliação do desempenho global da energia e das características da qualidade do ar no interior do edifício. Estas ferramentas são baseadas em métodos detalhados de simulação ou em métodos simplificados.

A utilização de ferramentas, simplificadas ou mais sofisticadas, por utilizadores sem conhecimento da física das construções pode ser um grave problema. A interpretação correcta dos resultados requer uma compreensão das soluções adoptadas nos cálculos, e do impacto das alterações possíveis. O uso de uma ferramenta deve fornecer ao utilizador a informação do desempenho dinâmico e a resposta do edifício às condições exteriores e não apenas um conjunto de números que representam um conjunto de dados de entrada “*inputs*”. Os utilizadores devem estar cientes que o resultado das simulações depende dos dados introduzidos e das condições iniciais e que uma pequena alteração das circunstâncias pode dar resultados substancialmente diferentes.

Finalmente, é muito importante que os projectistas tenham consciência na natureza aleatória como alguns parâmetros de *inputs*, tais como a velocidade e a direcção do vento, luz do dia, a radiação solar, etc., de forma que os resultados baseados em valores médios podem não ser apropriados para os objectivos do projecto. As ferramentas podem descrever fenómenos físicos com vários níveis de sucesso; entretanto, é a sua correcta utilização que determina o grau com que contribuem para um projecto eficiente do edifício.

### 2.3.3. Sistemas de Análise do Ciclo de Vida

Os sistemas de análise do ciclo de vida (LCA) aplicam-se às fases de projecto e anteprojecto e os primeiros sistemas desenvolvidos encontram-se orientados para a avaliação do impacto ambiental de materiais e produtos, não só da indústria da construção, como também de outras indústrias. Actualmente, os sistemas LCA incluem o desempenho económico na avaliação. A avaliação do desempenho económico é um factor importante no sucesso de qualquer edifício que se pretenda sustentável. Por

avaliarem os impactes ambientais directa e indirectamente associados à totalidade do ciclo de vida dos materiais e produtos, que vai desde a sua extracção até à sua devolução ao meio ambiente, estes sistemas fornecem dados importantes para a avaliação da sustentabilidade. Exemplos deste tipo de sistemas são: o Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES), desenvolvido nos Estados Unidos e o LCA in Sustainable Architecture (LISA), desenvolvido no Reino Unido.

#### 2.3.4. Sistemas e Ferramentas de Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios

Os sistemas e ferramentas de avaliação da sustentabilidade de edifícios têm como objectivo garantir a sustentabilidade dos edifícios durante a totalidade do seu ciclo de vida (projecto, construção, manutenção, demolição), promovendo e tornando possível uma melhor integração entre os parâmetros ambientais, sociais, funcionais, económicos e outros critérios convencionais. Existem métodos específicos para cada tipologia de edifícios e para cada fase do ciclo de vida do mesmo.

Estes sistemas e ferramentas podem também ser utilizados como elementos de suporte à concepção de edifícios sustentáveis, pois eles traduzem a sustentabilidade em determinados objectivos por requisitos na avaliação do desempenho global. Apesar de existirem diferentes abordagens em diferentes sistemas de avaliação da sustentabilidade de edifícios, no entanto, existem certos pontos em comum nessas abordagens. Em geral, estes sistemas e ferramentas analisam de uma maneira ou de outra as mesmas categorias de projecto e de desempenho: local de implantação, água, energia e qualidade do ambiente interior.

A maior parte dos sistemas de avaliação e da sustentabilidade de edifícios são baseados nos regulamentos e legislação local, em soluções construtivas convencionalmente utilizadas no local e o peso de cada parâmetro e indicador na avaliação é adoptado de acordo com as realidades sócio-culturais, ambiental e económica do local. Deste modo, a maior parte deles só pode ter reflexo às escalas local e regional. No entanto, existem alguns exemplos de métodos que podem ser utilizados à escala global. Este tipo de métodos está sobretudo orientado para utilização nos meios académicos, pois as bases de dados com requisitos de referência associados a determinado local e para um determinado tipo de utilização têm de ser desenvolvidos durante a avaliação, o que se traduz num processo moroso e oneroso.

Existem actualmente três tipos de sistemas de avaliação da sustentabilidade de edifícios que constituem a base de outras abordagens utilizadas internacionalmente: *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), desenvolvido no Reino Unido [10]; *Leadership in Energy and Environmental Method* (LEED), desenvolvido nos Estados Unidos [11]; *Green Building Challenge Framework* (GBTool), desenvolvido pelo trabalho de equipas pertencentes a 20 países [12].

Em sistemas como BREEAM e o LEED a avaliação é baseada numa *checklist* de projecto que reúne uma série de pré-requisitos e pontuações associadas a determinadas metas de projecto e desempenho. Uma das condições para se obter o reconhecimento é o cumprimento de todos os pré-requisitos. Quando o edifício cumpre

ou excede o desempenho pretendido para cada parâmetro, um ou mais “pontos” podem ser obtidos. O somatório de todos os pontos determina o desempenho global do edifício.

No GBTool a avaliação é realizada através da comparação do desempenho de um edifício ao nível de cada parâmetro com casos de referência. Neste sistema, os casos de referência para cada parâmetro têm de ser desenvolvidos para cada tipo de edifícios, o que consome muito tempo e recursos. O peso relativo de cada parâmetro e indicador na avaliação do desempenho global pode ser ajustado, em função das condicionantes locais. No quadro 2.1, encontram-se resumidas as áreas de verificação consideradas nos sistemas mais conhecidos de avaliação e reconhecimento da sustentabilidade de edifícios de habitação as diferenças entre eles.

**Quadro 2.1** - Principais áreas de verificação nos sistemas mais conhecidos de avaliação e reconhecimento da sustentabilidade de edifícios de habitação [10], [11] e [12].

	Sistemas de avaliação		
	LEED-H	BREEAM - ECOHOMES	GBTool
	1. Energia e atmosfera. 2. Materiais outros recursos. 3. Utilização sustentável do solo. 4. Qualidade do ar interior. 5. Utilização eficiente da água. 6. Localização. 7. Inovação e desenho. 8. Formação dos utilizadores.	1. Energia. 2. Transportes. 3. Poluição. 4. Impacte dos materiais. 5. Utilização eficiente da água. 6. Utilização do solo e ecologia. 7. Saúde e bem-estar. 8. Coordenação.	1. Selecção do local. 2. Consumo de energia e materiais. 3. Impactes ambientais. 4. Qualidade do ar interior. 5. Qualidade do serviço. 6. Desempenho a longo prazo. 7. Gestão de operações. 8. Aspectos sociais e económicos.

### 2.3.5. Métodos Desenvolvidos em Portugal

#### 2.3.5.1. Introdução

Os sistemas existentes de avaliação da sustentabilidade de edifícios encontram-se sobretudo orientados para a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios, numa perspectiva global, a aplicação destes sistemas de avaliação pressupõe a utilização de soluções construtivas que constam nas suas bases de dados ou o conhecimento prévio das características de cada solução, pelo que a sua aplicação em Portugal ou em países que não o de origem, nem sempre é possível devido à especificidade das soluções construtivas.

Para ajudar os projectistas a darem cumprimento às disposições regulamentares e das normas práticas de bem projectar, em vigor a quando da sua elaboração, em Portugal,

foram desenvolvidos dois métodos para avaliar a qualidade dos edifícios, com objectivos de âmbitos diversos:

- Métodos de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação [13];
- Programa Habitacional - Definição e Avaliação da Qualidade Arquitectónica Habitacional [15].

#### 2.3.5.2. Método de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação

O método de avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação proposto pelo Moreira da Costa [13], a partir de uma estrutura em árvore definindo uma Hierarquia de Objectivos, quadros 2.2, partindo do geral para o particular, estabelece Critérios de Avaliação das soluções de projecto associadas aos diversos objectivos estabelecidos, critérios baseados em parâmetros obtidos directamente a partir das peças escritas e desenhadas dos diversos projectos de especialidade. É apresentada uma Ponderação para os vários níveis da Hierarquia de Objectivos, permitindo deste modo, a obtenção de níveis de qualidade parcelares e globais para o projecto e possibilitando a comparação entre soluções de projecto diversas.

**Quadro 2.2** - Representação da classificação de exigências de qualidade definidas no Método de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação.

Objectivos Principal	Complexo de Objectivos	Objectivos Superiores
QUALIDADE DA HABITAÇÃO	Eficiência de Aspectos Construtivos	Segurança Estrutural
		Segurança Contra Incêndio
		Conforto Ambiental
		Durabilidade de Materiais Não-Estruturais
		Eficiência e Manutenção de Instalações
	Eficiência da Utilização dos Espaços	Concepção Espacial de Zonas Privativas
		Utilização de Zonas Comuns do Edifício

O terceiro Objectivo Superior a ser analisado no método de avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação proposto pelo Moreira da Costa [13] corresponde ao que se designou por *Conforto Ambiental*, quadro 2.3. Em que são focadas as situações que condicionam de forma decisiva a qualidade do ambiente interior do edifício, envolvendo a sua componente térmica, acústica, de iluminação e ventilação.

Como referiu o autor, e infelizmente continua a verificar-se, “*é neste domínio que se constata um elevado número de reclamações sobre o desempenho das habitações correntes,..., em especial no campo do Conforto Térmico, as transformações climáticas das últimas duas décadas levaram a colocar em causa a tradicional definição de Portugal como país Temperado (com a consequente menor preocupação sobre esta problemática), já que as estações de Inverno e de Verão passaram a apresentar características termo-higrométricas mais extremas sendo separadas por uma Primavera e Outono muitas vezes de forma apenas natural.*”

**Quadro 2.3** - Subdivisão do Objectivo Superior Conforto Ambiental

Objectivo Parcial	Objectivo Critério	Critério de Avaliação
CONFORTO TÉRMICO	Conforto Térmico de Inverno	Consumo energético
		Contribuição de ganhos solares
		Pontes Térmicas
		Permeabilidade de portas e zonas envidraçadas
	Conforto Térmico de Verão	Consumo energético
		Ganhos Solares
	Inércia Térmica	Distribuição da massa da envolvente opaca vertical
CONFORTO ACÚSTICO	Isolamento em relação a ruídos exteriores	Paredes
		Cobertura
	Isolamento em relação a ruídos interiores	Espaços de habitações diferentes
		Espaços da mesma habitação
		Habitação e zonas de circulação comuns
		Habitação e locais com actividades ruidosas
		Habitação e instalações comuns
ILUMINAÇÃO E VENTILAÇÃO NATURAL	Zonas envidraçadas	Janelas nas zonas de estar
		Janelas na cozinha
		Janelas nas instalações sanitárias
	Tomadas de ar	Tomadas de ar nas fachadas
ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	Localização de pontos de ligação	Localização dos pontos de luz
		Localização de tomadas de corrente

### 2.3.5.3. Programa Habitacional

O Programa Habitacional, proposto por João Costa Branco Pedro [15] tem por objectivo definir as exigências de qualidade arquitectónica aplicáveis na concepção, análise e avaliação de habitações, edifícios e áreas residenciais, ajustado à situação portuguesa contemporânea. As exigências da qualidade arquitectónica habitacional definidas são o *Conforto ambiental*, a *Segurança*, a *Adequação espacio-funcional*, a *Articulação*, a *Personalização* e a *Economia*.

O campo de aplicação são os empreendimentos de habitação cujo nível de qualidade se situa entre a Habitação a Custo Controlado e a habitação de promoção livre de nível médio.

O programa Habitacional é composto por quatro partes que correspondem aos níveis físicos da **vizinhança próxima**, do **edifício**, da **habitação**, e dos **espaços e compartimentos**. Cada um destes níveis físicos está organizado segundo uma estrutura idêntica, que é composta por dados de programa, exigências de qualidade e modelos.

As exigências de qualidade do Programa Habitacional são definidas segundo três níveis de qualidade, o *nível mínimo*, o *nível recomendado* e o *nível óptimo*.

Relativamente às exigências que estão assinaladas com (\*) no quadro 2.4 o autor salienta que o estudo aprofundado destas é extenso e complexo, constituído matéria das respectivas especialidades. No entanto, refere que as soluções arquitectónicas podem influenciar significativamente a satisfação destas exigências pelos que foram também abordadas, mas apenas na perspectiva da Arquitectura.

O Método de Avaliação da qualidade arquitectónica habitacional tem por objectivo avaliar o grau de adequação das características da habitação e da sua envolvente às necessidades imediatas e previsíveis dos moradores, contabilizando as necessidades individuais com as da sociedade, e incentivando a introdução ponderada de inovações que conduzam ao desenvolvimento. Quanto ao tipo de avaliação foram considerados os seguintes objectivos:

- realizar avaliações independentes;
- realizar avaliações em termos absolutos;
- realizar avaliações globais ou parciais.

**Quadro 2.4** - Representação da classificação de exigências de qualidade definidas no Programa Habitacional.

<b>Exigências de habitabilidade</b>	Conforto ambiental (*)	Conforto acústico
		Conforto visual
		Qualidade do ar
		Conforto higrotérmico
<b>Exigências de segurança</b>	Segurança (*)	Segurança contra incêndios
		Segurança no uso normal
		Segurança contra intrusão
		Segurança viária
		Segurança contra a agressão/roubo
<b>Exigências de uso</b>	Adequação espacio-funcional	Espaciosidade
		Capacidade
		Funcionalidade
	Articulação	Privacidade
		Acessibilidade
	Personalização	Privacidade
		Adaptabilidade
<b>Exigência de economia</b>	Economia (*)	Economia



## **CAPÍTULO III**

### **QUALIDADE TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS**

### 3. QUALIDADE TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS

#### 3.1. Concepção Bioclimática de Edifícios

##### 3.1.1. Introdução

###### 3.1.1.1. Conceito de Envolvente do Edifício

###### 3.1.1.2. As exigências a Satisfazer pela Envolvente dos Edifícios

###### 3.1.1.3. Princípios de Concepção

##### 3.1.2. Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento

###### 3.1.2.1. Caracterização da Localização do Edifício

###### 3.1.2.1.1. Caracterização do Clima

###### 3.1.2.1.2. Caracterização do Espaço Urbano

###### 3.1.2.1.3. Caracterização do Lote

###### 3.1.2.2. Implantação do Edifício

###### 3.1.2.2.1. Orientação do Edifício

###### 3.1.2.2.2. Sombreamento

###### 3.1.2.2.3. Protecção da Radiação Solar no Verão

###### 3.1.2.2.4. Protecção contra o Vento

###### 3.1.2.3. Ganhos Solares pelos Envidraçados

###### 3.1.2.3.1. Orientação e Inclinação dos Vãos Envidraçados

###### 3.1.2.3.2. Razão entre a Área de Envidraçado e a Área do Compartmento

###### 3.1.2.3.3. Características dos Vãos Envidraçados em Relação à Radiação Solar

###### 3.1.2.4. Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior

###### 3.1.2.5. Elementos Especiais da Envolvente

###### 3.1.2.5.1. Parede de Trombe

###### 3.1.2.5.2. Paredes de Água

###### 3.1.2.5.3. Coberturas de Água

###### 3.1.2.5.4. Estufas

##### 3.1.3. Armazenamento Térmico

###### 3.1.3.1. Conceito de Inércia Térmica e sua Avaliação

###### 3.1.3.2. Quantificação da Inércia Térmica Interior ( $It$ )

###### 3.1.3.3. A Inércia Térmica e os Compartimentos Orientados no Quadrante Sul

- 3.1.3.4. A Inércia Térmica e a Ventilação
- 3.1.3.5. Elementos Especiais para Armazenamento
- 3.1.3.6. A Inércia Térmica e a Reabilitação
- 3.1.4. Conservação da Energia
  - 3.1.4.1. Forma do Edifício
    - 3.1.4.1.1. Forma do Edifício e a Conservação de Energia
    - 3.1.4.1.2. Forma do Edifício e a Exposição ao Vento
    - 3.1.4.1.3. Espaços Tampão
    - 3.1.4.1.4. Formas Irregulares
  - 3.1.4.2. Iluminação Natural nos Edifícios
  - 3.1.4.3. Organização Interna dos Espaços
    - 3.1.4.3.1. Distribuição da Área Útil de Pavimento
    - 3.1.4.3.2. Zonamento Térmico e a Troca de Calor na Vertical e na Horizontal
  - 3.1.4.4. Concepção da Envolvente Opaca do Edifício
    - 3.1.4.4.1. Isolamento da Envolvente Opaca do Edifício
    - 3.1.4.4.2. Soluções Construtivas Inovativas da Envolvente dos Edifícios
  - 3.1.4.5. Concepção das Portas e Janelas
    - 3.1.4.5.1. Transmissão de Calor Através das Portas e Janelas
    - 3.1.4.5.2. A selecção da Caixilharia Exterior em Função da sua Exposição
    - 3.1.4.5.3. Controlo das Infiltrações de Ar
  - 3.1.4.6. Pontes Térmicas
    - 3.1.4.6.1. Pontes Térmicas Planas
    - 3.1.4.6.2. Pontes Térmicas Lineares
    - 3.1.4.6.3. Tratamento das Pontes Térmicas Pontes
- 3.1.5. Distribuição de Calor
  - 3.1.5.1. Trocas de Calor por Condução
  - 3.1.5.2. Trocas de Calor por Convecção
    - 3.1.5.2.1. Contabilização das Perdas de Calor Resultantes da Renovação do Ar
    - 3.1.5.2.2. Ventilação Natural e Arrefecimento Passivo
  - 3.1.5.3. Trocas de Calor por Radiação

3.1.5.3.1. Protecção da Radiação Solar Directa Durante o Verão

3.1.5.3.2. Refrigeração por Radiação Nocturna

## 3.2. Qualidade do Ambiente Interior

### 3.2.1. Qualidade Termohigrométrica

3.2.2.1. Condições de Conforto Térmico Global

3.2.2.2. Índices de Avaliação Térmica

3.2.2.3. Desconforto Local

3.2.2.4. Conforto Adaptativo

### 3.2.3. Qualidade do Ar Interior

3.2.3.1. Critérios de Qualidade do Ar

3.2.3.2. Fontes de Poluição do Ar Interior

3.2.3.3. Sistemas de Ventilação

3.2.3.3.1. Ventilação Natural

3.2.3.3.2. Ventilação Mecânica

### 3.2.4. Qualidade da Iluminação

3.2.4.1. Iluminação Natural nos Edifícios

3.2.4.2. Níveis de Iluminância

3.2.4.3. Contraste

3.2.4.4. Encandeamento

### 3.2.5. Qualidade Acústica

## 3.3. Impacto Ambiental dos Edifícios

### 3.3.1. Introdução

### 3.3.2. Energia

3.3.2.1. Consumo Energético nos Edifícios

3.3.2.2. Eficiência Térmica do Edifício

3.3.2.3. Eficiência Térmica na Iluminação e Electrodomésticos

3.3.2.4. Redução do Consumo Energético na Produção de Água Quente

3.3.2.5. Sistemas de Produção Doméstica de Electricidade a partir de Fontes Renováveis

### 3.3.3. Materiais de Construção

3.3.3.1. Matérias-Primas

3.3.3.2. Produção de Resíduos

### 3. QUALIDADE TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS

#### 3.1. Conceção Bioclimática de Edifícios

##### 3.1.1. Introdução

A Conceção Bioclimática de Edifícios, pode ser definida como a concepção de um edifício tendo em conta a análise do contexto climático e urbano em que este se insere, promovendo consequentemente uma melhoria das condições de conforto e a minimização do consumo de energia convencional. Este tipo de concepção, é então um instrumento que permite manter a viabilidade de um “equilíbrio saudável” na construção, racionalizando tanto os recursos utilizados como os resíduos produzidos.

Não nos podemos esquecer, que as melhores e mais vantajosas oportunidades para a eficiência energética e a sustentabilidade incorporadas num edifício vêm da fase inicial do projecto. Algumas alterações podem ainda ser feitas ao longo da elaboração do projecto e, com uma expressão mais limitada, durante a fase de construção e nos arranjos exteriores, e por vezes quando o edifício já está ocupado com um custo significativo.

A envolvente do edifício é o elemento determinante no que respeita ao comportamento térmico dos edifícios. É possível conseguir reduções significativas no consumo de energia para climatização dos edifícios se forem acautelados alguns aspectos do projecto da envolvente do edifício, nomeadamente:

- caracterização da localização do edifício;
- implantação do edifício (orientação do edifício, sombreamento, etc.);
- volume da construção (área útil e pé direito médio);
- optimização da relação ganhos solares/iluminação natural;
- forma do edifício;
- organização interna dos espaços;
- isolamento térmico da envolvente;
- tratamento das pontes térmicas;
- utilização de vidros e caixilharias de boa qualidade e sombreamento cuidado de todos os envidraçados (excepto se orientados a norte);
- adopção de soluções construtivas de inércia média ou forte;
- estratégias de arrefecimento por ventilação natural.

Para além destes factores, intrínsecos ao edifício propriamente dito, importa também acautelar alguns aspectos relacionados com o tratamento do seu local de implantação, nomeadamente no que diz respeito aos arranjos exteriores, à protecção contra os ventos frios, etc. [4].

Durante a fase de concepção, a equipa de projecto, de modo a otimizar o comportamento solar passivo da envolvente dos edifícios, deverá realizar uma escolha criteriosa dos materiais a utilizar e integrar o estudo da envolvente com os restantes projectos: iluminação natural e outras estratégias de comportamento solar passivo; aquecimento, arrefecimento e ventilação natural. O aspecto que mais influencia a concepção da envolvente é o clima. Assim, para cada tipo de clima (quente/seco, quente/húmido, temperado, ou frio), deverão ser consideradas diferentes estratégias no desenho e escolha dos materiais da envolvente.

Para além do clima, a definição da envolvente depende também da quantidade de calor produzida nos espaços interiores pelos seus utilizadores e equipamentos. Se a quantidade de calor produzida no interior for muito grande, serão as cargas térmicas produzidas no interior, e não as exteriores (solares), as que mais influenciarão os níveis de temperatura interior. O volume do edifício, bem como a sua orientação, são outros factores que influenciam significativamente o comportamento e os requisitos da envolvente. A envolvente deve ser cuidadosamente estudada de modo a ser compatível com o local de implantação e com a orientação do edifício.

#### 3.1.1.1. Conceito de Envolvente do Edifício

A envolvente dos edifícios de habitação não foi até hoje caracterizada nem definida de forma técnica, concisa e objectiva. As formas de caracterização e identificação da envolvente até hoje apresentadas são resultado das diferentes aptidões técnicas e perspectivas de investigação dos especialistas. Contudo, existe uma característica comum em todos, e que, de certo modo, os relaciona, que é o facto de a envolvente ser caracterizada como uma barreira de separação entre os ambientes interiores e exteriores do edifício.

A distinção entre a ideia de estrutura e a ideia de invólucro é introduzida pela primeira vez por Le Corbusier [16], que considera o invólucro como uma membrana livre, autónoma, capaz de estabelecer relações de permeabilidade entre o exterior e o interior. De outro modo, podemos dizer que as camadas, que definem o invólucro, separam o interior do exterior e constituem uma primeira barreira de protecção em relação as acções dos agentes agressivos sobre os edifícios, que conduzem inevitavelmente a sua degradação.

Mais tarde, Brand [17] propõe uma estratificação em seis níveis de camadas, entre as quais define a camada “*Pele*” como correspondendo aos revestimentos exteriores das respectivas fachadas, vãos envidraçados e coberturas.

Para Oliveira Fernandes [18], a envolvente é uma superfície fronteira, real ou imaginária, definindo o espaço onde se podem estabelecer determinadas funções, que deverão cumprir determinados parâmetros ou exigências. Por exemplo, a função de conforto térmico estaria associada ao parâmetro resistência térmica. Através da superfície fronteira podemos controlar todos os fluxos de calor ou humidade que a atravessam, criando uma barreira interior/exterior impenetrável.

Para Maldonado [19], o principal objectivo de um edifício é o de proporcionar aos seus ocupantes protecção do meio ambiente exterior. A noção de protecção terá, portanto,

carácter subjectivo e evoluirá ao longo dos tempos com o avanço da tecnologia e a melhoria gradual do nível de vida das populações.

Para Abrantes [20], a envolvente dos edifícios aparece definida como sendo o elemento que, simultaneamente, delimita o espaço exterior e condiciona o espaço interior. É nesta perspectiva de dualidade, exterior/interior, que as exigências funcionais da construção devem ser ponderadas e compatibilizadas de forma a garantir o bom desempenho da envolvente exterior.

Regra geral, procura-se no edifício um local de abrigo ou refúgio da agressividade do ambiente exterior circundante, competindo aos elementos da envolvente (considerado como o conjunto de elementos da construção que encerram o volume interior - cobertura, paredes - opacas e transparentes - e pavimentos) garantir a privacidade e permitir as condições de conforto interior.

E sendo a envolvente exterior do edifício (por vezes designada por *envelope*) a zona mais exposta do edifício e uma "barreira" que protege o núcleo habitável das acções dos agentes externos, conferindo as necessárias condições de conforto de utilização, deverá ser objecto de atenção especial, de forma a cumprir adequadamente a sua função. Não havendo uma definição ou caracterização definitiva e consensual, tomamos a decisão de apenas considerar no desenvolvimento deste novo processo de análise os elementos construtivos pertencentes à envolvente exterior dos edifícios, encarando estes de forma global e tendo em consideração a sua interacção com o meio exterior. Esta envolvente exterior é ainda decomposta em dois elementos fundamentais: elementos verticais (que subdividimos em parte opaca e envidraçados) e elementos horizontais (que subdividimos em pavimentos e coberturas) [22].

A qualidade da envolvente é um dos factores que mais influencia a quantidade de energia que se vai consumir durante a fase de utilização de um edifício, nomeadamente nas operações relacionadas com a manutenção da temperatura de conforto interior, com a qualidade do ar e com a iluminação natural.

#### 3.1.1.2. As exigências a Satisfazer pela Envolvente dos Edifícios

Sendo o conceito de envolvente evolutivo, deverá a investigação acompanhar a evolução dos conceitos e definições respectivos. No entanto, devemos evitar recorrer a inovação tecnológica e a utilização de novos materiais e componentes da construção sem antes efectuar uma correcta apreciação das respectivas consequências. A negligência na avaliação e experimentação prévia resultará no aparecimento de novos problemas. Não surpreende que se tenha vindo a assistir progressivamente a uma degradação da qualidade das construções, nomeadamente na envolvente dos edifícios. São comuns as patologias que resultam da utilização menos cuidada das tecnologias e dos materiais, nomeadamente: fendilhação excessiva, falta de estabilidade de coberturas, paredes e janelas, deficiências no isolamento térmico, rápida degradação de aspecto, etc.

O desempenho exigido pela envolvente exterior, integrada no conjunto paredes opacas e envidraçados, cobertura e pavimento, consiste em proporcionar uma barreira entre os ambientes exterior e interior, de modo a criarmos condições interiores de

conforto. Sendo assim, devemos avaliar a estabilidade e durabilidade de uma parede exterior, ao longo do tempo, com o objectivo de nos proporcionar uma barreira de protecção face ao vento, a chuva, a radiação solar, ao calor, ao ruído, ao fogo, aos materiais sólidos, aos insectos, aos animais e, inclusive, as pessoas.

No entanto, devemos estar cientes, que apesar da parede exterior funcionar como barreira de protecção face os agentes atrás referidos, deve proporcionar a satisfação de outro conjunto de exigências: luminosidade e qualidade do ar adequada dos espaços interiores, capacidade de constituir um enquadramento satisfatório de forma e estética na globalidade do edifício e, com menor importância, satisfazer certos requerimentos como a cor, textura e porosidade.

A definição da importância e garantia de qualidade da envolvente exterior dos edifícios é um processo complexo e abrangente de vários temas. Depende dos critérios definidos para a sua avaliação no qual se podem incluir: os aspectos estéticos, a resistência térmica e acústica, a impermeabilidade, etc. Convém salientar que, nesta perspectiva, é de extrema importância na aplicação dos critérios de preferência/importância na avaliação da qualidade da envolvente exterior tomar em conta a forma heterogénea da sua composição, ou seja, a relação entre os componentes opacos e os componentes transparentes.

A utilização da janela no projecto do edifício mudou ao longo da história. Durante muitos séculos as janelas foram consideradas principalmente como uma maneira de deixar entrar a luz do dia nos edifícios, assim a luz do dia era a iluminação dominante durante o dia. Isto mudou em consequência da crise do petróleo em 1973 que se teve como consequência o projecto de grandes edifícios comerciais e públicos com aberturas insignificante, pequenas janelas fixas. Este tipo de edifícios somente era habitável quando equipado com grandes sistemas de ventilação mecânica e sistemas de arrefecimento e o recurso à iluminação artificial durante todo o dia. A filosofia destes edifícios selados era que a função principal da envolvente do edifício era agir como um protector do clima. O resultado era que os ocupantes estavam privados da luz solar, da luz do dia e do contacto com o mundo exterior. Muitos edifícios com “Síndrome do Edifício Doente” têm as características acima referidas.

Nos edifícios bioclimáticos de baixo consumo de energia dos 1990's, o projecto é focalizado outra vez na janela e nos seus componentes associados. A envolvente do edifício é vista agora como um modificador do clima, mediando os efeitos da luz do dia, dos ganhos solares e do vento no sistema de energia do edifício.

Basicamente o vão envidraçado (janela) é constituído por uma estrutura (caixilho) e uma ou mais folhas de vidro, que têm de:

- fornecer a iluminação suficiente ao interior do edifício, (sem causar o encadeamento);
- não deixar passar a radiação solar em quantidade excessiva;
- permitir o contacto visual com os arredores (preferivelmente directo);
- proteger do ruído excessivo;
- assegurar uma boa protecção do estado do tempo exterior;
- fornecer um bom isolamento térmico;



- assegurar a segurança;
- permitir controlar a ventilação (controlar as infiltrações) no edifício;
- permitir a integração de dispositivos específicos para a ventilação do edifício.

Um projecto da janela bem sucedido tem que encontrar a melhor relação entre estas necessidades. Isto pode ser difícil porque muitas das necessidades estão em contradição directa umas com as outras. Por exemplo:

- uma grande área de janela em general é um benefício em termos da penetração da luz natural e da radiação solar passiva, mas tem problemas em termos da perda de calor, do sobreaquecimento solar e do encadeamento;
- um valor elevado do isolamento do envidraçado reduzirá a perda de calor no Inverno, mas pode aumentar o sobreaquecimento no verão (dependendo da temperatura do ar exterior);
- envidraçados obscurecidos não deixam passar a luz natural e o ganho solar e reduzem o sobreaquecimento. Ao mesmo tempo tem que se utilizar a iluminação artificial por um período mais longo durante o dia o que aumenta desse modo o sobreaquecimento e o consumo de energia;
- as áreas envidraçadas mal projectadas causarão o encadeamento que força os ocupantes a usar protectores solares. Isto pode conduzir ao aumento do uso da iluminação artificial e ao consequente sobreaquecimento e ao consumo de energia.

As características dos vãos envidraçados dependem do tipo, espessura e número de lâminas de vidro, da espessura da lâmina de ar e do tipo de gás entre as placas de vidro. As três principais propriedades utilizadas para caracterizar os tipos de vãos envidraçados são:

- o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), que expressa a perda de calor por metro quadrado de envidraçado por diferença de temperatura entre o interior e o exterior;
- a transmitância visível ( $T_v$ ), que expressa a percentagem de luz visível que atinge um envidraçado e que passa para o interior;
- o factor solar ( $g$ ), que é o quociente entre a energia solar total transmitida e a energia solar incidente.

A correcta escolha do tipo de envidraçado para um determinado edifício é determinante no futuro desempenho energético e de conforto térmico e visual do mesmo. As propriedades dos envidraçados, algumas das quais (as mais importantes) foram referidas no parágrafo anterior, devem ser cuidadosamente estudadas de modo a proceder-se à escolha mais adequada. Tendo como base os pressupostos anteriores, uma metodologia de selecção dos envidraçados deverá incluir os seguintes pontos:

- a) No processo de selecção dos envidraçados a primeira decisão crítica tem a ver com a escolha entre vidros simples ou múltiplos (geralmente duplos). Embora seja uma solução inicialmente mais cara, a escolha de vidros duplos isolantes permite aumentar o conforto térmico nas zonas próximas às janelas, oferece uma maior flexibilidade na selecção de produtos disponíveis, reforça o isolamento acústico e

reduz as cargas mecânicas. Edifícios em que se pretenda uma economia substancial nos consumos energéticos, devem ser dotados de vidros duplos isolantes, em particular se as orientações dos vãos não forem as mais favoráveis e se a eficácia de eventuais sistemas de sombreamento não for a mais adequada. Em locais com climas temperados, os vidros simples com um adequado sombreamento exterior podem ser eficazes mesmo se existirem níveis de radiação solar significativos.

- c) A escolha das propriedades dos envidraçados deverá ter em consideração a localização do edifício, (e consequentemente as características climáticas do local de implantação), a orientação e dimensões dos envidraçados. Se o objectivo primordial for o controlo dos ganhos solares de Verão, deverão ser escolhidos envidraçados com factor solar o mais baixo possível associado a uma transmitância visível o mais elevada possível.
- d) Se o encandeamento for um problema previsível, e se não for possível uma solução arquitectónica desejável (retirar os vãos envidraçados do campo de visão dos ocupantes, usar sistemas de sombreamento eficazes, ou outras modificações físicas), então devem seleccionar-se envidraçados com transmitâncias visíveis que permitam estabelecer um compromisso entre o problema de encandeamento e a necessidade de transmissão de luz. Em situações em que não exista outra solução para o controlo do encandeamento a não ser através da transmitância visível ( $T_v$ ) dos envidraçados, então deve optar-se por vidros com  $T_v$  da ordem dos 25%, pois podem ainda permitir uma iluminação natural razoável dos espaços interiores, dependendo das dimensões dos vãos, naturalmente.
- e) Um outro aspecto importante que deve condicionar a escolha dos envidraçados, são as diferentes exigências consoante a orientação dos vãos. Em regiões cujo clima é dominado por Verões quentes e longos, e Invernos não muito rigorosos, vãos envidraçados orientados a Nascente e, principalmente, a Poente podem contribuir para aumentar as necessidades de arrefecimento, se se encarar a hipótese de se usarem envidraçados com factores solares mais elevados, visto estas orientações serem de mais difícil sombreamento.
- f) Outra das questões que pode influenciar de modo decisivo a escolha dos envidraçados, é a regulamentação térmica de edifícios. No caso português, o RCCTE [1] impõe um factor solar máximo admissível para os vãos envidraçados.

Num edifício sustentável, os elementos envidraçados são frequentemente os mais interessantes e complexos. A concepção de vidros e janelas é a área em que houve maior progresso técnico nos últimos anos, com o aparecimento de novos materiais resultantes de pesquisas efectuadas em laboratórios. Hoje, é possível especificar a constituição de uma unidade envidraçada para satisfazer requisitos de ganho e conservação de calor, de transmissão e direcção da luz, em diferentes latitudes e para diferentes orientações [23].

O dimensionamento dos envidraçados deverá, acima de tudo, equilibrar as necessidades de aquecimento, arrefecimento e de iluminação natural:

- a) Aquecimento: o ganho solar directo através de uma orientação correcta dos envidraçados é a maneira mais simples e, frequentemente, mais eficaz da concepção solar passiva. O dimensionamento dos envidraçados e a sua orientação devem otimizar os ganhos solares úteis e minimizar as perdas de calor durante a estação de aquecimento;
- b) Arrefecimento: o sobreaquecimento na estação de arrefecimento é um dos problemas mais sérios que se colocam no dimensionamento de envidraçados. As principais técnicas passivas de arrefecimento incluem a protecção solar e a ventilação;
- c) Iluminação Natural: a iluminação artificial é responsável por cerca de 50% da energia utilizada nos edifícios de escritório, bem como por parte significativa da energia utilizada em outros edifícios não residenciais. Nos últimos anos, a combinação da luz natural com a iluminação de elevado rendimento, permite facilmente poupanças entre 30 a 50%, sendo possível, nalguns casos, percentagens da ordem dos 60 a 70% [23].

#### 3.1.1.3. Princípios de Concepção

O primeiro e mais simples tipo de sistema solar passivo é o ganho directo. Por essa razão é o sistema mais utilizado, ainda que na maior parte das vezes numa forma empírica e não intencional.

A captação, armazenamento, conservação e distribuição de energia, é feita directamente no compartimento. Cada compartimento útil numa habitação, desde que disponha dum envidraçado, pode funcionar como um sistema de ganho directo. As pré-condições para um funcionamento eficiente são:

- correcta orientação da janela, preferentemente a Sul, para evitar que as perdas superem os ganhos no Inverno;
- área transparente da janela em harmonia com a capacidade de armazenamento térmico;
- uso de dispositivos de sombreamento, como forma de prevenir o sobreaquecimento no Verão;
- redução das perdas de calor, com a aplicação de isolamento térmico eficiente dos elementos opacos, isolamento nocturno móvel e posicionamento de zonas tampão.

#### 3.1.2. Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento

Com este Princípio de Concepção pretende-se avaliar o nível a que foi otimizada a exposição solar e a protecção contra os ventos frios no Inverno, a protecção do excesso de radiação solar e a exposição as brisas frescas no Verão.

O aproveitamento da energia solar pode reduzir os custos do aquecimento auxiliar nos edifícios, sem comprometer o conforto dos ocupantes. O armazenamento térmico, o controlo solar eficiente, e dispositivos de protecção são componentes importantes num

edifício com uma boa utilização passiva da energia solar. As estratégias do aquecimento solar para edifícios devem sempre ser consideradas com outras medidas de economia de energia, referimo-nos à iluminação, à ventilação e ao arrefecimento.

Quando as construções são concebidas de raiz e existe a intenção de aproveitamento térmico, podem ser ponderadas várias soluções solares passivas. No caso específico do Norte e Centro Europeus e em geral nos climas frios, estas soluções funcionam basicamente com grandes áreas de envidraçados expostos a Sul e sistemas de sombreamento exteriores, para evitar excessivos ganhos solares no Verão. A área óptima para os envidraçados a Sul nestes climas é de 2/3 a 3/4 da superfície total da respectiva fachada [24]. No caso de Portugal, a área óptima para os envidraçados é menor, variando de acordo com as respectivas zonas climáticas, mas deverá situar-se, segundo o RCCTE [1], em cerca de 15% da área útil do pavimento.

#### 3.1.2.1. Caracterização da Localização do Edifício

O projectista raramente tem o poder de decidir sobre a localização do edifício na malha urbana. Na maior parte das vezes, o local, seja urbano, suburbano, rural, terreno degradado ou natural, já foi escolhido antes do projectista ser envolvido no processo do projecto. Em urbanizações mais pequenas, por exemplo um loteamento, os projectistas são envolvidos com maior frequência no processo de planeamento e as decisões de projecto que tomarem têm consequências significativas para a sustentabilidade do local.

Dando atenção aos aspectos construtivos e à sua interacção com o clima do local onde se situa, tendo em conta a configuração do edifício, a escolha dos materiais e recorrendo a mecanismos naturais é possível atingir as condições de conforto dos ocupantes, semelhante às que seriam obtidas recorrendo a meios mecânicos, artificiais consumidores de energia convencional. Para além dos evidentes benefícios para o meio ambiente, um menor consumo de energia convencional significa menor poluição, assim como benefícios para o utilizador, que passam a ter um melhor nível de conforto com baixos custos financeiros.

Para obtemos uma caracterização do local de implantação do edifício o mais completa possível, teremos que fazer uma análise das características partindo da caracterização do clima, seguindo-se a caracterização do espaço urbano envolvente e a caracterização do lote, tendo em consideração o tipo de edifício que se pretende construir (unifamiliar, multifamiliar, edifício de escritórios, etc.) e o seu tipo de utilização.

##### 3.1.2.1.1. Caracterização do Clima

O conhecimento das características do clima tem, obviamente, uma importância determinante no estudo do comportamento térmico dos edifícios. As características climáticas do local de implantação vão condicionar a definição do desempenho a exigir ao edifício de modo a satisfazer as exigências de conforto térmico, visual, acústico e qualidade do ar interior e a conservação de energia. Os principais parâmetros que caracterizam o clima exterior são:

- a radiação solar;
- a temperatura do ar;
- a velocidade e a direcção do vento;
- níveis e incidência de precipitação;
- a existência de vegetação;
- a existência de superfícies de água.

Para a caracterização do clima e a escolha das estratégias para a concepção da envolvente exterior do edifício na fase inicial do processo de concepção deve-se [84]:

- a) Estudar o clima do local, usando os dados climáticos das diferentes estações (aquecimento e arrefecimento) e regime de ventos, de modo a determinar o tipo de envolvente mais adequada ao edifício atendendo ao local e ao tipo de estratégias de aquecimento e arrefecimento a utilizar. Em climas temperados, o caso do nosso país, existindo apenas necessidade de distinguir o clima existente na faixa litoral, caracterizado por temperaturas amenas durante quase todo o ano, e o clima existente no interior do país, caracterizado por uma baixa humidade relativa e Verões mais quentes do que no litoral e com uma elevada amplitudes térmicas diurnas e Invernos mais frios. Para o clima Português, e principalmente, para as zonas mais afastadas do litoral, devem-se utilizar soluções construtivas de elevada inércia térmica, estudar as envolventes de modo a permitir a captação da radiação solar durante a estação de aquecimento e a protecção dos envidraçados durante a estação de arrefecimento (através da colocação de protecções solares fixas ou móveis), sendo preferível a localização de envidraçados nas fachadas orientadas a Sul e a minimização dos envidraçados com outras orientações. Deve-se utilizar nos vãos envidraçados vidro duplo e caixilharias com corte térmico e os espaços interiores mais utilizados (sala de estar, escritório, sala de jantar) devem estar situados na fachada Sul. As soluções de isolamento térmico devem ser estudadas ao pormenor, devendo-se reforçar o isolamento em zonas de potenciais pontes térmicas. Neste tipo de climas, pode ser necessário utilizar sistemas de aquecimento auxiliar, devendo-se prever sistemas que utilizam energias renováveis.
- b) Estudar a geometria solar do local. A radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta. Tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz, o Sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética dos edifícios. A radiação solar tem um papel determinante no conforto térmico num edifício, constituindo, de Inverno, uma fonte de calor muito importante, contribuindo para o aumento da temperatura interior, enquanto que de Verão deve ser evitada para reduzir o sobreaquecimento no interior dos edifícios. Por esta razão, só o amplo conhecimento da geometria solar do local de implantação do edifício permite a concepção adequada da envolvente.

As variações climáticas são atribuídas a:

- proximidade à água (pois a água aquece e arrefece mais rapidamente que o solo);

- altitude (a temperatura tende a diminuir com o aumento da altitude);
- barreiras montanhosas;
- correntes oceânicas.

A radiação solar é um dos principais contribuintes para os ganhos térmicos nos edifícios. Ao nível dos edifícios, a transferência de calor por radiação pode ser dividida em cinco partes principais:

- radiação solar directa (onda curta);
- radiação solar difusa (onda curta);
- radiação solar reflectida pelo solo e pelos edifícios adjacentes (onda curta);
- radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa);
- radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa).

Na publicação “Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal” [25] são apresentadas as Estratégias Bioclimáticas a adoptar em função da zona climática onde está localizado o edifício, tendo por base a carta bioclimática de Baruch Givoni que sintetiza num diagrama psicrométrico o tipo de estratégias que deve ser utilizado para cada clima particular. Porque um edifício com as mesmas características construtivas pode ter desempenhos muito diferentes de acordo com a sua localização geográfica.

Para uma caracterização do clima português o RCCTE [1] divide o país, ao nível do concelho, em três zonas climáticas de Inverno ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) e três zonas climáticas de Verão ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ), de acordo com esta distribuição do país são indicados os dados climáticos de referência de Inverno e de Verão, podem ser alteradas em função da altitude do local e da localização em relação à faixa litoral.

Deverá no entanto referir-se que não existe, no RCCTE qualquer informação relativamente à intensidade do vento e sua direcção predominante para cada localização. Sendo este um parâmetro muito importante no comportamento do edifício.

Para a utilização de ferramenta de simulação detalhada é fundamental o conhecimento dos dados climáticos específicos do local. Esta é uma tarefa difícil mas que, nos últimos anos, foi facilitada pelo aparecimento de programas de geração de séries de dados sintéticos, que apresentam como vantagem a possibilidade de aceder a informação climática de diversas localizações com rapidez e baixo custo [26].

#### 3.1.2.1.2. Caracterização do Espaço Urbano

A forma urbana é o resultado de uma conjugação complexa de pressões e influências interdependentes: climáticas, económicas, sociais, políticas, estratégicas, estéticas, técnicas e regulamentares. Muitas decisões de planeamento têm impacto profundo e persistente na coesão social e na qualidade de vida dos indivíduos, bem como no meio ambiente. O tipo de espaço urbano tem grande influência nos problemas relacionados com a conservação dos combustíveis fósseis e dos recursos energéticos e com a necessidade de fontes energéticas que sejam mais favoráveis ao ambiente.

A eficiência energética ao nível do espaço urbano requer atenção ao nível da utilização do solo, da densidade de ocupação, dos transportes, da água e dos resíduos e ainda de duas estratégias adicionais. A primeira será a de assegurar que em cada edifício, novo ou reabilitado, se minimize a energia incorporada na sua construção e ao longo da sua utilização. A segunda será a de utilizar fontes de energia económicas e favoráveis ao ambiente para cobrir qualquer défice remanescente de energia. Isto depende claramente do clima e das condições locais: energias renováveis tais como as energias hídricas e eólicas, geo-térmicas ou da biomassa, solar activa ou fotovoltaico (PV) podem ser, ou não ser, opções práticas.

Às diferentes características urbanas correspondem diferentes **microclimas**, capazes de proporcionar um maior ou menor conforto, nomeadamente:

a) As temperaturas nos grandes núcleos urbanos têm tendência para serem mais quentes do que o território circundante. Isso é causado por vários factores, Isso é causado por vários factores que, no seu conjunto, constituem o efeito de “ilha de calor”, nomeadamente:

- calor é libertado pelos edifícios, sistemas de transportes e indústrias;
- os densos materiais da superfície dos pavimentos e dos edifícios têm mais capacidade no armazenamento e condução do calor do que o solo ou da vegetação;
- redução da velocidade do vento por efeito da protecção proporcionada pelos edifícios., reduzindo o seu potencial efeito de arrefecimento;
- as superfícies impermeáveis, que provocam o escoamento rápido das águas reduzem a evaporação, havendo portanto um menor efeito de arrefecimento.

b) Dada a existência de obstáculos à circulação do vento, Impacto Aerodinâmico, constituídos por edifícios ou outras estruturas, o escoamento do ar nos núcleos urbanos tende a ser, em média, mais lento mas mais turbulento do que em campo aberto. O vento é um factor determinante ao nível do microclima. No entanto, as características das áreas construídas condicionam os padrões de escoamento do vento, aumentando as zonas de turbulência e, simultaneamente, as zonas de estagnação:

- distúrbio da circulação do ar devido à presença de um edifício;
- efeito de canalização do vento ou corredor de vento (rua paralela à direcção do vento);
- efeito Venturi – aceleração do vento devido a estrangulamento do espaço entre edifícios que formam entre si ângulos rectos ou agudos;
- direcção do vento dominante perpendicular ao eixo dos edifícios;
- efeito Wise – formação de “rolo” turbulento na base dos edifícios;
- efeito de canto – aumento da velocidade do vento no canto entre fachadas a pressão diferente. Condicionado pela distância entre edifícios;
- efeito de malha – criação de zona protegida do vento. Poderá causar dificuldades de ventilação no Verão.

- c) Os edifícios e outras estruturas urbanas podem causar alguma obstrução à radiação solar directa. Se ela é um benefício ou uma desvantagem, isso depende de outros parâmetros do microclima, por exemplo em função da latitude, poderá ser mais importante quer a exposição solar, quer a protecção do sol no Verão.
- d) A qualidade do ar tem implicações no uso da energia solar e na ventilação natural. Os poluentes gerados pelo tráfego, por sistemas de aquecimento e de arrefecimento e processos industriais, absorvem e dispersam a radiação solar, enfraquecendo a radiação solar directa mas aumentando a radiação difusa nos dias de céu limpo. Além disso, os poluentes contribuem para uma mais rápida degradação dos materiais de construção e afectam também a saúde humana.

#### 3.1.2.1.3. Caracterização do Lote

As características do lote, acesso à radiação solar, exposição aos ventos, características dos edifícios vizinhos e da vegetação (localização, espaçamento e altura, etc.), inclinação do terreno e a sua topografia, tamanho do lote, limites do terreno, características do solo, tipo e localização das vias de acesso, etc. podem condicionar a implantação e a configuração (forma em planta e em altura) do edifício, limitando deste modo as estratégias bioclimáticas que podem ser consideradas no processo de concepção do projecto, por exemplo, pode limitar o acesso à radiação no quadrante Sul e expor o edifícios aos ventos frios no Inverno. Mas essas limitações podem ser compensadas com um projecto bem conseguido, utilizando outras alternativas de projecto.

Após se ter concluído a caracterização do lote, tem que se verificar a compatibilidade da implantação do edifício, definir as estratégias a desenvolver ou em último caso identificar locais alternativos para o projecto de forma a minimizar o custo de recursos e as desvantagens do lote.

#### 3.1.2.2. Implantação do Edifício

Uma implantação do edifício que permita a optimização da exposição à radiação solar no Inverno e a protecção do excesso de radiação solar no Verão e a protecção contra os ventos frios no Inverno e a exposição as brisas frescas no Verão. Pode ser obtida com uma orientação cuidada das fachadas do edifício, tendo em consideração as características da localização do edifício, anteriormente referidas, mais propriamente as características do lote (acesso à radiação solar, exposição ao vento, a dimensão, ocupação e a geometria do lote, inclinação do terreno, localização e características dos edifícios vizinhos e da vegetação, vistas, privacidade e segurança, orientação e localização das vias de acesso, etc.). As características do local e as exigências particulares do projecto, podem entrar em conflito, nem sempre é fácil ou por vezes são mesmo impossíveis de conciliar, por isso, exigem um esforço suplementar da equipa de projecto na fase inicial do projecto do edifício.



### 3.1.2.2.1. Orientação do Edifício

Os edifícios com melhor comportamento térmico e com maior eficiência energética são aqueles que têm as maiores fachadas orientadas a Sul (e a outra a Norte, por simetria, mas com a menor área envidraçada possível e com a utilização de espaços tampão), o que significa uma forma linear com o eixo mais longo na direcção Nascente-Poente [27]. Desta forma:

- optimiza-se a distribuição da radiação solar em torno do edifício, favorecendo a iluminação natural e acesso solar aos espaços verdes;
- optimiza-se a capacidade de controlo dos ganhos solares no Inverno, economizando energia com o aquecimento e arrefecimento;
- minimiza-se a exposição solar no Verão, menor risco de sobreaquecimento, economizando energia com o arrefecimento.

Em locais expostos à acção do vento, estes benefícios devem ser considerados conjuntamente com a necessidade de protecção contra o vento. Em todas as localizações, o acesso solar e a protecção contra o vento tem que ser considerada, tendo em conta os espaços interiores e exteriores do edifício. Os factores chave para obter uma boa orientação são: a localização dos pontos de acesso; condições dos limites do lote; a orientação das estradas de acesso; a possibilidade de sombreamento do edifício, quer pelos edifícios aí existentes quer pela vegetação.

Geralmente, os desvios da orientação com o Sul resultam em pequenas perdas na utilização do ganho solar. Entretanto, desvios maiores num e noutro sentido conduzem a uma enorme redução no ganho solar e aumentam as exigências de aquecimento dos espaços. As orientações a Oeste são também mais problemáticas durante o Verão por causa do sobreaquecimento, por ser mais difícil controlar os ganhos solares. Claramente não é sempre possível fornecer uma orientação a Sul em todas as disposições dos edifícios. Este pode não ser praticável devido ao tamanho ou à topografia do local, ou por outras exigências do projecto, acesso, privacidade, segurança ou protecção ao ruído, estética. Em todos os casos, é necessário avaliar as vantagens e desvantagens de uma orientação das fachadas diferente da Sul.

Quando o lote de terreno é pequeno em relação à área de construção ou os seus contornos são irregulares não há grande liberdade de escolha na implantação do edifício, os edifícios só conseguem condições de conforto térmico mediante elevados consumos de energia auxiliar. No entanto, quando há margem de escolha, uma implantação adequada é crucial para o bom desempenho energético do edifício.

Entretanto que se não for possível ou desejável conseguir os benefícios de uma boa orientação com o projecto de implantação, ainda assim, existem formas de compensar essa orientação desfavorável [28].

### 3.1.2.2.2. Sombreamento

O sombreamento pode ser causado por obstáculos do próprio edifício como, por exemplo, palas, varandas, obstáculos verticais provocados por desalinhamentos de

fachadas, etc. ou por obstáculos exteriores ao edifício como construções vizinhas, vegetação ou relevo do terreno.

Para minimizar o sombreamento no Inverno das fachadas do edifício e das áreas circundantes, devidos ao espaçamento ou o agrupamento dos edifícios, deverá ser um objectivo do projecto na consideração da implantação do edifício, providenciando um espaçamento adequado aos edifícios vizinhos, existentes ou previstos no plano de ordenamento do local, para minimizar o sombreamento principalmente nas fachadas orientadas a Sul, porque o sombreamento de uma fachada orientada a Sul pode anular os benefícios da sua orientação já que reduz ou anula a radiação solar incidente na fachada durante o Inverno quando os ganhos solares são úteis.

No Inverno quando os ganhos solares são úteis, a altura do Sol é baixa pelo que ângulos de obstrução baixos já são suficientes para provocar sombreamento. A possibilidade de um obstáculo provocar sombreamento, num determinado dia do ano, depende da sua altura, da sua orientação e distância ao edifício em estudo, da inclinação do terreno, da latitude e clima do local e da duração da estação de aquecimento. A inclinação do terreno pode diminuir ou aumentar o ângulo de obstrução, respectivamente, se o terreno tiver uma inclinação Sul ou Norte. Assim, com uma inclinação do terreno a Sul é possível manter o mesmo nível do acesso solar com um afastamento menor entre as fachadas em estudo e os obstáculos, enquanto os terrenos com inclinações a Norte requererem um maior afastamento. A latitude geográfica afecta também a necessidade do afastamento para manter um dado nível do acesso solar. Isto é porque a altura dos ângulos solares diminui enquanto a latitude aumenta.

#### 3.1.2.2.3. Protecção da Radiação Solar no Verão

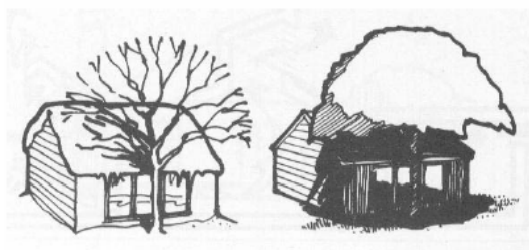
As fachadas a Este e Oeste, assim como a cobertura estão sujeitas a radiação muito intensa durante o Verão. Assim, devem ser incluídas poucas aberturas nestas zonas e a existir devem ser de pequena dimensão visto a sua única função ser a ventilação e a iluminação pois não são úteis para captura de radiação no Inverno.

Como é óbvio, no Verão os ganhos de calor têm de ser reduzidos ao mínimo. Felizmente o Sol encontra-se mais alto durante o Verão o que reduz a sua penetração nos vãos voltados a Sul. A utilização de sombreamentos vai reduzir ainda mais esta penetração. A área de fenestração deve ser cuidadosamente planeada para não ser exagerada e provocar condições de desconforto térmico (sobreaquecimento).

As plantas podem ser eficazmente usadas para reduzir o acesso solar, figura 3.1, fornecendo a sombra durante o Verão e melhorando condições da ventilação nos edifícios. Podem também prolongar o espaço viver para o exterior, sob circunstâncias térmicas mais agradáveis. Devem ser escolhidas com cuidado, tendo em consideração a forma e as características da folhagem no Inverno e no Verão e a forma da sombra que fornece. As árvores largas e de folha caduca são muito úteis porque deixam cair a sua folhagem no Outono e permitem o acesso solar durante o Inverno. Os principais factores a ser considerados na selecção de árvores de folha caduca são a altura, a taxa de crescimento, a aparência da folhagem e a distância dos ramos ao solo.

A posição das plantas relativamente ao edifício deve ser escolhida com cuidado a fim fornecer a protecção apropriada. O maior benefício é obtido com a protecção das janelas. A protecção horizontal, como pergolas, é preferível no lado Sul, porque o sol tem uma posição mais elevada nessa orientação. As árvores nos lados Este/Sueste e Oeste/Sudoeste agem benéficamente quando o sol tem baixas alturas de manhã e ao fim da tarde. Os arbustos podem ser usados como dispositivos protecção para as janelas a Este e Oeste. Além disso, as plantas trepadeiras nas paredes reduzem o aquecimento solar que penetra através da envolvente do edifício durante o Verão.

As árvores e os arbustos podem também ser apropriadamente localizados para melhorar as condições de ventilação em volta do edifício, guiando as brisas de arrefecimento para o edifício. Os arbustos devem ser posicionados a uma distância tal do edifício, de modo a não reflectir as brisas do edifício durante a noite. As barreiras contra o vento devem ser posicionadas a barlavento e a uma distância não superior a 1 – 1,5 vez a altura do edifício.



**Figura 3.1** - Exemplo de sombreamento com uma árvore de folha caduca no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita) [29].

#### 3.1.2.2.4. Protecção contra o Vento

O vento é um fluxo de ar atmosférico gerado por um diferencial de pressões, com comportamento dependente das várias escalas climáticas. Vários parâmetros afectam a sua existência e a sua velocidade que, em geral aumenta com a altitude sendo a topografia um destes factores.

A protecção dos edifícios contra o vento é benéfica no Inverno, no sentido de reduzir as infiltrações de ar e as perdas de calor. No Verão, deverá promover-se uma maior exposição aos ventos de forma a permitir um eficaz arrefecimento do ambiente interior por ventilação natural. Conhecer a direcção dos ventos dominantes e a sua intensidade é fundamental para se poder chegar a um compromisso, por exemplo, por consulta da rosa-dos-ventos, para as diferentes épocas do ano, do local de implantação. A utilização ou criação de condições locais de abrigo poderá reduzir até 15% as perdas de calor dos edifícios, por convecção e infiltração de ar [23]. Deste modo, também, se poderá melhorar o conforto dos espaços exteriores de permanência.

A redução na velocidade de vento devido à barreira está directamente relacionada com a sua altura e densidade e a velocidade do vento a montante. Em geral, nos empreendimentos mais densos há uma redução maior na velocidade de vento mas há também um aumento proporcional da turbulência. Em redor das áreas urbanas com

edifícios altos, prevalece a necessidade particular da protecção da direcção do vento e da chuva [28].

A permeabilidade ao ar de toda a envolvente do edifício (mais especificamente, portas e vãos envidraçados exteriores) é condicionada pela sua classe de exposição ao vento, uma vez que permitem a entrada de caudais de ar consideráveis que podem causar distúrbios significativos na implementação correcta das estratégias de ventilação e podem aumentar consideravelmente as infiltrações de ar e as perdas de calor na estação de aquecimento. Admite-se que todas as juntas fixas entre os elementos que constituem a envolvente, sendo convenientemente executadas, têm uma permeabilidade ao ar muito baixa e, na prática, negligenciável. Contudo, as folhas móveis das caixilharias e portas exteriores têm uma permeabilidade ao ar considerável, que é possível medir através de ensaio, que varia de modelo para modelo e com a respectiva execução. Neste sentido, é necessário limitar a permeabilidade ao ar destes elementos em função da sua exposição.

### 3.1.2.3. Ganhos Solares pelos Envidraçados

A radiação solar alcança as superfícies exteriores de um edifício de forma directa, difusa e reflectida e penetra no interior através dos elementos transparentes. Em general, a radiação incidente varia com a latitude geográfica, altura acima do nível do mar, das condições atmosféricas gerais, do dia do ano e da hora do dia. Para uma dada superfície, a radiação incidente varia com a orientação e com o ângulo da superfície ao plano horizontal.

A admissão da radiação solar no espaço interior pode causar problemas, tais como elevadas temperaturas interiores (sobreaquecimento), o desconforto térmico e visual dos ocupantes, danos em objectos sensíveis e no mobiliário. Assim, é de importância vital que a radiação solar deva ser controlada. A "protecção solar" denota a completa ou parcial, exclusão permanente ou temporária da radiação solar das superfícies do edifício ou dos espaços interiores ou circundantes.

#### 3.1.2.3.1. Orientação e Inclinação dos Vãos Envidraçados

A disponibilidade da radiação solar numa dada superfície depende de sua exposição e de sua inclinação. Uma exposição a Sul tem a vantagem de capturar a radiação solar no Inverno e de receber pouco sol directo no Verão, especial se for instalada uma protecção (pala horizontal), porque o sol está mais elevado no céu. Para as orientações a Sudeste e do Sudoeste, a radiação diminui durante a estação de aquecimento. Entretanto, durante o Verão, as superfícies Este e o Oeste pode receber mais radiação solar do que as superfícies orientadas a Sul, particularmente a latitudes mais baixas. Isto pode conduzir ao sobreaquecimento devido à dificuldade em proteger estas superfícies de uma localização mais baixa do sol no horizonte.

As superfícies orientadas a norte recebem quantidades insignificantes de radiação durante a estação de aquecimento. Por esta razão, os envidraçados orientados a Norte foram quase completamente eliminado do projecto de moradias solares

passivas. Em edifícios de escritório, entretanto, o valor da energia da iluminação natural admitido por uma janela orientada a Norte mais do que compensa a perda da energia para aquecimento e pode reduzir significativamente a custo na electricidade para a iluminação artificial.

As superfícies inclinadas a Sul recebem mais radiação do que as superfícies verticais, conduzindo por vezes aos ganhos solares indesejáveis durante o Verão. E termos gerais, envidraçados inclinados deve ser usado somente em climas frescos a latitudes elevadas, nas estufas ou nos átrios, mas de maneira alguma em compartimentos permanentemente ocupados. São consideradas superfícies horizontais as que têm uma inclinação face ao plano horizontal inferior a 60° e superfícies verticais as restantes [1].

- a) Estratégias de Maximização dos Ganhos Solares: Durante os períodos de Inverno, o calor contido na radiação solar, e que penetra através dos envidraçados, pode ser tão útil quanto a luz. Tipicamente, os edifícios beneficiam dos ganhos solares no Inverno, quando o sol esta mais baixo. Durante os períodos de Inverno, no hemisfério Norte, o sol atingira facilmente as superfícies envidraçadas orientadas a Sul. Assim, aumentar a proporção de área envidraçada orientada a Sul, é uma maneira directa, sem custos, de beneficiar do calor do Sol. Um edifício bem isolado termicamente, com vãos envidraçados apropriadamente orientados, pode não necessitar de aquecimento suplementar durante os períodos de céu limpo de Inverno.

Algumas das estratégias de maximização dos ganhos solares podem entrar em conflito com a necessidade de redução das cargas térmicas de arrefecimento de Verão. Assim, as estratégias anteriormente mencionadas, devem ser aplicadas em climas predominantemente frios, e seria impensável, por exemplo utiliza-las de modo generalizado no nosso país. Em países com Invernos relativamente moderados e Verões quentes, as estratégias de controlo solar, devem ser, primordialmente, de minimização da radiação solar.

- b) Estratégias de Minimização dos Ganhos Solares: Tradicionalmente, a utilização de palas de sombreamento, toldos, vegetação e outros dispositivos de sombreamento exterior, tem sido a melhor estratégia para a minimização da radiação solar, bloqueando-a antes de ela atingir as superfícies envidraçadas. A redução dos ganhos solares térmicos após a radiação solar atingir os envidraçados torna-se uma tarefa mais difícil. Antes da existência de produtos envidraçados como os vidros coloridos ou os revestimentos, a limitação dos ganhos solares estava limitada a utilização de uma ou duas camadas de vidro transparente (geralmente de 4 mm de espessura), que permitem a passagem de 75% a 85% da energia solar para o interior dos edifícios. A adição de dispositivos interiores de protecção, como sejam cortinas ou estores de lâminas, permite reflectir para o exterior, através do vidro, alguma energia, mas a maior parte da energia solar permanece no interior. Assim, algumas estratégias possíveis para minimização dos ganhos solares são as seguintes [30]:

- utilização de vidros coloridos;
- utilização de revestimentos reflectâtes;

- utilização de revestimentos reflectâtes de baixa-emitância e espectralmente selectivos;
- utilização de dispositivos de protecção interiores;
- utilização de dispositivos de protecção exteriores (preferíveis);
- utilização de dispositivos de sombreamento verticais e horizontais.

#### 3.1.2.3.2. Razão entre a Área de Envidraçado e a Área do Compartimento

A forma recomendada para as janelas num edifício depende da profundidade do compartimento, da vista panorâmica exterior e da orientação da janela. Se um compartimento for profundo, é necessário usar janelas elevadas para assegurar uma penetração eficaz da luz do dia na parte posterior do espaço. Em termos das vistas, uma vista panorâmica distante obtém-se com uma janela larga quando uma vista próxima com uma linha do céu elevada obtém-se com janela elevada. Outra vez a solução preferível é uma relação de compromisso entre as diversas necessidades. Uma solução frequentemente escolhida deve dividir a janela numa parte inferior (a janela da visão) pretendida para vistas e uma parte mais elevada (a janela da luz do dia) pretendida projectar profundamente a luz do dia no edifício. Uma outra vantagem é que os dois tipos das janelas podem ser protegidos diferentemente em função da sua utilização, controlo pelos utilizadores.

#### 3.1.2.3.3. Características dos Vãos Envidraçados em Relação à Radiação Solar

Os elementos transparentes dos vãos são os responsáveis pela entrada da radiação solar interior dos compartimentos. Das propriedades dos envidraçados depende, em grande parte, a "quantidade" e a "qualidade" da luz natural disponível no interior dos edifícios, sem falar noutros aspectos igualmente importantes (conforto térmico, acústico, consumo energético, etc.).

- a) Factor Solar do Vidro ( $g_{\perp v}$ ): A quantificação dos efeitos dos ganhos solares é efectuada recorrendo ao Factor Solar dos Vidros ( $g_{\perp v}$ ). O  $g_{\perp v}$  de um vidro, define-se como sendo o quociente entre a energia solar total transmitida e a energia solar incidente. Tipicamente, o  $g_{\perp v}$  dos vidros varia entre 0,9 e 0,1, em que os menores valores indicam menores ganhos solares. O  $g_{\perp v}$  constitui uma medida da fracção da energia solar que efectivamente penetra para o interior dos compartimentos e é variável com: o ângulo de incidência solar; as condições externas de convecção natural; a classe de exposição ao vento; a espessura do vidro.
- b) Factor solar de um vão envidraçado ( $g_{\perp}$ ) - É o quociente entre a energia solar transmitida para o interior através de um vão envidraçado com o respectivo dispositivo de protecção 100% activo e a energia da radiação solar que nele incide.

#### 3.1.2.4. Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior

Normalmente, não se consideram ganhos solares pela envolvente opaca exterior

(paredes e coberturas) no Inverno, porque estes se existirem são muito pouco significativos. Já no Verão esses ganhos solares dependem da localização do edifício (zona climática), da orientação, da inclinação, das características de absorção da radiação solar dos paramentos exteriores e do coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca.

#### 3.1.2.5. Elementos Especiais da Envolvente

O RCCTE prevê a existência de sistemas especiais (solares passivos) de captação de energia solar para aquecimento, do tipo “paredes de armazenamento térmico” (sistemas de ganhos indirectos, tipo parede de Trombe sem ventilação), desde que orientados no quadrante Sul.

Nos sistemas de ganho indirecto a radiação solar incide sobre uma massa térmica colocada entre o Sol e o espaço a aquecer. A radiação absorvida pela massa transforma-se em energia térmica e é transferida para o interior do edifício. Já que o espaço a condicionar não recebe directamente a radiação solar, os sistemas de ganho indirecto oferecem mais possibilidade de controlo das oscilações de temperatura, evitando sobreaquecimentos.

Os três sistemas base de ganho indirecto são: as paredes acumuladoras (paredes de Trombe), as paredes e coberturas de água e o ganho separado. A diferença principal entre os três sistemas é a localização da massa térmica, no primeiro caso na superfície lateral, no segundo caso na cobertura e no último caso encontra-se por baixo do espaço a climatizar [24] e [50].

Os sistemas de ganho separado são aqueles onde a captação de energia solar se realiza num espaço (estufa) separado da zona habitável do edifício.

##### 3.1.2.5.1. Parede de Trombe

As paredes acumuladoras localizadas em fachada são chamadas de parede Trombe num sentido lato, ainda que existam vários tipos, tais como:

- a) Parede acumuladora (Parede de Trombe não ventilada): a parede de armazenamento térmico sem aberturas de termocirculação é denominada parede acumuladora ou parede Trombe não ventilada [49]. Em geral o seu rendimento é menor que o de uma parede Trombe ventilada porque, ainda que a temperatura do ar entre o vidro e a parede de armazenamento seja muito superior, a distribuição do calor para o interior é menos uniforme (temos uma parede com uma transmissão de calor radiante muito elevada e as restantes superfícies frias).

O desempenho da parede acumuladora é melhor se [184]:

- o factor de obstrução for pequeno no Inverno e grande no Verão;
- o valor do Coeficiente U do vidro for grande, mas conjugado com uma grande

transmissão térmica;

- for aplicado isolamento nocturno móvel;
  - a absorção da superfície exposta for alta, pintura de cor preta ou aplicado revestimento selectivo da superfície;
  - a parede possuir uma capacidade de armazenamento bem dimensionada para devolver o calor nas horas mais necessárias.
- b) Parede dinâmica: um sistema de ventilação combinada com efeito de estufa é o sistema chamado de “parede dinâmica com efeito de estufa”, basicamente é uma parede de armazenamento com a particularidade de aquecer o ar exterior durante o dia. Durante a noite no período de Inverno, ou em dias encobertos e sem ganhos, a abertura de ventilação deverá ser encerrada, ficando a parede apenas a aquecer por radiação, como parede acumuladora;
- c) Parede de Trombe: as paredes acumuladoras podem funcionar com um sistema combinado de radiação e convecção com a aplicação de aberturas nas suas partes inferior e superior.

A opção de colocar ou não orifícios de termocirculação numa parede acumuladora depende essencialmente dos períodos durante os quais se necessita do calor. Se se necessita deste prioritariamente durante o dia, então as aberturas são fundamentais [49].

Quando a parede aquece por efeito da radiação solar, parte do calor é captado pela parede e outra é transferida ao ar encerrado entre o vidro e a parede. O calor absorvido pela parede é transmitido posteriormente por convecção e condução quando os orifícios são abertos, ou apenas por condução, quando os orifícios estão fechados, pelo que se torna mais versátil que a parede acumuladora simples.

O funcionamento correcto do sistema é muito importante. Se forem abertos os orifícios de ventilação durante as noites de Inverno, o calor do compartimento irá ser transportado pelo ar através do espaço de ar, e irá condensar nos envidraçados e na superfície da parede. A abertura inferior permite a entrada do ar frio que, ao aquecer na caixa-de-ar existente entre o vidro e a parede, diminui de densidade e sobe até sair pela abertura superior da parede, aquecendo assim o espaço interior por um sistema de circulação o ar interior. A convecção de ar na parede Trombe permite o aquecimento durante o dia, o calor transmitido por radiação pela parede deverá fornecer o aquecimento durante a noite. A eficiência do sistema pode ser melhorada com o uso de dispositivos de isolamento nocturnos. O funcionamento faz-se de acordo com a seguinte sequência [24]:

- Inverno, dia: os orifícios de ventilação apenas deverão ser abertos, quando a temperatura no espaço de ar excede a temperatura do compartimento e seja necessário o aquecimento. O dispositivo móvel deverá estar aberto;
- Inverno, noite: para reduzir as perdas de calor, o eventual dispositivo de oclusão nocturno deverá estar fechado, bem como os orifícios de ventilação;
- Verão, dia: os orifícios de ventilação devem estar fechados e deverá ser previsto o sombreamento do sistema;



- Verão, noite: para facilitar o arrefecimento da parede, devem ser abertos os orifícios de ventilação exteriores.

A superfície óptima das aberturas de termocirculação está entre 0,5% e 3% da superfície total da parede de Trombe. As aberturas serão maiores quando o calor durante o dia é mais necessário (ganhos por convecção). O caudal de ar quente regula-se por persianas móveis situadas nas aberturas de termocirculação [49]. Os orifícios devem dispor de redes mosquiteiras para prevenir a entrada de insectos, bem como dispor duma válvula (geralmente uma lâmina de polietileno) nas aberturas superiores para evitar que a parede de Trombe inverta o sentido de circulação do fluxo de ar durante a noite, arrefecendo assim o espaço interior [49]. Tal como na parede acumuladora, o rendimento da parede de Trombe pode ser incrementado consideravelmente isolando o vidro exterior durante a noite. Durante o Verão a Parede Trombe pode ser aproveitada como bomba de ar quente, favorecendo a ventilação do edifício, fechando a abertura superior na parede e abrindo uma abertura superior no vidro exterior. O ar quente do interior do edifício é absorvido pela baixa pressão criada na caixa-de-ar e são praticadas aberturas na parede Norte para entrada de ar mais frio.

No quadro 3.1 são apresentadas as principais vantagens e reservas da parede de Trombe, ganhos indirectos, relativamente aos sistemas de ganhos directos.

**Quadro 3.1 - Vantagens e inconvenientes da parede de Trombe.**

<b>Vantagens</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- sistema de aquecimento passivo de baixa manutenção;</li> <li>- reduz o consumo de energias não renováveis para o aquecimento (vantagens económicas e ambientais);</li> <li>- protecção contra a degradação ultravioleta e privacidade no compartimento interior;</li> <li>- a flutuação de temperatura no espaço habitado é mais baixa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- não permite a iluminação natural;</li> <li>- formação de condensações no envidraçado (humidificação dos materiais de construção, favorecendo a sua degradação precoce);</li> <li>- comportamento durante longos períodos de céu nublado. Sem radiação solar, a parede não funciona, sendo necessário recorrer a soluções de aquecimento convencionais. A elevada massa da parede e a ausência de isolamento térmico propiciam a perda de parte do calor produzido no interior, retardando o aquecimento;</li> <li>- elevada espessura total da parede, o que diminui o espaço útil de construção;</li> <li>- maior custo de construção (necessidade de se construir duas paredes voltadas a Sul - uma em vidro e outra opaca).</li> </ul>

#### 3.1.2.5.2. Paredes de Água

Neste tipo de parede, a água é o elemento de armazenamento térmico. Para isso deverá ser contida em recipientes estanques de cor escura ou selectiva para absorver o máximo de radiação solar. A sua capacidade de armazenamento de calor é dez vezes mais elevada do que as paredes de alvenaria de tijolo furado e cinco vezes superior, por exemplo, à do betão, devido ao seu elevado calor específico. Para armazenar a mesma quantidade de energia é necessário apenas 1/5 da massa de água relativamente ao betão [49]. Devido ao elevado calor específico e condutibilidade da água, incrementada pelos

fluxos convectivos, existe uma diferença fundamental entre o funcionamento numa parede de água e de uma parede de Trombe. Na parede de Trombe existe um grande desfaseamento temporal entre a absorção da energia e a sua cessação ao ambiente. No caso da parede de água, não isolada, a transferência de calor é muito rápida, o que requer um controle adicional da distribuição de calor no interior do espaço a aquecer. Este controle pode fazer-se isolando a armazenagem de calor durante o dia e retirando este isolamento à noite. Este efeito também se pode conseguir pelas características dos contentores utilizados, nomeadamente a sua espessura e dimensões. Assim, os pequenos depósitos têm, para um volume de água total igual, uma superfície de troca com o ambiente maior que os grandes depósitos e portanto uma libertação de calor mais rápida. Por todos estes factos não existe uma espessura óptima para uma parede de água, já que não se pode concluir que a uma maior espessura corresponde um melhor rendimento. No entanto, a partir dos 15 cm de espessura, o incremento da eficácia não é significativo comparado com o sobrecusto e a perda de espaço habitável que implica [49]. Para prevenir que a água gele e se dê o desenvolvimento de fungos, deverá ser acrescentada à água propilo-glicol, bem como óleos especiais para evitar a corrosão dos recipientes (quando metálicos) [49]. Por outro lado, para permitir a dilatação da água ao aquecer, os recipientes não deverão ser totalmente cheios, de forma que 10% do seu volume total fique vazio. Existem já algumas soluções translúcidas, utilizando tubos transparentes de poliéster que, uma vez cheios de água têm uma transmitância à luz do sol de cerca de 20% [24].

Os sistemas de paredes de água apresentam o inconveniente do possível perigo de derrame da água depositada e também do ruído ocasionado pela água ao dilatar sobre as paredes dos depósitos.

#### 3.1.2.5.3. Coberturas de Água

Neste sistema coloca-se sobre a laje da cobertura uma massa de água exposta à radiação solar, para absorver e armazenar calor. A água é usualmente contida em recipientes, sobre os quais se coloca uma cobertura plástica com o fim de limitar as perdas por convecção para o exterior. A parte interior da cobertura é usualmente de chapa metálica, com um tratamento anti-humidade, para favorecer a transmissão de calor para o interior, por radiação. Como a distribuição de calor desde a cobertura não é ideal, (já que a estratificação do ar limita o conforto) o pé-direito deverá ser o menor possível, pois a intensidade da radiação decresce rapidamente com a distância. O sistema de cobertura de água dispõe usualmente dum isolamento móvel, necessário para reduzir no Inverno as perdas de calor não desejadas durante a noite e evitar, no Verão, os ganhos solares excessivos durante o dia [49].

Nos dias de céu limpo de Inverno a água absorve a energia solar, cedendo uma parte ao ambiente interior e armazenando o resto. Durante a noite, a cobertura de água com isolamento móvel irradia calor armazenado durante o dia. Durante os dias quentes de Verão, o isolamento móvel é utilizado para impedir que a radiação solar aqueça a água. Nestas condições a água está mais fria que o ambiente interior e produz-se uma refrigeração deste por transferência de calor para a massa de água. Durante a noite o

isolamento móvel é retirado e a água refrigera-se ao irradiar o calor armazenado para o exterior [49].

#### 3.1.2.5.4. Estufas

O primeiro requisito para a introdução numa estufa numa habitação é dispor de um espaço orientado a Sul. As superfícies vidradas a Este, Oeste e da cobertura deverão ser reduzidas ao mínimo, ou mesmo ser opacas, já que proporcionam pouco calor no Inverno e produzem problemas de sobreaquecimento no Verão e nas estações intermédias [24].

Quando a área de envidraçado da estufa é pequena em comparação com a área útil do edifício, não se torna necessária massa térmica, sendo o ar quente introduzido na habitação através de aberturas ou por ventilação forçada. Quando a proporção da superfície de vidro captador em relação à área útil da habitação é de 1/6 ou mais, deverá ser incluída massa térmica para reduzir as flutuações de temperatura na estufa. Uma parede de separação habitação/estufa de 20 a 30 cm de material pesado, um pavimento de estufa de 10 a 15cm de betão ou bidões de água poderão ser utilizados para este fim [24].

Um outro aspecto é o isolamento da estufa durante a noite. Deverá ser isolada tanto a superfície vidrada (com um estore que proporcione algum isolamento térmico nocturno) como as paredes e vãos de separação entre a estufa e a habitação.

A estufa aplicada enquanto sistema de ganho directo (estufa adossada) tem alguns conceitos e princípios de funcionamento comuns aos numa estufa agrícola, já que em ambos os casos se pretende a criação de um microclima, onde a temperatura é incrementada por influencia da radiação solar, sendo o mecanismo que ocasiona este incremento o efeito de estufa.

Vários aspectos são importantes na concepção de estufas, dos quais se destacam:

- orientação: desta depende em grande medida a eficácia da captação de energia solar por parte da estufa. A orientação a Sul é sempre a óptima para a estufa adossada, já que neste caso o importante é o incremento dos ganhos na estação fria;
- o tipo de estrutura: dependendo do material que se utilize, o tipo de estrutura do caixilho vai influenciar o factor de obstrução do sistema, pelo que se torna importante otimizar este, para além do aspecto económico;
- o material transparente empregue: o mais importante factor é o tipo de material transparente utilizado. Deste depende a quantidade de energia transmitida e retida, em função da selectividade do seu espectro. As suas características fixam a opacidade aos comprimentos de onda larga e portanto estabelecem a intensidade do efeito de estufa [24].

#### 3.1.3. Armazenamento Térmico

O objectivo do armazenamento térmico é reter o calor que excede as necessidades imediatas com o objectivo poder liberá-lo quando for necessário. A radiação solar que

incide num material é absorvida em parte por este, transformada em calor e armazenado na sua massa. O material é então aquecido progressivamente por condução enquanto o calor é difundido. Este processo, que é chamado armazenamento directo, atrasa os efeitos da radiação solar captada e evita um sobreaquecimento demasiado rápido. A capacidade de armazenamento térmico de um material depende do seu calor específicos e densidade. O calor específico expressa a capacidade de um material para armazenar o calor por unidade de volume e por 1°C de subida de temperatura. Materiais que têm uma elevada condutividade térmica permitem que o calor penetre rapidamente. O calor é geralmente armazenado em componentes pesados do edifício, tais como os elementos de betão e de alvenaria.

A temperatura do ar interior é em primeiro influenciada por parâmetros climáticos exteriores (radiação solar, temperatura exterior) e pelos ganhos internos variáveis (actividade humana, luzes, equipamento), bem como pelos elementos de construção. As condições interiores variam com as condições que prevalecem no exterior. O calor que entra num compartimento através da radiação solar directa e/ou que é produzido por uma fonte interna vai ser absorvido pelos elementos de construção ou vai aumentar a temperatura do ar interior. Estes dois fenómenos variam, de forma inversa, o que pode ser útil quer de Inverno, quer de Verão. Os elementos de construção restituem o calor ao ambiente quando a temperatura deste é mais baixa:

- quanto maior é a capacidade de armazenamento de calor menor é a flutuação da temperatura no interior do edifício;
- a colocação de isolamento térmico na superfície interior dos elementos da construção, nos casos em que interessa obter uma inércia térmica, é desaconselhável porque neutraliza a absorção de calor por parte destes elementos.

Para que os ganhos solares obtidos pela captação da radiação solar durante o dia, ganhos térmicos brutos, se traduzam num aquecimento útil do ambiente interior sem originar o sobreaquecimento interior, têm que ser convertidos em ganhos úteis durante a noite. De acordo com o RCCTE [1] essa conversão é feita através do factor de utilização dos ganhos térmicos ( $\eta$ ), em função da classe de inércia térmica do edifício (forte, média ou fraca) e da relação entre os ganhos solares brutos e as perdas térmicas totais do edifício.

#### 3.1.3.1. Conceito de Inércia Térmica e sua Avaliação

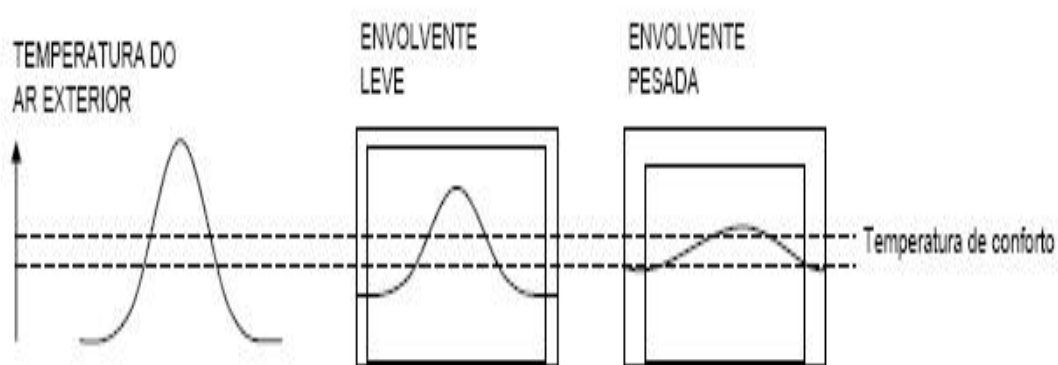
Um corpo aquece quando a temperatura do meio que o envolve sobe. Se a temperatura sobe lentamente é dito que o corpo tem uma grande inércia térmica enquanto se a temperatura subir rapidamente diz-se que o corpo tem baixa inércia térmica.

O conceito da inércia térmica é uma noção que cobre a acumulação do calor e sua subsequente libertação com um retardamento no tempo de acordo com as características físicas, dimensionais e ambientais do elemento de armazenamento. A retardação no tempo é o tempo que decorre entre o ponto da temperatura máxima alcançando na superfície exposta do material e o ponto em que a temperatura máxima é alcançada na superfície oposta. Uma inércia térmica forte permite a absorção do

calor durante o dia e só ser reemitido durante a noite quando a temperatura do espaço diminui. Deste modo há então dois conceitos que importa referir: desfasamento (da temperatura interior em relação à temperatura exterior) e amortecimento (os picos de temperatura interior são amenizados), são uma consideração muito importante para o Verão.

A inércia térmica é então muito importante nos edifícios bioclimáticos. Se eles tiverem uma baixa inércia térmica vão reagir rapidamente à radiação solar aquecendo rapidamente durante o dia mas também arrefecendo rapidamente à noite. Por outro lado, edifícios com grande inércia térmica vão-se manter mais tempo frescos durante o dia, enquanto armazenam o calor, que vão libertar lentamente à noite.

Um exemplo deste tipo de comportamento é dado na Figura 3.2. Em que se pode observar como variação da temperatura interior de um edifício em função da sua inércia térmica e da temperatura exterior.



**Figura 3.2** - O efeito da inércia térmica no conforto interior.

A inércia térmica desempenha um papel fundamental no tipo de clima Português, impedindo o sobreaquecimento dos edifícios no Verão e contribuindo para um melhor aproveitamento dos ganhos solares para aquecimento passivo no Inverno. As técnicas construtivas normalmente utilizadas em Portugal conferem ao edifício uma inércia forte pavimentos e coberturas em betão, paredes divisórias em alvenaria, etc., a menos que tenham acabamentos interiores leves (alcatifas, madeira leve, tectos falsos, isolantes térmicos, etc.) a eliminem [27].

O modo como se distribui a massa dos elementos opacos, ao longo da sua secção transversal, influencia apreciavelmente a eficiência térmica do edifício, tanto na situação de Inverno como na de Verão. Com efeito, quanto maior for a massa de um elemento de construção, maior será a sua capacidade de armazenar energia térmica [9]. Deste modo, conceber um elemento opaco (parede, pavimento ou tecto) que posicione os elementos de maior massa do lado interior do isolamento térmico favorece os objectivos a atingir nas duas estações:

- na situação de Inverno, nos compartimentos com vãos envidraçados orientados no Quadrante Sul e nos compartimentos com fontes de aquecimento no seu interior, em que o objectivo principal será dificultar as perdas para o exterior, colocar os elementos de maior massa em contacto com o ar interior aquecido irá permitir uma

maior recuperação da energia dispendida. O isolamento térmico, situado imediatamente a seguir a estes elementos, dificulta as trocas térmicas para o exterior havendo, deste modo, uma radiação diferida para o interior, amortecendo o efeito do abaixamento de temperatura após ser desligado o aquecimento, e permitindo que as condições de conforto se mantenham por mais algum tempo;

- na situação de Verão, encontram-se os elementos de menor massa voltados para o exterior e à radiação solar, agora pelas mesmas razões, mas em sentido inverso, terão mais dificuldade em armazenar energia e em transmitir o calor por condução para o interior do edifício, evitando deste modo o sobreaquecimento.

Uma forma de incrementar a inércia térmica dum edifício consiste em aumentar a espessura das paredes, utilizar materiais densos ou enterrar as construções. A razão deste fenómeno deve-se ao facto da grande espessura das paredes de pedra ou a terra implicarem uma grande inércia térmica. Estas barreiras térmicas têm um ciclo que, entre armazenagem e reemissão do calor, pode durar várias horas ou mesmo vários dias e meses. A magnitude e configuração da massa interior pode e deve ser determinada por forma a armazenar calor de acordo com as amplitudes térmicas diárias e com o tipo de ocupação, por exemplo para conseguir manter uma temperatura interior amena, durante a noite, em dias frios. A opção por uma forte ou fraca inércia térmica depende especialmente do tipo de clima.

#### 3.1.3.2. Quantificação da Inércia Térmica Interior ( $It$ )

A inércia térmica interior de uma fracção autónoma, segundo o RCCTE [1], é calculada em função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

#### 3.1.3.3. A Inércia Térmica e os Compartimentos Orientados no Quadrante Sul

Nos compartimentos com ganhos solares directos através dos vãos envidraçados orientados no Quadrante devem Sul, as paredes e os pavimentos devem fornecer a capacidade térmica adequada para impedir as flutuações da temperatura durante o Verão e permitirem o armazenamento durante as horas de incidência da radiação solar que será depois liberada como calor ao ar do compartimento, no Inverno.

#### 3.1.3.4. A Inércia Térmica e a Ventilação

Durante a estação de aquecimento a circulação de ar contribui para aumentar as perdas de calor, mas pode também distribuir os ganhos solares armazenados na massa dos elementos de construção dos compartimentos com ganhos solares consideráveis para outras zonas do edifício. Durante a estação de arrefecimento a circulação de ar contribui para a diminuição da temperatura interior e ainda para a remoção do calor armazenado na massa dos elementos de construção.

### 3.1.3.5. Elementos Especiais para Armazenamento

No sistema de ganho directo o compartimento a aquecer dispõe de vãos envidraçados orientados a Sul de forma a possibilitar a incidência da radiação no compartimento e nas massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos).

Nos sistemas de ganho indirecto a massa térmica dos sistemas é interposta entre a superfície de ganho e o compartimento a aquecer. A massa térmica absorve a energia solar nela incidente sendo posteriormente transferida para o espaço. Nestes sistemas verifica-se um desfasamento da onda de calor transmitida para o espaço e o ciclo da radiação solar. Os espaços onde estes sistemas se encontram integrados apresentam temperaturas mais elevadas no final da tarde e início da noite. Existem diversos sistemas de ganho indirecto, nomeadamente: parede de Trombe, colunas de água, massa térmica móvel, etc.

### 3.1.3.6. A Inércia Térmica e a Reabilitação

A colocação de isolamento térmico na superfície interior dos elementos da construção, nos casos em que interessa obter inércia térmica forte, é desaconselhável porque neutraliza a absorção de calor por parte das paredes.

As soluções de isolamento térmico de paredes pelo exterior têm como vantagem, a disponibilidade total da capacidade térmica da parede para a inércia térmica do edifício.

Note-se, no entanto, que por outras razões, pode ser conveniente a escolha do sistema de isolamento pelo interior. Há que estar atento e compensar essa perda de capacidade de armazenamento térmico com outras medidas.

## 3.1.4. Conservação da Energia

### 3.1.4.1. Forma do Edifício

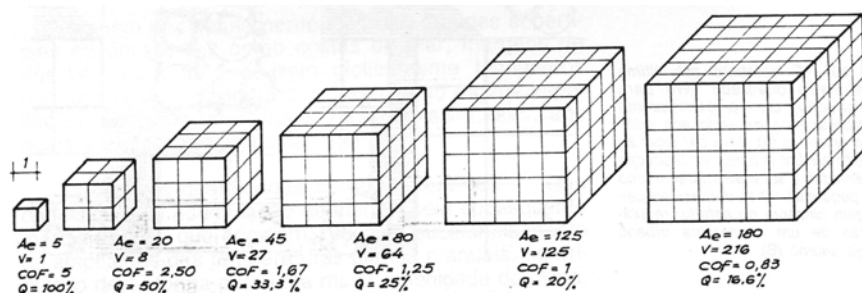
O projecto solar passivo deverá começar por uma criteriosa escolha da implantação e da orientação do edifício. Depois durante o estudo da forma poderão ser concebidas soluções que promovam uma melhor adaptação ao clima que outras. Também na escolha dos materiais a utilizar e nas soluções construtivas da envolvente poderão existir inúmeras questões.

A forma do edifício tem um papel importante enquanto determina a área da superfície da envolvente exterior. Em termos gerais, o Factor de Forma é expresso pela razão entre a área superfície da envolvente exterior e o volume. As perdas de calor são proporcionais à área de superfície da envolvente. Quanto mais compacto for o edifício, menores são as suas perdas de calor.

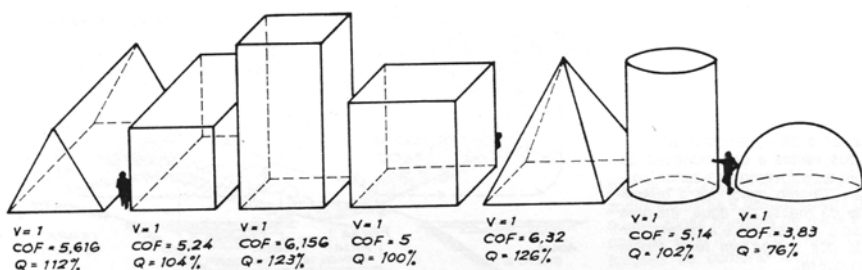
## 3.1.4.1.1. Forma do Edifício e a Conservação de Energia

Os parâmetros relacionados com a forma do edifício devem ser determinados nas fases iniciais do projecto. Por exemplo, a densidade do local e a orientação do edifício podem ser ditadas pelo projecto urbano e pelas condições do local; o tipo e o tamanho do edifício e a forma do edifício deverão estar relacionados com os custos de edifício. Não obstante, o conhecimento das variações no acesso solar, exposição e perda de calor pela envolvente resultam da forma e da configuração do edifício, pode ser uma ajuda considerável na manutenção dos benefícios conseguidos com a implantação ou em aliviar as condicionantes da localização.

Para minimizar as perdas e os ganhos através da envolvente de um edifício uma forma compacta é desejável. O edifício ortogonal mais compacto é então um cubo, figura 3.4. Esta configuração, entretanto, pode colocar uma grande parcela da área de pavimento longe da iluminação natural do perímetro. No oposto a este, encontra-se o edifício que otimiza a iluminação natural e a ventilação que deve ser alongado de modo que a maioria da área do edifício fique mais próxima do perímetro.



**Figura 3.3** - Forma constante com volume e área exterior ( $A_e$ ) variáveis (o factor de forma decresce com o aumento do volume) <sup>1</sup> [31].



**Figura 3.4** - Várias formas com volume unitário ( $V=1$ ) e factor de forma ( $COF$ ) e perdas térmicas ( $Q$ ) variáveis (calote esférica forma mais optimizada) [31].

A planta e a forma do edifício nascem de um processo complexo. Todas as considerações técnicas, funcionais e estéticas contribuem para a concepção final. O efeito da forma do edifício nas perdas de calor é em grande parte função do grau de exposição da envolvente exterior à temperatura e às condições de vento [28].

<sup>1</sup> O factor de forma ( $COF$ ) indicado nas figuras 3.3 e 3.4 não corresponde a factor de forma do RCCTE, sendo igual à razão entre a área da envolvente e a área útil de pavimento.



A configuração do edifício, tanto em planta como em altura, atendendo às suas necessidades de aquecimento, arrefecimento, iluminação e ventilação, contribui significativamente para reduzir o consumo de energia do edifício.

Tem que existir uma conjugação da forma com a orientação do edifício, uma compensação entre uma forma compacta que minimize a transferência por condução de calor através da envolvente e uma forma que facilite a iluminação natural, os ganhos solares, e a ventilação natural. O edifício mais compacto teria a forma de uma calote esférica como os igloos, ver figura 3.4, e teria menos perdas e ganhos através da envolvente do edifício. Entretanto, a não ser nos edifícios quadrados mais pequenos, a maior parte da área de pavimento do edifício está longe da iluminação natural do seu perímetro. Um edifício que optimize a iluminação natural e a ventilação natural terá uma configuração de modo a que maior área de pavimento fique perto do seu perímetro. Quando uma forma estreita parece comprometer o desempenho térmico do edifício, a carga eléctrica e as economias conseguidas na carga de arrefecimento por um sistema bem concebido de iluminação natural mais do que compensam o aumento das perdas pela envolvente.

#### 3.1.4.1.2. Forma do Edifício e a Exposição ao Vento

Tem que se ter em consideração o efeito da forma do edifício e da cobertura no acesso solar e na exposição ao vento. A forma do edifício pode reduzir as infiltrações e ar, tendo em conta que:

- um edifício significativamente mais alto do que os edifícios à sua volta pode experimentar elevadas cargas de vento e dos ventos concentrar ao nível dos passeios;
- um edifício com alturas similares com os edifícios em seu redor está protegido das grandes cargas do vento e dos ventos concentrar ao nível dos passeios;
- a entrada recuada fornece ventos baixos na posições da porta;
- a entrada nos cantos pode acentuar a concentração do vento no canto do edifício;
- um edifício alto concentra o vento na base;
- as aberturas através de um edifício na base podem induzir velocidades elevadas na abertura.

#### 3.1.4.1.3. Espaços Tampão

A utilização de espaços tampão, protecção com terra e elementos de construção comuns (paredes e pavimentos) é uma forma de reduzir as perdas de calor durante a estação de aquecimento e de reduzir os ganhos no Verão. Os “espaços tampão” são zonas do edifício não aquecidas, tais como: arrumos, garagens, etc., e zonas sem grandes exigências térmicas: circulações. Em paredes exteriores sem ganhos solares (orientadas a Norte), as perdas térmicas podem ser reduzidas recorrendo à utilização dos “espaços tampão” ou à protecção de terra. Nos edifícios enterrados procura tirar-

se partido da pequena variação de temperatura que se verifica a certa profundidade do solo, quer ao longo do dia quer ao longo do ano podendo assim beneficiar-se, quer em condições de Inverno, quer em condições de Verão, de condições de conforto com baixos custos energéticos.

#### 3.1.4.1.4. Formas Irregulares

Como foi referido anteriormente, quanto mais compacta for a forma de um edifício, com poucas saliências e reentrâncias, quanto menor for superfície exterior, mais reduzidas são as perdas de calor e melhor será o seu balanço térmico global. Porque, a forma e a composição volumétrica da envolvente do edifício têm também um efeito na perda de calor e na exposição aos ventos frios. Os planos inclinados e as formas irregulares tendem a aumentar a área da envolvente exterior. As formas geométricas complexas e a projecção das saliências tendem a criar o sombreamento, afectando as fachadas do próprio edifício bem como os espaços exteriores e edifícios adjacentes.

No caso de plantas com configurações irregulares, em L e em U, com cruzamentos de secções complicados (reentrâncias e saliências), deve-se ter em consideração que todas as junções formadas entre os elementos do edifício em diferentes planos podem causar sombreamento, pontes térmicas e infiltrações de ar devidas a perturbações na direcção do vento. De preferência orientar o edifício em relação aos ventos dominantes com uma forma exterior convexa, porque a reflexão da pressão do vento na superfície de um edifício circular diminui mais rapidamente do que num edifício plano ou em forma de U. Em alguns casos, a forma em L, a forma em U ou outras formas irregulares são adoptadas para razões de privacidade, ou com o objectivo de inserir uma estufa “Espaço tampão” integrada num piso do edifício. A projecção das saliências dessas formas podem provocar o sombreamento, mas as pequenas saliências bem orientadas e dimensionadas pode aliviar este problema.

#### 3.1.4.2. Iluminação Natural nos Edifícios

A iluminação constitui um dos principais factores condicionantes da qualidade ambiental no interior dos edifícios, sendo que a sua principal função consiste em proporcionar um ambiente visual interior adequado, assegurando as condições de iluminação necessárias à realização das actividades visuais. Essas condições devem incluir a garantia dos mais adequados níveis de iluminação, a existência de conforto visual para os ocupantes e, ainda, os benefícios mais subjectivos, decorrentes da utilização da luz natural em vez da luz artificial e do contacto com o ambiente exterior através dos vãos envidraçados.

São vários os factores que podem condicionar o aproveitamento da iluminação natural nos edifícios em condições de eficiência energética, nomeadamente a influencia [32]:

- das características climáticas;
- do tipo de edifícios;
- da forma e da localização do edifício;

- dos padrões de ocupação dos edifícios/compartimentos;
- das necessidades de aquecimento e arrefecimento para manutenção do conforto ambiental interior;
- das estratégias de iluminação natural;
- do tipo de sistemas de sombreamento e das suas estratégias de controlo;
- do tipo de sistemas de iluminação artificial e das suas estratégias de controlo;
- das atitudes dos ocupantes.

As condições de iluminação natural de um determinado compartimento serão tanto melhores nas zonas afastadas do(s) vão(s) envidraçados se se verificarem as seguintes condições [30]:

- a profundidade do compartimento não deve ser muito superior à sua largura;
- a profundidade do compartimento não deve ser muito superior à altura da janela (relação entre 1:1,5 e 1:2);
- as superfícies, nas zonas opostas à(s) do(s) vão(s), devem ser claras.

#### 3.1.4.3. Organização Interna dos Espaços

É ao nível dos compartimentos interiores que se colocam as exigências de conforto térmico, visual, acústico e da qualidade do ar. Na concepção dos espaços interiores e na sua organização, o projectista deverá ter em consideração a função de cada compartimento, a sua orientação e exposição, o dimensionamento da área dos vãos envidraçados, o tipo de superfície de cada compartimento (massa térmica dos elementos construtivos e tipo de revestimento), as trocas de calor possíveis entre compartimentos determinadas, em parte, pela sua organização interna, características de funcionamento dos sistemas de aquecimento, de iluminação e de ventilação previstos e pelos ganhos internos, em função do tipo de ocupação. É então, ao nível do compartimento que é necessário especificar e agrupar as exigências ambientais do projecto. As principais considerações de projecto são:

- orientação dos compartimentos em função dos ganhos solares, e outras exigências ambientais do projecto;
- orientação dos compartimentos em função da inércia térmica;
- zonamento térmico;
- troca de calor na vertical e na horizontal;
- utilização de espaço tampão.

##### 3.1.4.3.1. Distribuição da Área Útil de Pavimento

Geralmente, quanto maior for o compartimento e/ou mais elevada tem de ser mantida a temperatura, maior é a quantidade de calor necessária para alcançar a temperatura

de projecto. Assim, os objectivos principais do projecto têm que ser identificados para o compartimento em questão e têm que ser considerados ao nível da organização interna. O aquecimento solar passivo pode fazer uma contribuição positiva em alguns compartimentos; entretanto, isto estará dependente em grande parte do projecto dos vãos envidraçados e das propriedades dos elementos que envolvem o compartimento.

Do ponto de vista da concepção passiva dos edifícios, a organização interna dos espaços tem influencia decisiva no seu comportamento térmico devendo por isso ser efectuada em função do tipo de compartimento e do padrão de ocupação, atendendo à orientação de cada fachada, no que diz respeito à incidência de radiação solar. Cada localização deve ser tratada de um modo diferente para se obterem os melhores resultados. Outras considerações que para além dos ganhos solares influenciarão a escolha da distribuição interna (vista, privacidade, segurança, comodidade, etc.). Seguidamente, refere-se alguns dos aspectos essenciais relacionados com as exigências térmicas dos compartimentos e a sua orientação:

- a) Sala: A maior necessidade de calor nos edifícios está geralmente associada com as salas, sala de estar e sala de jantar; estes tendem a ser os compartimentos maiores e são aquecidos geralmente com temperaturas mais elevadas do que o resto do edifício, dado serem destinados à permanência prolongada de pessoas em actividade sedentária. Em geral, os seus ganhos internos, principalmente devido aos ocupantes, dispositivos audiovisuais e à iluminação artificial, são modestos em comparação com os obtidos em outros espaços do edifício, nomeadamente na cozinha, pelo que uma orientação a Sul é sempre muito vantajosa. O uso de protectores móveis durante a noite ou a adopção de vidros duplos com baixa - emissividade é muito recomendado para compartimentos com janelas grandes ou que necessitam de ser mantidos com temperaturas elevadas;
- b) Cozinha: O espaço da cozinha é aquele em que, normalmente, os ganhos internos são maiores, devido ao funcionamento dos electrodomésticos, nomeadamente o fogão. É importante, entretanto, assegurar que toda a humidade resultante seja removida na origem para impedir a condensação. As cozinhas por norma é frequentemente dada uma orientação a norte, na suposição que o acesso à luz do sol não é um benefício e pode se transformar num incómodo. Esta é talvez uma boa opção para cozinhas mais pequenas em que a permanência das pessoas coincide com o funcionamento dos aparelhos. Certamente, uma orientação a Oeste deve ser evitada porque envolverá ganhos solares, por vezes quando menos são desejados – nas tardes de Verão, por exemplo, quando podem coincidir com o pico das temperaturas exteriores e com os ganhos internos. A orientação deve ser considerada com mais cuidado no caso da cozinha sirva também como sala de jantar permanentemente ocupada. Assim, não há necessidade de garantir uma orientação Sul, embora seja conveniente fornecer uma adequada iluminação natural, é provável que seja desejável uma janela razoavelmente grande, mas esta será uma desvantagem do ponto de vista do conforto térmico se estiver orientada a norte. A orientação Nascente pode ser uma solução bastante satisfatória.
- c) Quartos: A exigência de conforto térmico de um quarto variar consideravelmente dependendo do tipo de ocupação. Tais variações merecem ser consideradas na organização interna dos espaços e na especificação de dispositivos e de

controladores do aquecimento. Afectarão as trocas térmicas entre diferentes espaços de um edifício bem como todo o desempenho térmico e o conforto dos ocupantes. Os quartos que estão desocupados durante o dia e apenas são, ligeiramente aquecidos à noite não colocam grandes exigências em termos de orientação, mas isso por sua vez pode variar muito ao longo do tempo com mudanças na composição do agregado familiar. Por exemplo, os bebés, as crianças pequenas ou idosos podem necessitar de temperaturas mais altas nos quartos e, por vezes, em períodos diurnos. O mesmo se aplica se o quarto for utilizado como local de trabalho e de estudo. Por outro lado, os quartos não têm, por norma, ganhos internos apreciáveis. Sendo assim, a existência de ganhos solares nos quartos será sempre vantajosa, especial onde há uma utilização de dia, e podem reduzir o uso do aquecimento convencional, mas nem sempre imperiosa;

- d) Instalações Sanitárias: As instalações sanitárias tendem a ser os compartimentos mais negligenciados, colocados frequentemente em localizações escuras e por vezes mesmo em zonas não aquecidas. Em períodos de tempo limitados, as instalações sanitárias são espaços que necessitam de condições térmicas particulares, para obter um conforto aceitável e impedir a condensação, mas não é fácil garantir essas condições recorrendo aos ganhos solares. Assim, estes espaços podem não estar orientados a Sul e a estratégia deverá ser protegê-los, o mais possível, da exposição exterior;
- e) Espaços não aquecidos: Quando é dada uma orientação a Sul, a espaços não aquecidos, ou a espaços mantidos a temperaturas mais baixas, funcionam bem como colectores solares. A estufa é um exemplo deste princípio. A caixa de escadas, circulações, garagens, etc., será conveniente usar estes espaços como espaços tampão “amortecedores térmicos”, com uma orientação norte.

#### 3.1.4.3.2. Zonamento Térmico e a Troca de Calor na Vertical e na Horizontal

Na organização dos espaços do edifício, é importante empregar o conceito do zonamento térmico para criar uma distribuição racional do calor e para reduzir as perdas térmicas. Uma maneira de obter isso é localizar os espaços com maiores exigências de energia na fachada Sul e colocar os outros espaços do lado Norte do edifício.

Assim, para otimizar a utilização da energia, é importante analisar o presente, e se possível, as necessidades de energia futuras dos utilizadores em qualquer parte do edifício, tendo em conta a organização interna e o aquecimento adicional, iluminação, arrefecimento, ventilação para satisfazer as suas necessidades.

- as áreas com exigências de energia similares ou funções interdependentes devem ser agrupadas;
- as áreas que requerem um nível mais baixo de conforto ambiental, tal como os espaços de circulação e espaços para arrumos, devem ser utilizados como zonas de amortecedor térmico “espaço tampão” protegendo o conforto nos espaços mais sensíveis;

- as áreas que produzem energia em excesso devem ser localizadas adjacentes às secções que requerem energia suplementar.

Uma diferença de temperatura entre compartimentos inicia as trocas térmicas dos compartimentos mornos para os mais frescos. Isto pode ser desejável em algumas circunstâncias – por exemplo, o excesso dos ganhos de calor num compartimento pode contribuir para o aquecimento de outro - e indesejável em outras. O valor de tais trocas é influenciado pela distribuição em planta e pela área dos compartimentos, da abertura e do fecho das portas, das propriedades térmicas dos elementos de compartimentação interiores, paredes e pavimentos, e das diferenças de temperatura.

Para além da organização dos espaços de acordo com as características térmicas das fachadas, é importante também acautelar a sua distribuição vertical, nomeadamente em edifícios em que as circulações verticais favoreçam a deslocação de massas de ar entre os diferentes pisos. Deve-se, se possível, colocar os espaços com maiores ganhos internos, maior densidade de ocupação e de equipamento, nos pisos inferiores e os com menores ganhos nos pisos superiores. Desta forma, durante o Inverno, a ascensão do ar quente dos pisos inferiores irá beneficiar os espaços de menores ganhos, atenuando os gradientes térmicos no interior do edifício. No Verão, se se criarem aberturas ao nível da cobertura, todo o edifício funcionará como uma chaminé, promovendo a exaustão do ar quente dos pisos inferiores.

As trocas térmicas através das paredes divisórias, das portas e dos pavimentos interiores são também uma consideração importante. Os dispositivos de aquecimento escolhidos e o sistema de controlo terão um papel importante no uso da energia e no conforto dos ocupantes e assim como na flexibilidade e no potencial para a mudança de utilização do compartimento. Finalmente, a natureza e o valor de ganhos internos, e sua interacção com os ganhos solares e o aquecimento convencional, intervêm também no uso da energia e no conforto dos ocupantes.

#### 3.1.4.4. Concepção da Envolvente Opaca do Edifício

##### 3.1.4.4.1. Isolamento da Envolvente Opaca do Edifício

A resistência térmica de um elemento da envolvente opaca é inversamente proporcional à condutibilidade térmica dos materiais que a constituem e aumenta com espessura. A maneira mais apropriada para melhorar a resistência térmica da envolvente de um edifício deve ser aplicar camadas de isolamento que reduzem consideravelmente as perdas por condução. Além disso, este isolamento tem a vantagem de melhorar a sensação de conforto mantendo a temperatura da superfície das paredes nos compartimentos a um nível mais elevado.

O nível de isolamento térmico ideal pode variar de edifício para edifício. Onde for necessário arrefecer é devido às fontes de calor internas e aos ganhos solares excessivos combinados com as condições de tempo favoráveis, o isolamento térmico tem um efeito desfavorável já que o objectivo da sua aplicação é conservar o calor dentro do compartimento. Num entretanto, um edifício com uma baixa taxa de

ocupação, com ganhos internos limitados, e ganhos solares reduzidos, o aquecimento será o interesse principal e o isolamento térmico pode ter o papel principal na economia da energia.

Devido ao comportamento sob a acção da água de alguns isolantes, nomeadamente, as placas de aglomerado de cortiça expandida, as placas de lã mineral e algumas espumas de poliuretano, a sua utilização exige a adopção de disposições complementares assegurando a protecção face ao risco de contacto prolongado do isolante com a água, e de infiltrações de água da chuva.

Na Informação Técnica de Edifícios do LNEC ITE 50 [33], apresentam-se os valores convencionais de cálculo, por um lado, de condutibilidades térmicas de materiais e de resistências térmicas superficiais, de espaços de ar não-ventilados e de alguns elementos opacos de construção e, por outro lado, os coeficientes de transmissão térmica de soluções correntes das envolventes opacas e envidraçadas dos edifícios.

Se o desvão não é habitado (não-acessível ou utilizado apenas para arrumos) a aplicação do isolante nas vertentes apresenta alguns inconvenientes, nomeadamente: conduz a uma área maior (maior custo) da respectiva aplicação; define um volume não habitado, desnecessariamente climatizado (aquecido, arrefecido ou ambas e, portanto, maior consumo de energia); e, sem perda da eficácia do isolamento térmico, não permite a adequada e benéfica ventilação do desvão.

A aplicação do isolante pelo interior é fortemente desaconselhada, em virtude de conduzir a uma redução sensível da inércia térmica interior, e ao risco de ocorrência de condensações de humidade no interior do elemento construtivo, além de agravar as solicitações termo-mecânicas da estrutura e no revestimento exterior da cobertura.

Outro aspecto que não pode deixar de merecer atenção diz respeito ao comportamento ao fogo dos isolantes combustíveis.

#### 3.1.4.4.2. Soluções Construtivas Inovativas da Envolvente dos Edifícios

As paredes com o isolante térmico pelo exterior podem ser revestidas com vidro ou um plástico transparente, que funciona como uma parede de Trombe, a sua utilização está limitada às paredes orientadas a Sul, ou fachadas convenientemente sombreadas, e permite otimizar os ganhos térmicos e a inércia térmica [24].

As principais diferenças entre as paredes constituídas por isolamento opaco ou transparente, nas primeiras a radiação solar é absorvida por uma camada de reboco no exterior. O isolamento sob o reboco impede ganhos térmicos solares pela parede de alvenaria. Por outro lado, com isolamento transparente, a radiação solar é transmitida parcialmente pela camada de isolamento para ser absorvida pela superfície exterior da parede. O isolamento transparente permite que uma grande parte da energia absorvida possa ser conduzida através da parede. Dependendo da radiação solar, a parede aquece e transfere temporariamente o calor da parte exterior ao interior. Durante períodos de sol fraco ou de nenhuma radiação, as perdas de calor são minimizadas pelo isolamento transparente. Durante os períodos de radiação solar,

a parede do exterior absorve a radiação, armazena o calor, e pode temporariamente aquecer a superfície de um compartimento adjacente.

Quanto as paredes transparentes, que têm perdas térmicas elevadas, o uso de envidraçado duplo ou mesmo triplo ou especial, as cortinas ou o isolamento removível permitem reduzir quantidades consideráveis de perdas de calor devido aos envidraçados.

No quadro 3.2 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens da utilização de paredes com isolamento transparente.

**Quadro 3.2** - Vantagens e desvantagens da utilização de paredes com isolamento transparente.

Vantagens	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- o sistema fornece ganhos do calor da radiação solar para além do isolamento;</li> <li>- o sistema fornece ganhos do calor da radiação solar para além do isolamento; e ambientais);</li> <li>- a temperatura de superfície da parede interior é mais elevada do que a da construção convencional de paredes, assim melhorando o conforto no Inverno;</li> <li>- as temperaturas de superfície de uma parede mais elevadas reduzem os riscos da penetração da humidade devido à evaporação e a ocorrência da condensação à superfície e os fungos;</li> <li>- os ganhos solares do calor são atrasados e complementam consequentemente os ganhos solares directos das janelas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- um sistema projectado de uma maneira imprópria pode resultar no sobreaquecimento do material do isolamento e no sobreaquecimento do resto da parede;</li> <li>- durante os meses mais mornos do ano, pode ser necessário usar dispositivos de protecção solares caros para evitar o sobreaquecimento;</li> <li>- alguns materiais isolamento transparente são frágeis assim devem ser colocados entre as placas de vidro ou ser cobertos externamente com as placas de vidro. Estes materiais devem então ser montados na fachada do edifício com sistemas de estruturas que são caros e podem diminuir da aparência do edifício;</li> <li>- as aplicações do material de isolamento transparente às paredes altamente isoladas ou às paredes finas com capacidade de armazenamento do calor baixa podem causar altas temperaturas dentro da construção da parede;</li> <li>- alguns dos materiais podem ter perigo de incêndio.</li> </ul>

#### 3.1.4.5. Concepção das Portas e Janelas

Sendo a caixilharia parte integrante das fachadas e, por vezes, das coberturas, deve contribuir para a limitação das acções exteriores em conjunto com os outros elementos da envolvente, sem condicionar desfavoravelmente a segurança e o bem-estar dos ocupantes. Para além disso, a fenestração deve ainda cumprir algumas outras funções, tais como assegurar a contacto visual com o exterior, assegurar a iluminação natural dos compartimentos e promover a ventilação natural dos compartimentos, através de aberturas. A necessidade de cumprir funções tão diversas torna estes componentes particularmente sensíveis a deficiências de concepção e de dimensionamento. Os aspectos relacionados com a segurança e funcionalidade devem assim merecer uma atenção especial, uma vez que deles depende a integridade física dos ocupantes do edifício e o seu bem-estar.

Os vãos envidraçados são frequentemente considerados como o elo-fraco da envolvente dos edifícios, através dos quais se transmitem de modo mais acentuado as



condições ambientais exteriores como a luz, a temperatura, a radiação solar e o ruído. Sendo assim, o projecto dos vãos envidraçados constitui um dos factores críticos para a obtenção de condições ambientais adequadas no interior dos edifícios.

Na optimização do projecto dos vãos envidraçados, a iluminação natural e o potencial de ganhos solares térmicos devem ser sempre considerados em conjunto desde as fases iniciais. Controlando os ganhos solares, mediante a escolha criteriosa de envidraçados e dispositivos de protecção e de sombreamento, deverá ser possível proporcionar níveis adequados de iluminação natural e de conforto aos ocupantes dos edifícios.

Em zonas com Invernos temperados e Verões quentes ou muito quentes (como acontece no nosso país), a articulação entre as estratégias de iluminação natural e protecção solar com as estratégias de arrefecimento devem ser tidas em consideração. Consequentemente, as decisões arquitectónicas que possam ter uma influencia benéfica na redução dos custos de operação, nos custos de aquisição de equipamento mecânico e na redução do espaço necessário para esse equipamento serão, obviamente, importantes.

#### 3.1.4.5.1. Transmissão de Calor Através das Portas e Janelas

A transmissão de calor através das portas e janelas (vãos envidraçados) está associada à diferença de temperatura entre o ambiente exterior e o interior, o parâmetro que caracteriza a qualidade térmica dos vãos envidraçados é o coeficiente de transmissão térmica,  $U_w$ <sup>2</sup>, e o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite  $U_{wdn}$ <sup>3</sup>, sendo a transmissão de calor tanto maior quanto maior for o valor de  $U_w$  ou  $U_{wdn}$ . [33].

Os coeficientes  $U_w$  e  $U_{wdn}$ , por sua vez são função de:

- natureza da caixilharia (madeira, PVC, alumínio com ou sem rotura térmica, mista madeira-alumínio);
- natureza do vidro (simples, duplo, triplo). No caso dos vidros múltiplos, depende da espessura da lâmina de ar e do modo de ligação dos vidros;
- tipo de vidro (vidro incolor, vidro colorido na massa, vidro reflectante incolor, vidro reflectante colorido na massa e vidros com baixa emissividade – *low e*, materiais plásticos);
- expressão dos perfis na caixilharia (a percentagem que esta ocupa na área do envidraçado);
- presença ou não de dispositivos de oclusão (e da permeabilidade ao ar destes quando existem);

<sup>2</sup> Aplicável a janelas de locais com ocupação predominantemente diurna, não se considerando a utilização de eventuais dispositivos de oclusão nocturna.

<sup>3</sup> Aplicável a janelas de locais com utilização diurna e nocturna importantes, considerando-se neste caso a contribuição de eventuais dispositivos de oclusão, exteriores e interiores (cortinas opacas, persianas, portadas, estores ou dispositivos similares), os quais é lícito assumir que sejam totalmente fechados durante a noite.

- natureza da janela (simples, dupla, com ou sem separação do aro);
- tipo de movimento das folhas (folha fixa, folha de correr, giratórias).

#### 3.1.4.5.2. A selecção da Caixilharia Exterior em Função da sua Exposição

A selecção da caixilharia exterior em função da sua exposição, resistência e durabilidade mecânicas devem ser submetidas a ensaio, tendo em consideração os seguintes aspectos [35]:

- a) Permeabilidade ao ar, as classes de permeabilidade ao ar são numeradas de 0 a 4, correspondendo a classe 0 a caixilhos não-ensaiados e a classe 4 aos caixilhos de menor permeabilidade ao ar. A permeabilidade ao ar das janelas e portas é um parâmetro de grande importância para o conforto no interior do edifício. Então, a permeabilidade ao ar deve ser limitada de forma a reduzir as perdas de calor, limitando a potência da instalação de aquecimento e o consumo anual de energia e a evitar as correntes de ar frio [38];
- b) Estanquidade à água, as classes de estanquidade à água são numeradas de 0 a 9, correspondendo a classe 0 a caixilhos não-ensaiados e a classe 9 aos caixilhos de melhor estanquidade à água a pressão mais elevada;
- c) Resistência às solicitações do vento, as classes de resistência às solicitações de vento estanquidade à água são numeradas de 0 a 5, correspondendo a classe 0 a caixilhos não-ensaiados e a classe 5 à pressão mais elevada.

#### 3.1.4.5.3. Controlo das Infiltrações de Ar

A infiltração do ar deve ser controlada, a ventilação natural ocorre quando há uma diferença de temperatura entre o interior e a temperatura exterior, e quando existem determinadas pressões de vento. O ar move-se das áreas mornas para áreas frescas e das áreas de alta pressão para áreas de baixas pressões. A alta pressão existe normalmente no lado do edifício que enfrenta o vento dominante com uma pressão mais baixa do que no lado oposto. Estas áreas sobre pressão e os fluxos de ar normais podem ser manipuladas pela forma do edifício e pela colocação de condutas de ar.

A infiltração do ar nos edifícios mais altos é causada principalmente "pelo efeito de chaminé térmica" ou "pelo efeito de pilha". A forma comum da circulação natural do ar ocorre quando há uma diferença de temperatura, e correspondente diferença de pressão, entre o exterior e interno de um edifício.

A necessidade de trazer o ar exterior para o interior não deve ser usada como uma justificação para a construção de um edifício não hermético. A infiltração do ar nem é eficaz nem é um método de ventilação controlável. Nenhuma porta pode ser hermética, limitar assim seu número. Zonas fechadas ao ar tal como vestíbulos e portas circulares ajudam a reduzir o ar e a troca de calor. As entradas devem ser protegidas dos ventos dominantes por meio de uma barreira ou por uma zona ajardinada. As fachadas envidraçadas orientadas a Sul, como janelas, podem agir

como colectores de calor solar, reduzindo a perda de calor resultando das trocas de ar. Como já foi anteriormente referido, a forma do edifício também pode reduzir as infiltrações de ar.

#### 3.1.4.6. Pontes Térmicas

Segundo a norma EN-ISO 10211, uma ponte térmica é toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada. Essa alteração pode ser causada pela existência localizada de materiais de diferentes condutibilidades térmicas e/ou uma modificação na geometria da envolvente, como é o caso das ligações entre diferentes elementos construtivos.

A existência de pontes térmicas na envolvente dos edifícios, para além de provocar um aumento da perda térmica para o exterior, durante a estação de aquecimento, devido à sua menor resistência térmica, está também na origem de diversas anomalias associadas à diminuição de temperatura superficial e ao aparecimento de bolores.

Segundo o RCCTE [1] uma ponte térmica plana “*é a heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares e talões de viga*”.

Da caracterização térmica de pontes térmicas realizada em [43] identificaram-se as zonas mais problemáticas para a ocorrência de condensações em função da localização no edifício. Em cada uma destas zonas, a gravidade das situações depende, como é evidente, das características dos materiais utilizados, do tipo de disposição construtiva existente e da localização do isolamento térmico utilizado. Na generalidade dos casos, as situações onde se verificam reduções mais acentuadas da temperatura dos paramentos interiores da envolvente são aquelas em que existem maiores heterogeneidades de materiais (como por exemplo, no caso da interrupção do isolante térmico colocado na caixa de ar de paredes duplas, junto aos elementos estruturais) e grandes mudanças de geometria. As ligações entre dois elementos exteriores (como por exemplo, entre duas paredes de fachada ou entre a cobertura e a parede de fachada) são as zonas mais críticas. O contorno dos vãos (incluindo as caixas de estore) é também uma zona problemática. Os valores da temperatura podem ser muito baixos, embora, normalmente, numa zona estreita, junto a caixilharia, deverá proceder-se, assim, a uma pormenorização cuidada.

##### 3.1.4.6.1. Pontes Térmicas Planas

As pontes térmicas planas, nomeadamente pilares, talão das vigas e caixas de estore, também contribuem para as perdas térmicas pela envolvente exterior do edifício o RCCTE [1] impõe que o coeficiente de transmissão térmica superficial  $U$  calculado de forma unidimensional na direcção normal à envolvente não pode ser superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica superficiais ( $U_{máx}$ ).

### 3.1.4.6.2. Pontes Térmicas Lineares

Ao contrário do anterior RCCTE, em que as perdas térmicas que ocorrem em zonas não-correntes da envolvente eram contabilizadas através de *factores de concentração de perdas* (FC), no novo regulamento as principais perdas térmicas que ocorrem nos pontos singulares da envolvente são contabilizados individualmente através de coeficientes de transmissão térmica lineares,  $\Psi$  [W/m.°C].

### 3.1.4.6.3. Tratamento das Pontes Térmicas Pontes

É necessário conceber soluções que garantam um adequado comportamento em todos os aspectos, não desprezando a análise de determinados factores para dar resposta a outros. Algumas soluções para o tratamento das pontes térmicas, apesar de constituírem uma melhoria do ponto de vista estritamente térmica, podem introduzir problemas de outra natureza, nomeadamente de instabilidade mecânica na ligação elementos da envolvente [44].

A localização do isolante térmico nos elementos da envolvente condiciona o valor do coeficiente de transmissão térmica linear. Como já foi anteriormente referido o isolamento das paredes pode ser colocado pelo interior, pelo exterior ou na caixa-de-ar em paredes duplas. Um isolamento pelo exterior reduz as pontes térmicas ao nível da ligação das fachadas com um pavimento e de duas paredes verticais. Um isolamento pelo interior pode também reduzir as pontes térmicas mas tem implicações na inércia térmica do edifício. Já o isolamento na caixa-de-ar em paredes duplas tem implicações em termos de estabilidade estrutural e de eficiência se os pormenores não forem bem concebidos.

### 3.1.5. Distribuição de Calor

A radiação solar que incide num material é absorvida em parte por este, transformada em calor e armazenado na sua massa. O material é então aquecido progressivamente por condução enquanto o calor é difundido. Quando a radiação solar deixa de incidir e a temperatura interior diminuir dá-se o fenómeno inverso, o material liberta o calor por convecção e por radiação, distribuindo assim o calor pelo resto do edifício.

A maior parte dos edifícios funciona com sistemas de ganho directo. As características básicas dos edifícios que utilizam o ganho directo são: uma área de captação a Sul, com os espaços a aquecer directamente expostos à radiação solar e os paramentos interiores (paredes, pavimento e tecto) utilizados para armazenamento térmico. A redistribuição do calor armazenado por todo o edifício e as trocas de calor nos elementos da envolvente ocorrem sempre que houver uma diferença de temperatura, de três maneiras diferentes:

- a) Condução - A energia térmica é transportada entre partes de um meio contínuo pela transferência de energia entre partículas individuais ou grupos de partículas. A Condução de calor dá-se entre dois corpos que estejam em contacto ou entre uma zona de um corpo para outra zona do mesmo corpo e, é um mecanismo que envolve a transferência de energia cinética de moléculas a temperatura mais elevada para moléculas a temperatura mais baixa.

b) Convecção - Transferência de calor devido à deslocação do ar. A convecção é classificada em:

- Natural: o movimento do ar é provocado por suas diferenças de densidade causadas pelas diferenças de temperatura;
- Forçada: forças externas impelem o ar contra a região de calor.

A Convecção é o mecanismo de transferência de calor que ocorre quando o ar flui sobre os elementos da envolvente, quando estão a temperaturas diferentes, sendo a transferência de calor uma consequência do movimento do ar sobre o elemento da envolvente.

Se o movimento do ar é devido a um gradiente de densidades, que é provocado pela diferença de temperaturas existente na massa de ar, o processo de transferência de calor diz-se por convecção natural. Se o movimento do ar é provocado artificialmente (por ventilação mecânica), o processo de transferência de calor diz-se por convecção forçada.

c) Radiação - Transferência em forma de ondas electromagnéticas. A Radiação é um mecanismo que envolve a transferência de energia sob a forma de radiação electromagnética, que não necessita de um suporte material para se propagar. Dois corpos a temperaturas diferentes separados por vácuo, não podem transferir calor nem por condução nem por convecção, mas trocam calor por radiação. E, mesmo que exista um meio, por exemplo, o ar, ele não é afectado pela passagem da energia electromagnética. A radiação electromagnética é emitida por um corpo devido à sua temperatura e é emitida em todas as direcções do espaço. As ondas, ao atingirem um corpo, são em parte absorvidas, em parte reflectidas e em parte transmitidas. Se a radiação incidente no corpo é radiação térmica (que depende do comprimento de onda da radiação), a radiação absorvida pelo corpo aparece sob a forma de calor.

A interacção entre os vários parâmetros origina variações de temperatura sazonais e diárias nos edifícios. As primeiras estão essencialmente associadas à amplitude anual da temperatura média ambiente; as segundas traduzem-se nas condições diárias de conforto e resultam da variação ao longo do dia de factores tais como a temperatura do ar, a radiação solar e a velocidade do vento.

A taxa de transferência de calor com os materiais do edifício e a eficácia da massa térmica é determinada por um número de parâmetros e de circunstâncias. A optimização da massa térmica depende das propriedades dos materiais de construção do edifício, das condições climáticas, da orientação do edifício, do isolamento térmico, da ventilação, da utilização dos sistemas arrefecimento auxiliares, da iluminação e do tipo de ocupação.

Os ganhos térmicos internos correspondem ao calor libertados pelos ocupantes, electrodomésticos, iluminação e todas as fontes de calor situadas no interior, exceptuando os equipamentos de aquecimento, fogão esquentador e aparelhos a gás ligados a condutas de evacuação, correspondem a um valor médio ao longo das 24 horas do dia e de toda a estação de aquecimento. Para assegurar uma comparação do desempenho térmico de edifícios com o mesmo tipo de utilização são apresentados

valores de referência para os ganhos térmicos internos, que se consideram iguais a  $4 \text{ W/m}^2$  em edifícios de habitação, variando entre  $4 \text{ W/m}^2$  e  $7 \text{ W/m}^2$  em edifícios de serviços [1].

#### 3.1.5.1. Trocas de Calor por Condução

De um modo geral as trocas de calor por condução dum edifício dão-se basicamente através da envolvente (exterior e interior).

Ao nível dos pormenores construtivos devem-se ter em conta os princípios, já anteriormente referidos, nomeadamente:

- de modo a reduzir as perdas e os ganhos de calor por condução através dos elementos opacos da envolvente (paredes, coberturas e pavimentos) é de toda necessária a execução de pormenores construtivos destes locais;
- de modo a reduzir as perdas de calor por condução através dos elementos transparentes da envolvente (portas e janela) é de toda necessária a execução de pormenores construtivos destes locais;
- de modo a reduzir os ganhos de calor por condução através dos elementos transparentes da envolvente (portas e janela) é de toda necessária a execução do dimensionamento e pormenores construtivos dos elementos de protecção fixos ou móveis destes locais;
- de modo a reduzir as perdas de calor por condução através das pontes térmicas é de toda necessária a execução dos pormenores construtivos destes locais definidos no RCCTE [1];

#### 3.1.5.2. Trocas de Calor por Convecção

Como já foi referido anteriormente, para que se verifiquem as trocas de calor por convecção no interior dos edifícios é necessário que ocorra a deslocação do ar, para isso temos que recorrer a estratégias de ventilação. As estratégias de ventilação (ventilação natural, ventilação mecânica e ventilação híbrida) têm como objectivo principal a garantia da Qualidade do Ambiente Interior, mas são também um meio de transmissão de calor, perdas significativas durante o Inverno e ganhos durante as horas mais quente no Verão.

Minimizar as infiltrações de ar, não controláveis, e conceber dispositivos para ventilação controlada:

- garantir a estanquidade da envolvente através de uma pormenorização e execução cuidadas dos potenciais pontos de infiltração (basicamente, ligados aos vãos, caixas de estore, ligações, instalações);
- dimensionar dispositivos de ventilação que garantam o caudal de ventilação necessário ao conforto e saúde dos ocupantes e à prevenção de patologias da construção:

- Simos Yannas [28] – mínimo de 0,5 renovações por hora do volume habitável;
- RCCTE [1] – mínimo de 0,6 renovações por hora do volume habitável;
- NP 1037-1 [45] – mínimo de 1 renovação por hora do volume dos compartimentos principais ou 4 vezes nos compartimentos de serviço.
- garantir, no Inverno, um patamar mínimo de ventilação permanente através de dispositivos reguláveis (de preferência auto-reguláveis);
- proceder ao isolamento de condutas de ventilação;
- tirar partido da possibilidade de arrefecimento por ventilação nocturna, no Verão;
- garantir a poupança de energia associada a ventilação natural incluindo o pré-aquecimento do ar admitido, através da consideração de colectores solares nos envidraçados [46] ou nas fachadas [47].

Importa sublinhar que, como fenómenos naturais, os efeitos de tiragem térmica e do vento são, obviamente, variáveis no tempo e, de certa forma, imprevisíveis pelo que a adopção de sistemas de ventilação natural, não poderá nunca garantir os caudais recomendados, em permanência, sendo inevitável a existência de períodos de tempo em que os caudais estão abaixo desses valores. Deste modo, impõe-se a adopção de outras estratégias de ventilação, nomeadamente as associadas a ventilação híbrida [48], onde ventiladores mecânicos fazem a respectiva compensação nos períodos em que, além dos diferenciais de temperatura entre o exterior e o interior da habitação serem muito reduzidos, também não existe vento.

#### 3.1.5.2.1. Contabilização das Perdas de Calor Resultantes da Renovação do Ar

No RCCTE [1], por razões de higiene e conforto dos ocupantes, é necessário que os edifícios sejam ventilados em permanência por um caudal mínimo de ar. A metodologia de cálculo detalhada anteriormente é baseada na presunção de que, efectivamente, o edifício, ou fracção autónoma, tem características construtivas ou dispositivos apropriados para garantirem, por ventilação natural ou mecânica, a taxa de renovação mínima necessária de  $R_{ph} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ . Podem ser utilizados outros métodos de cálculo tecnicamente adequados para a determinação dos caudais de ventilação, como por exemplo o especificado na norma EN 13465, desde que sejam justificados através de projecto junto da entidade licenciadora e devidamente aprovados.

##### a) Ventilação natural

Sempre que os edifícios estejam em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1 [45], o que deve ser objecto de demonstração clara e inequívoca pelo responsável pela aplicação do RCCTE, o valor de  $R_{ph}$  a adoptar é de  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . Nomeadamente, as fachadas dos edifícios devem dispor de dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis que garantam os caudais nominais especificados nos compartimentos servidos para uma gama de pressões de 10 Pa a 200 Pa e portas exteriores ou para zonas «não úteis» que disponham de vedação por borracha ou equivalente em todo o seu perímetro. Nestes edifícios não pode haver

quaisquer meios mecânicos de insuflação ou de extracção de ar, nomeadamente extracção mecânica nas instalações sanitárias. No caso de o único dispositivo de ventilação mecânica presente no edifício ou fracção autónoma ser o exaustor na cozinha, dado que este só funciona, normalmente, durante períodos curtos, considera-se que o edifício é ventilado naturalmente. Neste e nos restantes casos de edifícios ventilados naturalmente, o valor de  $R_{ph}$  é determinado de acordo com o disposto no RCCTE [1], em função da tipologia do edifício, da sua exposição ao vento e da permeabilidade ao ar da sua envolvente.

#### b) Ventilação mecânica

No caso dos sistemas em que a ventilação recorre a quaisquer sistemas mecânicos, incluindo os sistemas de extracção nas instalações sanitárias, e com excepção do caso da presença apenas de exaustor na cozinha, o RCCTE indica que a taxa de renovação horária deve ser calculada com base no maior dos dois valores de caudal correspondentes ao caudal insuflado ou ao caudal extraído do edifício, mas não deve ser nunca inferior a  $0,6 \text{ h}^{-1}$ .

#### 3.1.5.2.2. Ventilação Natural e Arrefecimento Passivo

O movimento de ar através dum edifício incrementa a transferência de calor por convecção entre os elementos da envolvente interior e o ar interior e entre este e os ocupantes e melhora o conforto do ambiente ao substituir ar quente e húmido por ar fresco e seco. A forma mais usual de criar movimento de ar é abrir as janelas do edifício e permitir que ar mais fresco penetre no interior. É importante não esquecer que podem desta forma entrar partículas de pó em suspensão, bem como se anula a capacidade de isolamento ao ruído exterior. Poderá também ser desconfortável uma ventilação que supere uma determinada velocidade. Para otimizar a ventilação natural do edifício este deverá apresentar a superfície de fachada maior na zona que recebe geralmente o vento na Estação de Arrefecimento (Verão) [49]. Uma possibilidade é realizar edifícios altos e com pouca profundidade, de forma que se aproveitem as velocidades maiores que se produzem a maior altura do solo. A disposição e dimensionamento das aberturas são aspectos determinantes para conseguir uma boa ventilação. A área das aberturas deverá ser maior na fachada orientada ao vento dominante de Verão e menor na fachada oposta. A circulação do ar pelo interior pode otimizar-se instalando nas portas e janelas exteriores grelhas que permitam a passagem do ar, com sistemas de regulação de caudal. A entrada de ar através das janelas incrementa-se criando uma zona de sobrepressão em frente destas, através do bloqueio do ar incidente com a utilização de palas, varandas ou outros obstáculos arquitectónicos, ou pela colocação de árvores que impeçam o fluxo do ar de se dispersar pelos lados do edifício.

a) Ventilação cruzada: este sistema consiste em favorecer o movimento de ar de um espaço, ou de uma sucessão de espaços associados, mediante a colocação de aberturas em fachadas opostas de maneira a permitir o aproveitamento da diferença de pressões provocada pela acção do vento para aumentar a eficácia da ventilação. Este sistema é aconselhável em climas secos e em climas temperados,



para arrefecimento nocturno durante o Verão. As aberturas devem situar-se em fachadas que estejam em comunicação com espaços exteriores, que possuam condições de radiação ou de exposição ao vento, com características muito diferentes. Os valores típicos gerados por ventilação cruzada situam-se na ordem das 8 a 20 renovações por hora, em presença de um vento fraco no exterior [50].

- b) Ventilação induzida (por estratificação): o efeito da estratificação do ar nos edifícios pode produzir ventilação quando não existe deslocação do ar exterior. Assim, colocando uma abertura na parte superior do espaço, o ar quente tenderá a sair e será substituído por ar fresco exterior introduzido no edifício por aberturas localizadas a um nível mais baixo. Este sistema já foi apresentado no caso das paredes de Trombe e das estufas. Nestes casos o ar deverá ser introduzido desde a parte mais fresca do edifício, geralmente a fachada Norte [49]. Este sistema também pode ser chamado de efeito chaminé. Se a temperatura exterior é alta não se gera uma boa extracção por efeito chaminé. Para que funcione correctamente deve existir uma diferença de temperatura entre o ar quente que está na parte mais alta do espaço habitado e o ar exterior [50]. Uma forma de favorecer o movimento do ar interior por estratificação pode ser através do aquecimento do ar no desvão da cobertura, chamando-se neste caso de câmara solar.
- c) Câmara solar ou chaminé solar: para este tipo de sistema, o espaço a condicionar tem de possuir na cobertura uma câmara com um captador de cor escura e protegido por uma coberta de vidro. Assim, o ar dentro da câmara é aquecido, diminuindo a sua densidade e produzindo um efeito de sucção nas aberturas inferiores, que estão em contacto com o ambiente interior. Consequentemente irá existir extracção do ar interior. As câmaras solares orientam-se sempre para a máxima intensidade da radiação solar. Segundo a latitude, estas podem orientar-se para Sul, Este ou Oeste, de acordo com o horário de utilização previsto. Estes sistemas captadores não criam uma ventilação muito alta, estando na ordem das 5 a 10 renovações por hora. Como vantagens destes sistemas, temos o facto de se poderem combinar facilmente com outros sistemas de tratamento de ar, assim como o de terem um maior rendimento quando a intensidade da radiação é maior, ou seja, exactamente quando o sistema é mais necessário [50].
- d) Aspirador estático: este é outro sistema para gerar movimento de ar no interior do espaço, a partir de uma extracção de ar pela cobertura, combinada com entrada do ar de renovação pela parte inferior do circuito, para assegurar o funcionamento correcto do sistema. Estes aspiradores produzem uma depressão no ar interior devido à sucção produzida por um dispositivo estático, situado na cobertura. Assim o vento ao atravessar este dispositivo vai criar o efeito Venturi, causa da aspiração do ar interior. Existe uma grande variedade de dispositivos aspiradores estáticos, tanto em termos de tamanho, o que permite a adaptação em vários tipos de cobertura, como em termos de formas. É um sistema de ventilação aplicável a climas temperados e quentes, para favorecer a refrigeração, mas devem ser utilizados em zonas com ventos constantes se desejamos que tenham utilidade efectiva. Os caudais de extracção são muito variáveis, já que dependem do tipo de dispositivo, assim como da velocidade do vento. Mas em presença de ventos com alguma intensidade é fácil gerar mais de 10 renovações por hora [50].

- e) Torre de vento: também se pode criar movimento de ar no interior do edifício, em sentido contrário aos sistemas referidos anteriormente. A introdução de ar exterior no ambiente interior faz-se através de uma torre que se eleva a uma altura suficiente da cobertura do edifício, recolhendo o vento onde este é mais intenso. O ar captado é conduzido para a parte mais baixa do edifício mediante condutas. Em zonas onde a direcção do vento é constante, existe apenas uma abertura nesta direcção, em zonas com várias direcções dominantes, combinam-se diversas entradas de ar na parte superior da torre. Em geral este é um sistema válido para climas quentes, com ventos frequentes e intensos, já que o sistema depende basicamente desta característica climática. Podem gerar-se até 3 a 6 renovações por hora. Este tipo de torres têm a vantagem de se poder combinar com diferentes sistemas de tratamento de ar, assim como, sistemas de extracção [50].
- f) Construções enterradas: a temperatura do solo mantém-se relativamente constante ao longo do ano, variando apenas com a latitude e a profundidade do ponto considerado. Em zonas climáticas temperadas a temperatura da terra a uma profundidade de 1,2 m varia apenas cerca de 10°C [51]. Portanto, a terra encontra-se no Verão mais fria que a temperatura ambiente exterior, pelo que um maior contacto do edifício com o terreno implica uma descida da temperatura. No Inverno sucede o oposto. A forma mais fácil de obter um maior contacto com o terreno consiste em enterrar o edifício, aproveitando o desnível do terreno em socalco ou encostando terra às paredes. Enterrar os edifícios permite igualmente criar uma elevada protecção acústica ao ruído exterior [49]. Também se pode ventilar os espaços interiores com ar que circula em condutas enterradas.
- g) Refrigeração por evaporação de água: quando existe um lençol de água num espaço quente e seco, a água evapora-se incrementando a humidade do ar. Neste processo a água absorve energia em forma de calor latente de evaporação, sem incrementar a sua temperatura. Assim, produz-se um efeito de refrigeração e humidificação do ambiente. Os factores mais importantes que propiciam a evaporação da água são a presença duma boa superfície de contacto entre ar e água e o estado de agitação desta. Por este motivo é uma boa solução a instalação de fontes e correntes de água que incrementem a turbulência e a superfície de evaporação. Um outro factor a considerar é a incidência do vento, que favorece consideravelmente a evaporação. Um procedimento, já referido, para manter o edifício fresco é utilizar uma cobertura com água. Deste modo, a evaporação refresca a superfície do tecto favorecendo a absorção do calor procedente do interior do edifício. Outra forma de conseguir refrigeração por evaporação é a de criar uma fachada em que a água escorre, de preferência sobre uma rede que deixe a corrente de ar atravessar e dessa forma incrementar a evaporação. A vegetação tem o papel de um dispositivo natural de arrefecimento evaporativo. As árvores e outras plantas transpiram a humidade para libertar o seu calor. As fontes, os pulverizadores, as piscinas e as lagoas são técnicas de arrefecimento passivo particularmente eficazes. A taxa da evaporação de uma superfície molhada depende acima de tudo da velocidade do ar e da diferença entre a pressão do vapor de água e a pressão de ar ao lado da superfície húmida.

h) Refrigeração por desumidificação: o corpo humano perde energia em excesso por evaporação, através do suor. Em climas quente e húmidos, o suor não pode evaporar-se e o corpo encontra-se assim em desconforto por excesso de calor. Os desumidificadores são materiais porosos que captam a humidade do ar. Se o ar húmido atravessa um leito de material desumidificador, o vapor de água é absorvido e o ar seca. Este processo liberta energia e, portanto, o ar aquece. É preciso, então, uma superfície de baixa temperatura para absorver esta energia e manter o conforto. Quando o leito de material desumidificador se satura de água, faz-se passar através deste uma corrente de ar quente que o seca, permitindo novamente a desumidificação. Os materiais desumidificadores mais utilizados são o gel de sílica e a alumina [49].

Para que a ventilação nocturna arrefeça o edifício, a estrutura deve ser razoavelmente maciça, o ar deve poder circular o mais possível directamente sobre as paredes (não cobertas por tapetes, por exemplo).

Com a refrigeração passiva pretende-se a adopção de soluções para a prevenção (sombreamentos, isolamentos térmicos, etc.) e atenuação (massa térmica dos edifícios) de ganhos excessivos de calor e a aplicação de processos de dissipação (arrefecimento passivo ou natural) de ganhos excessivos de calor, através de soluções arquitectónicas e construtivas com vista à redução dos consumos energéticos e à melhoria do conforto térmico. A prevenção ou protecção de ganhos de calor poderá ser implementada em todos os tipos de edifícios através de: opções arquitectónicas; controlo da radiação solar e sombreamento da superfície do edifício (principalmente as superfícies transparentes); isolamento térmico e acabamentos da envolvente.

Para se reduzir as perdas de temperatura por convecção, devem-se desenvolver pormenores que evitem as trocas de calor através de entradas e saídas do ar não controladas. As infiltrações e saídas de ar não controladas têm lugar principalmente nas juntas existentes entre os elementos construtivos, sendo bons exemplos as zonas de batente das portas e janelas. Para essas zonas, devem ser estudadas soluções de calafetagem que utilizem materiais com baixo impacte ambiental e que não comprometam a qualidade de ar interior.

### 3.1.5.3. Trocas de Calor por Radiação

Uma parede pode também ser aquecida absorvendo o calor radiado por outras paredes que têm uma temperatura mais elevada. Isto resulta num armazenamento indirecto devido à tendência termodinâmica espontânea para o balanço térmico entre corpos, um balanço que é benéfico ao nível do conforto dos ocupantes.

#### 3.1.5.3.1. Protecção da Radiação Solar Directa Durante o Verão

No ponto 3.1.2.3.1 foram referidas as estratégias de maximização e de minimização dos ganhos obtidos pela exposição à radiação solar solares durante o Inverno e de minimização dos mesmos durante o Verão.

Como é óbvio, no Verão os ganhos de calor têm de ser reduzidos ao mínimo. Felizmente o Sol encontra-se mais alto durante o Verão o que reduz a sua penetração nos vãos voltados a Sul. A utilização de sombreamentos vai reduzir ainda mais esta penetração. As fachadas a Este e Oeste, assim como a cobertura estão sujeitas a radiação muito intensa durante o Verão. Assim, devem ser incluídas poucas aberturas nestas zonas e a existir devem ser de pequena dimensão visto a sua única função ser a ventilação e a iluminação pois não são úteis para captura de radiação no Inverno.

A vegetação pode ser eficazmente usada para reduzir o acesso à radiação solar pelo edifício e pelos espaços circundantes, fornecendo sombra durante o Verão. A posição das plantas relativamente ao edifício deve ser escolhida com cuidado a fim fornecer a protecção apropriada. O maior benefício é obtido com a protecção das janelas. Além disso, as plantas trepadeiras nas paredes reduzem o aquecimento solar que penetra através da envolvente do edifício durante o Verão.

#### 3.1.5.3.2. Refrigeração por Radiação Nocturna

A refrigeração por radiação nocturna utiliza elementos (superfície radiante ou elemento de armazenamento térmico) que absorvem o calor do edifício e o refrigeram radiando energia para o exterior ou permitindo o fluxo de ar fresco através dele. Os dois sistemas de refrigeração indirecta são: a radiação e a ventilação nocturna dos elementos que armazenam o calor [49].

Entre dois corpos localizados frente a frente existe sempre uma troca de calor por radiação, de tal forma que, em balanço, existe sempre uma transferência de calor do corpo quente para o corpo frio. Pode-se aproveitar este fenómeno para refrigerar o edifício.

Neste caso utiliza-se um elemento de armazenamento térmico (material pesado ou água) na cobertura do edifício. Como já foi explicado anteriormente no sistema de cobertura com água, quando estavam a ser referenciados os sistemas solares passivos, este sistema tem a dupla função de aquecimento no Inverno e arrefecimento no Verão. No Verão, e durante o dia, este material é coberto com isolamento, de tal forma que absorve o calor do ambiente interior e não a radiação do Sol. Durante a noite o isolamento é retirado e o elemento de armazenamento irradia o calor para o exterior. A refrigeração por radiação nocturna é especialmente útil quando a diferença de temperaturas entre o dia e a noite ultrapassa os 10°C e quando as noites são de céu limpo, já que a presença das nuvens diminui a radiação de energia para o céu. Por esta razão é conveniente que a superfície radiante seja na cobertura, porque esta tem um factor de exposição ao céu maior que as superfícies verticais (que irradiam apenas 50% em relação às superfícies horizontais [49].

Preocupações energéticas a longo prazo implicam mais do que a correcta exposição solar e desenho de vãos. Uma hipótese é a realização de construções “compactas”, que permitam a redução das perdas energéticas, mas apresentam-se vários problemas que dificultam esta atitude. A topografia do local, por exemplo, influencia o grau de exposição solar, bem como a ventilação natural, pelo que muitas vezes se torna impossível construir blocos de grande densidade e aglomerados de habitações.

## 3.2. Qualidade do Ambiente Interior

### 3.2.1. Introdução

Na caracterização do clima interior dos edifícios incluem-se os parâmetros ambientais relacionados, por um lado com os consumos energéticos de climatização artificial e, por outro lado as condições de conforto dos ocupantes desses edifícios. No primeiro caso, que se poderá designar de clima físico interior, a temperatura do ar, humidade relativa, iluminação, velocidade do ar, existência de odores, microorganismos ou poeiras em suspensão no ar, ruído, etc. O segundo caso, que se poderá designar de clima fisiológico, engloba vários parâmetros influentes sendo muito mais complexas as suas inter-relações, do ponto de vista do ser humano, abrange os aspectos relacionados com o conforto térmico, mas igualmente o conforto visual, o conforto acústico e a qualidade do ar interior.

O ambiente interior tem um efeito físico e psicológico no indivíduo e é, por isso, de grande importância para o projecto do edifício. Todas as vertentes do ambiente interior devem ser tidas em conta, pois são interrelacionáveis, apesar de cada um dos aspectos, normalmente, ser especificado separadamente.

A qualidade do ambiente interior é uma preocupação que acompanha o homem desde há séculos, mas:

- o aumento do tempo de permanência em edifícios (90% das nossas vidas acontece no interior dos edifícios);
- cada vez maior densidade de ocupação e de equipamentos;
- as novas práticas quanto à baixa permeabilidade ao ar das caixilharias;
- e a generalização do recurso a sistemas de ar-condicionado complexos,

têm vindo a provocar um crescente interesse por esta problemática. O aparecimento, nos últimos anos, de inúmeros casos de "edifícios doentes" - considera-se que um edifício sofre do Síndrome do Edifício Doente (SED) quando um número significativo, mais de 20%, dos ocupantes sofre de sintomas (dores de cabeça, irritação das vias respiratórias, fadiga e irritação dos olhos) sem que exista uma doença clinicamente diagnosticada que o justifique; estes sintomas desaparecem quando se deixa o edifício, para além de ter acentuado este interesse, levou ainda à disseminação da preocupação relativa à qualidade do ambiente interior, antes confinada a uma comunidade técnica e científica limitada, à população em geral [52].

O conceito de qualidade do ambiente interior é bastante complexo e abrangente, dependendo de um grande número de factores – temperatura, humidade relativa, iluminação, velocidade do ar, existência de odores, microorganismos ou poeiras em suspensão no ar, ruído, etc., que podem ser agrupados em quatro grandes áreas a saber [27]:

- qualidade termohigrométrica;
- qualidade do ar;
- qualidade da iluminação;
- qualidade acústica;
- qualidade estética, em parte, analisada no ponto anterior.

### 3.2.2. Qualidade Termohigrométrica

De um ponto de vista geral, a sensação de conforto térmico pode ser definida como “o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”[53]. Por outras palavras, uma pessoa está termicamente confortável quando não sente nem calor nem frio.

Para avaliar as situações a que os ocupantes dos edifícios estão submetidos quando expostos a determinadas condições ambientais são vários os parâmetros que podem ser determinantes:

- temperatura do ar;
- humidade relativa do ar;
- temperaturas superficiais (de paredes, de tectos, e de pavimentos);
- evolução da temperatura ao longo do tempo, gradiente de temperatura e assimetrias radiantes;
- velocidade do ar;
- metabolismo;
- vestuário.

O conforto térmico resulta das condições de trocas de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente. Uma das exigências para o bem-estar e conforto é manter o equilíbrio térmico entre o corpo humano e o meio ambiente. Isso implica conservar a temperatura interior do corpo à temperatura próxima dos 37°C, independentemente das variações das condições ambientais. No entanto, o equilíbrio térmico não deve ser confundido com o conforto térmico, já que pode ser atingido o equilíbrio térmico sob condições de desconforto, graças aos mecanismos de termoregulação do corpo humano. Assim, de um ponto de vista puramente fisiológico pode dizer-se que existe conforto térmico quando “as condições sob as quais os mecanismos termoreguladores do corpo humano se encontram num estado de actividade mínima” [54].

As trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente realizam-se através dos seguintes modos [52]:

- convecção: calor trocado para o ambiente devido à diferença de temperatura entre a nossa pele/roupa e o ar ambiente;
- radiação: calor trocado directamente entre a nossa pele/roupa e as superfícies que nos rodeiam devido às diferenças de temperatura entre a nossa pele/roupa e essas superfícies;
- condução: calor trocado entre a superfície do nosso corpo e as superfícies que nos rodeiam devido às diferenças de temperatura entre o nosso corpo e essas superfícies;
- respiração: calor trocado com o ambiente devido à diferença de temperatura entre o ar inspiramos e o ar que expiramos;

- evaporação: calor dissipado para o ambiente pela evaporação de água à superfície da nossa pele.

Enquanto nos três primeiros modos o sentido das trocas de calor depende do sentido do gradiente térmico, o fluxo térmico por evaporação é sempre uma perda de calor humano para o meio ambiente.

#### 3.2.2.1. Condições de Conforto Térmico Global

As trocas de calor que o Homem produz com o meio ambiente, dependem da produção de energia que é obtida a partir dos alimentos consumidos por intermédio do seu metabolismo e depende da actividade física do indivíduo. Da energia produzida pelo corpo humano só uma pequena parte é convertida em trabalho mecânico sendo a maior parte dissipada sob a forma de calor. Considerando o corpo humano como "uma máquina térmica", pode dizer-se que ele tem um baixo rendimento mecânico, sendo nulo para muitas actividades.

Uma condição necessária para haver conforto térmico é existir um equilíbrio térmico entre o corpo humano e o meio ambiente, sendo para isso necessário que o balanço energético do corpo humano seja nulo. Consequentemente, pode dizer-se que para existir equilíbrio térmico o calor produzido pelo organismo deve ser, constantemente, equilibrado pelas trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente.

Existem situações nas quais o organismo, para manter o equilíbrio térmico, necessita de recorrer aos seus mecanismos de termoregulação. Essas situações ocorrem quando o ambiente térmico exige uma maior ou menor produção de energia por parte do organismo para equilibrar as trocas de calor entre estes.

A termoregulação é um sistema complexo de respostas automáticas e voluntárias que governam as transferências de calor entre o corpo humano e o ambiente e, também, a produção interna de energia, de modo a manter o equilíbrio térmico.

Os principais mecanismos termoreguladores do corpo humano são [54]:

- a regulação cardio-vascular (vasoconstrição e vasodilatação);
- o metabolismo;
- a transpiração.

Para manter o equilíbrio térmico em ambientes frios o corpo humano terá de reduzir as perdas de energia para o ambiente ou então de aumentar a sua produção de energia. O abaixamento da temperatura da pele provoca uma vasoconstrição, isto é, dá-se uma diminuição do diâmetro dos vasos sanguíneos nas zonas superficiais e principalmente nos membros (adicionalmente poderá registar-se uma contracção muscular). Se este processo não for suficiente, então o corpo humano ou o indivíduo terão de aumentar a produção de calor (arrepios ou aumento da actividade) [56].

Em ambientes quentes a situação é inversa. A necessidade de aumentar as perdas térmicas do corpo traduz-se por uma vasodilatação das zonas superficiais. No entanto, geralmente este mecanismo não é suficiente, e daí a necessidade de reduzir a

temperatura do corpo por transpiração, a qual aumenta as trocas de calor latente entre a superfície da pele e o ambiente [56].

Sempre que as condições ambientais e individuais conduzam a um estado de equilíbrio térmico, sem pôr em funcionamento os processos fisiológicos de termoregulação, diz-se que existe uma situação de neutralidade térmica (conforto térmico).

A sensação de conforto térmico do ser Humano refere-se principalmente ao estado térmico da globalidade do seu corpo, sendo este estado influenciado por dois tipos de factores [56]:

- factores individuais (dependentes do indivíduo):
  - actividade física;
  - vestuário;
  - aclimatização.
- factores ambientais:
  - temperatura do ar;
  - temperatura média radiante;
  - velocidade relativa do ar;
  - humidade relativa do ar ou pressão parcial do vapor.

Além disso, variáveis como o sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura, etc., podem exercer influencia nas condições de conforto de cada pessoa e devem ser consideradas.

Do atrás exposto, na fase de concepção do projecto, podem deduzir-se quais as variáveis que há que ter em conta para a especificação de condições de conforto térmico dos ocupantes, em função do tipo e da taxa de ocupação dos edifícios:

- i) Temperatura do ar ambiente ( $T_a$ ) – que está associada a todas as trocas de calor sensível por convecção.
- ii) Temperatura média radiante ( $T_s$ ) – que está associada a todas as trocas de calor por radiação.
- iii) Humidade relativa do ar ( $\phi$ ) - que está associada a todas as trocas de calor latente.
- iv) Resistência térmica da roupa ( $R_r$ ) – que está associada à grandeza do fluxo de calor dissipado pela porção coberta da pele.
- v) Actividade metabólica ( $M$ ) – que determina a grandeza do calor total a dissipar para manter o equilíbrio térmico.

No que diz respeito ao segundo factor individual, o vestuário, salienta-se que este constitui uma resistência térmica que dificulta as trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente. A resistência térmica convencional do vestuário,  $I_{CL}$ , expressa-se numa unidade denominada de “clo”, sendo 1 clo (vestuário típico para Inverno) equivalente a  $0,55 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  [57].



Relativamente aos factores individuais, refira-se que a actividade física desenvolvida por um indivíduo pode ser quantificada pela taxa de metabolismo,  $M$ , que representa a energia produzida pelo organismo. A unidade utilizada para a taxa de metabolismo é designada por “*met*”, correspondendo 1 *met* (situação de repouso, acordado) a uma produção de calor por unidade de superfície do corpo humano igual a  $58 \text{ W/m}^2$  [57].

Uma forma simplificada de especificar as condições ambientes satisfatórias recorre apenas à temperatura do ar,  $T_a$  – índice directo. No RCCTE, [1], estabelecem-se as temperaturas de referência de  $20^\circ\text{C}$  e de  $25^\circ\text{C}$ , respectivamente, para as estações de aquecimento (Inverno) e de arrefecimento (Verão).

### 3.2.2.2. Índices de Avaliação Térmica

As tentativas de exprimir, sob a forma de um único parâmetro, os efeitos combinados dos diversos factores ambientais e individuais sobre as respostas fisiológicas e sensoriais de um indivíduo conduziram ao desenvolvimento de índices térmicos.

Esses índices procuram integrar a influencia de vários parâmetros que afectam o conforto térmico. Dos vários índices existentes, destacam-se dois (índices empíricos) [57]:

- voto médio previsível: *PMV* (*Predicted Mean Vote*);
- percentagem previsível de insatisfeitos: *PPD* (*Predicted Percentage Dissatisfied*).

O estabelecimento de exigências para obter condições de conforto térmico faz-se, em regra, definindo limites admissíveis para os parâmetros de que depende a sensação de conforto ou ainda para os índices acima referidos.

A obtenção do índice *PMV* consistiu na adaptação da solução da equação de equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente aos resultados experimentais e permite caracterizar a sensação térmica de um indivíduo (como um todo) a partir da estimativa dos factores individuais (actividade e vestuário) e da medição dos factores ambientais ( $T_a$ ,  $T_{mr}$ ,  $p_a$  e  $v_{ar}$ ). Este índice, aplicável em ambientes térmicos moderados, é descrito na norma internacional ISO 7730-2005 [57]. O índice *PMV* quantifica a opinião média dum grupo de pessoas relativamente a um dado ambiente, expressando as respectivas sensações térmicas de acordo com uma escala de sete níveis, apresentada no quadro 3.3.

**Quadro 3.3** - Escala de sensação térmica [57].

Escala	Sensação térmica
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente fresco
-2	Fresco
-3	Frio

O índice *PMV* é estabelecido para valores estacionários das diferentes variáveis. Todavia, pode também ser determinado, com uma boa aproximação, quando um ou mais parâmetros variam ligeiramente. Neste caso, deve considerar-se as respectivas

médias ponderadas em função do tempo, durante um período de uma hora. [57]

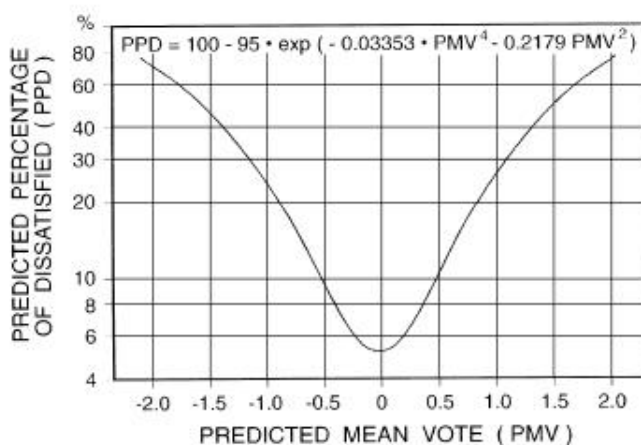
Segundo a norma atrás referida, a utilização do índice *PMV* é recomendada unicamente para valores de *PMV* compreendidos entre -2 (fresco) e +2 (tépido) e, ainda, que os seis parâmetros,  $M$ ,  $I_{CL}$ ,  $T_a$ ,  $T_{mr}$ ,  $v_{ar}$  e  $p_a$  estejam nos intervalos indicados no quadro 3.4.

**Quadro 3.4** - Intervalos de variação dos parâmetros intervenientes no cálculo de *PMV* [57].

Parâmetro	Intervalo de variação
$M$	0,8 a 4 <i>met</i>
$I_{CL}$	0 a 2 <i>clo</i>
$T_a$	10 a 30 °C
$T_{mr}$	10 a 40 °C
$v_{ar}$	0 a 1 m/s
$p_a$	0 a 2,7 kPa

O índice *PMV* é particularmente sensível aos valores de *met* e *clo*, estes podem ser encontrados em bibliografia especializada, nomeadamente em [53,57]. A influencia da humidade na sensação térmica é pequena a temperaturas moderadas, pelo que pode usualmente ser ignorada quando se calcula o valor de *PMV* [57].

Uma vez que o índice *PMV* exprime a média de um grupo de indivíduos, será útil prever o número de pessoas que se sentem desconfortáveis para um dado *PMV*. Sendo assim, o índice *PPD* procura estabelecer uma previsão da percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas, isto é, a percentagem de pessoas que escolheriam os valores +3, +2, -2 ou -3, para descrever a sua sensação térmica. A partir do índice *PMV*, pode determinar-se o índice *PPD* através da equação representada graficamente na figura 3.5.



**Figura 3.5** - *PPD* em função de *PMV* [53].

Em face das diferenças entre indivíduos, é impossível especificar condições de conforto que satisfaçam toda a gente. Pela observação da figura 3.5, retira-se que haverá sempre uma percentagem de ocupantes insatisfeitos (no mínimo 5%). Também as prioridades para as condições locais, nacionais ou técnicas poderão levar à adopção de níveis de conforto diferenciados, por exemplo em função do tipo de espaços. Sendo assim, a norma ISO 7730-2005, [57], estabelece três categorias de conforto térmico global, ver quadro 3.5. Os valores propostos pela norma ASHRAE 55-2004, [53], são coincidentes com a classe B do mesmo quadro.

**Quadro 3.5** - Categorias de ambiente térmico global [57].

Categoria	Estado térmico global do corpo	
	PPD [%]	PMV
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$

Na norma prEN 15 251, [58], considera-se uma classe extra para quando não se cumpre durante um período limitado de tempo a classe C.

### 3.2.2.3. Desconforto Local

Os parâmetros descritos anteriormente foram usados para descrever as condições térmicas relativas às trocas de calor de todo o corpo, no entanto, isto não é suficiente. Um indivíduo pode considerar que a temperatura ambiente está agradável, mas sentir-se desconfortável em consequência, quer de uma corrente de ar, quer de calor em excesso numa zona localizada do corpo. Situações deste tipo denominam-se de "desconforto local" e afectam essencialmente pessoas em actividade sedentária [54].

Os factores que provocam o desconforto local são:

- assimetria de temperatura radiante;
- correntes de ar;
- temperatura do pavimento demasiado elevada ou baixa;
- diferenças de temperatura do ar na vertical.

Numa situação em que um indivíduo está sentado de costas para um envidraçado numa sala devidamente aquecida e sente frio nas costas, verifica-se uma situação de desconforto localizado causado por uma assimetria de temperatura radiante. Assimetria radiante define-se como a diferença entre a temperatura radiante em dois lados opostos de uma pessoa. Os dados disponíveis referem-se somente a pessoas sentadas e estas são mais sensíveis a assimetrias radiantes provocadas por tectos quentes e paredes frias [53] e [57].

Uma corrente de ar é sentida por um indivíduo quando parte do corpo está exposto a uma velocidade excessivamente elevada do ar causando um arrefecimento do corpo (perdas por convecção).

No caso particular de temperaturas elevadas (estação de arrefecimento;  $T_a > 26^\circ\text{C}$ ), a velocidade do ar pode ser benéfica (nomeadamente através do controlo pessoal da abertura de janelas ou ventiladores no tecto), pois pode permitir temperaturas maiores que a temperatura de conforto.

Deve notar-se que o desconforto local pode ser mais crítico do que o desconforto global devido a um inadequado estado térmico global do corpo, uma vez que a insatisfação admissível é menor (como é caso das diferenças de temperatura do ar na vertical ou da assimetria de radiação) [59].

Além dos limites recomendados pela norma ISO 7730-2005, [57], para os índices PMV e PPD, também são referidos limites para os factores que provocam o desconforto

térmico localizado para a actividade sedentária, a norma recomenda que, para garantir que mais de 90% dos ocupantes não sintam desconforto:

a) em condições de Inverno:

i) Assimetria da temperatura radiante

As assimetrias de temperatura radiante de janelas ou outras superfícies frias verticais devem ser inferiores a 10°C (em relação a um pequeno plano vertical colocado a 0,6 m acima do pavimento);

No caso de assimetrias de temperatura radiante de superfícies horizontais, o seu valor deverá ser inferior a 5°C (em relação a um pequeno plano vertical colocado a 0,6 m acima do pavimento).

ii) Correntes de ar

A corrente de ar é uma das causas mais comuns de desconforto local. O valor limite recomendado para a velocidade média do ar deve ser inferior a 0,15 m/s.

iii) Diferenças de temperatura do ar na vertical

A diferença de temperatura do ar na vertical entre 0,10 m e 1,80 m acima do pavimento (níveis do tornozelo e da cabeça) deve ser inferior a 3°C;

Em geral, a temperatura ao nível da cabeça é ligeiramente mais elevada. No entanto se for em demasia, regista-se uma situação de desconforto. As pessoas são mais sensíveis quando a temperatura aumenta no sentido ascendente [57].

iv) Temperatura do pavimento

A temperatura superficial do pavimento deverá estar compreendida entre 19°C e 26°C.

Se a temperatura do pavimento estiver demasiadamente elevada ou demasiadamente baixa, um indivíduo pode sentir-se desconfortável por ter os pés quentes ou frios demais. Para pessoas que usem calçado “leve” o tipo de material de revestimento é indiferente, no entanto, para pés descalços recomenda-se o uso de revestimentos têxteis ou de madeira [57] e [60].

b) em condições de Verão:

i) Correntes de ar

A corrente de ar é uma das causas mais comuns de desconforto local. O valor limite recomendado para a velocidade média do ar deve ser inferior a 0,25 m/s.

ii) Diferenças de temperatura do ar na vertical

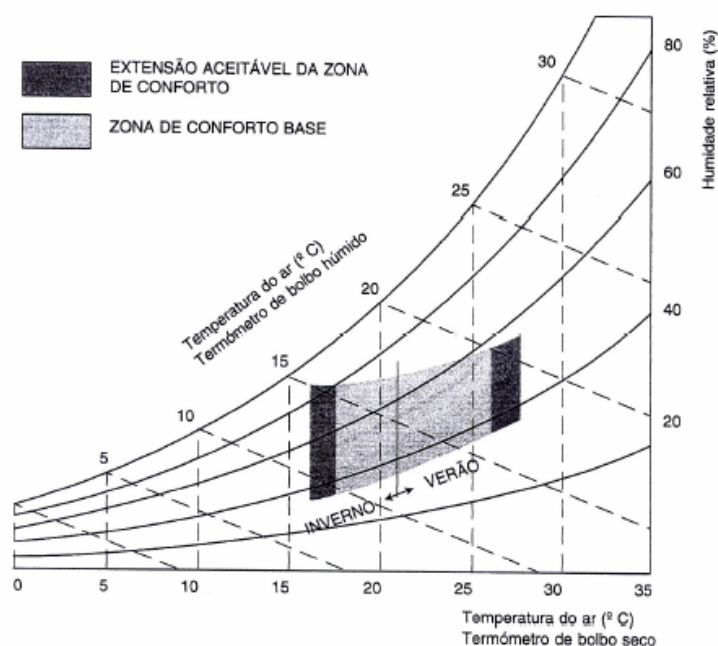
A diferença de temperatura do ar na vertical entre 0,10 m e 1,80 m acima do pavimento (níveis do tornozelo e da cabeça) deve ser inferior a 3°C.

Em Portugal, em meados dos anos 1980, as Regras de Qualidade Térmica para Edifícios admitia que os padrões de conforto poderiam ser traduzidos pela fixação de valores limites para [61]:

- a temperatura do ar interior, que pode variar entre 18°C e 26°C, tendo em conta a variação sazonal da temperatura exterior podendo estes limites ser excedidos em

2°C, em períodos curtos, como se pode observar na figura 3.6. A flutuação diária da temperatura durante os períodos de ocupação não deve ser superior a  $\pm 2^\circ\text{C}$  e, em períodos de Inverno, a diferença de temperatura para locais não aquecidos (corredores, vestíbulos, etc.), ou para locais onde o nível de actividade seja elevado (oficinas, ginásios, etc.) não deve ser superior a  $4^\circ\text{C}$ ;

- a humidade relativa do ar, que deve estar compreendida entre 35% e 85%, devendo evitar-se que em períodos de verão exceda os 60%;
- a radiação do contorno, a temperatura média de radiação deve apresentar valores próximos da temperatura do ar;
- a velocidade do ar, de Inverno deve ser inferior a 0,2 m/s, de Verão a velocidade pode ser mais elevada nos locais de actividade mais pesada (oficinas, ginásios, etc.), mas não devendo ultrapassar os 0,5 m/s.



**Figura 3.6** - Zona de conforto (trabalho leve, velocidade do ar inferior a 0,2 m/s, vestuário adaptado às épocas do ano [61].

Relativamente às condições de desconforto local, a regulamentação portuguesa, RSECE, [2], especifica que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s e os desequilíbrios radiativos devem ser compensados.

Deve notar-se que as condições de conforto devem somente ser estabelecidas na chamada zona ocupada. O RSECE, [2], define esta como o espaço desde o nível do pavimento até cerca de 2 m acima deste, no entanto, definições mais restritivas podem ser encontradas em [53] e [62].

#### 3.2.2.4. Conforto Adaptativo

Os modelos de conforto apresentados anteriormente baseiam-se em medições em estado estacionário, considerando os ocupantes reagindo de forma passiva ao

estímulo térmico. Todos os dias as experiências mostram que apesar disso a temperatura ideal não é constante. A temperatura depende da actividade metabólica e a resistência térmica da roupa dos ocupantes e, por isso, deveria variar de acordo com estes factores. Se tiverem oportunidade, os ocupantes alterarão a temperatura ambiente interior de modo a adequá-la às suas preferências e vice-versa, adaptam-se à temperatura ambiente alterando o tipo de roupa que vestem ou adaptando a sua actividade. Adicionalmente, os ocupantes aceitam variações de temperatura superiores num ambiente do que noutros. Existem essencialmente três factores de adaptação [64]:

- comportamentais (ajustamentos): acções conscientes ou inconscientes para manter o equilíbrio térmico, as quais podem ser de carácter pessoal, tecnológico ou cultural;
- fisiológicos (aclimatização): respostas biológicas a exposições prolongadas com condições térmicas extremas (alteração das temperaturas internas a partir das quais funciona a termoregulação);
- psicológicos (habituação e expectativas): atenuação/controlo da percepção das condições físicas devido a experiências do passado e expectativas existentes relativamente às condições ambientais.

A análise dos estudos realizados revela que os factores comportamentais e psicológicos, repartidos entre si, explicam a discrepância entre as temperaturas de conforto obtidas com o modelo *PMV* e as obtidas em condições reais de edifícios ventilados naturalmente [65].

Os factores anteriores estão reflectidos no princípio adaptativo [66]: “*Se ocorre uma mudança que provoque desconforto, as pessoas reagem de uma forma que tende a restaurar o seu conforto*”. O princípio corresponde na prática às seguintes acções (ou oportunidades de adaptação):

- ajustamentos na temperatura de conforto através de mudanças no vestuário, actividade, postura, ingestão de bebidas, etc., de modo a que os ocupantes se sintam confortáveis sobre as condições prevalecentes;
- ajustamentos nas condições interiores através do uso ou controlo de janelas/portas, sombreamentos e ventiladores. Os ocupantes também podem deslocar-se no interior do compartimento de modo a obterem melhores condições.

De modo a tentar entrar em conta com outros factores, além do simples balanço térmico, têm-se desenvolvido modelos adaptativos em que a principal variável é a temperatura exterior. Em [53] define-se modelo adaptativo como “*um modelo que relaciona a temperatura interior ou a gama de temperaturas aceitáveis com o clima exterior*”. Estes tipos de modelos foram obtidos em condições reais e aplicam-se somente à estação de arrefecimento e a edifícios ventilados naturalmente (*free-running*: sem aquecimento nem arrefecimento) em que os ocupantes têm actividades sedentárias, têm também possibilidade de adaptar o vestuário às condições térmicas interiores e exteriores e acesso e controlo ao uso de janelas. Em edifícios residenciais as oportunidades de adaptação são particularmente livres e fáceis de conseguir, nomeadamente, através da alteração da actividade metabólica e do vestuário.

### 3.2.3. Qualidade do Ar Interior

Em espaços para ocupação humana, a qualidade do ar interior é frequentemente definida como uma extensão do cumprimento dos requisitos humanos. O desejável é que o ar seja percebido como fresco e agradável, isto é, não tenha impacto negativo na saúde e que estimule o trabalho, nomeadamente, através do aumento da produtividade e da aprendizagem das crianças nas escolas [67].

De uma forma geral e desde que a qualidade do ar exterior seja aceitável, a qualidade do ambiente interior pode ser melhorada desde que seja realizada a ventilação desses espaços de forma adequada. A implementação da ventilação deverá ter necessariamente em conta as fontes de poluição de forma a proceder à evacuação para o exterior das substâncias poluentes, preferencialmente, junto da sua fonte, evitando assim a contaminação do ar interior. Tal é o caso, por exemplo, dos aparelhos de combustão de utilização doméstica cujos produtos da combustão deverão ser evacuados directamente para o exterior (aparelhos dos tipos B e C, como os esquentadores e as caldeiras) ou, no caso dos aparelhos do tipo A (como os fogões de cozinha), deverão preferencialmente ser evacuados nas suas proximidades [45].

O ambiente interior dos edifícios é contaminado por substâncias que resultam da utilização corrente desses espaços ou que são emanadas pelos materiais que integram os edifícios, admitindo que o ar exterior não é fonte de poluição [59]. Essas substâncias, dependendo das suas características e da sua concentração, podem ter efeitos sobre o bem-estar dos ocupantes, que vão desde a sensação ligeira de mal-estar até, no limite, serem causadores de doenças graves ou mesmo a morte, como no caso do monóxido de carbono.

A qualidade do ar interior pode ser controlada quer através de uma estratégia de controlo na fonte - minimização das fontes emissoras (recorrendo a materiais de construção e revestimento e a mobiliários que apresentem baixos níveis de emissão de poluentes) - quer através da implementação de estratégias de ventilação adequadas, a saber [27]:

- exaustão localizada: extracção dos poluentes junto à fonte de emissão (hottes);
- diluição: diluição da concentração dos poluentes interiores através da insuflação de ar novo no espaço e consequente extracção do ar interior viciado;
- remoção: remoção dos poluentes interiores por filtragem. A filtragem aparece geralmente associada ao sistema de ventilação que promove também a diluição.

Dentro destas duas opções - controlo na fonte/estratégias de ventilação - o controlo na fonte deve ser privilegiado, já que evita a geração dos poluentes. No entanto, apesar de todo o rigor com que uma estratégia de controlo na fonte seja implementada, será sempre impossível evitar a existência de fontes de emissão de poluentes nos espaços interiores (pessoas, animais, etc.). Assim, a ventilação surge como uma estratégia inultrapassável no controlo da qualidade do ar interior, devendo privilegiar-se a extracção localizada quando em presença de fontes de emissão intensas e pontuais (cozinhar, tomar banho). A diluição e remoção deverão ser encaradas como

mecanismos para a eliminação dos poluentes gerados de uma forma dispersa.

A estratégia de ventilação, se for deficientemente concebida ou implementada, pode ser causadora de desconforto, devido, por exemplo, às correntes de ar. Por outro lado, a sua correcta concepção e implementação pode contribuir para a remoção da carga térmica no interior dos edifícios, participando na melhoria das condições de conforto térmico. Diversas actividades domésticas constituem fontes de poluentes e, em alguns casos, constituem simultaneamente fontes de calor apreciáveis. De entre as actividades que constituem fontes de poluentes são de salientar [59]:

- a actividade fisiológica humana;
- o uso de tabaco;
- a combustão nos aparelhos a gás;
- a preparação de alimentos;
- a lavagem e secagem de loiça e roupa;
- a utilização das instalações sanitárias.

Para que seja possível manter um ambiente adequado à permanência dos ocupantes é, pois, necessário proceder à evacuação das substâncias poluentes, intensificando, quando necessário, o arrefecimento desses compartimentos [59].

#### 3.2.3.1. Critérios de Qualidade do Ar

A qualidade do ar interior deve ser assegurada quer com a finalidade de evitar que poluentes perigosos atinjam concentrações que possam por em risco a saúde dos ocupantes, quer com a finalidade de manter um ambiente agradável [59]. Assim, devem coexistir dois critérios: numa situação são estabelecidos valores limite para as substâncias poluentes em função do tempo de permanência dos ocupantes no ambiente contaminado (critério de saúde), noutra situação são estabelecidos critérios relacionados com os efeitos sensoriais causados pelas substâncias poluentes nos seres humanos (critério sensorial) [52], [60] e [68].

Relativamente ao primeiro critério, apresentam-se no quadro 3.6 as concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios segundo o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização (RSECE: DL 79/06, de 4 de Abril) [2].

É importante a coexistência dos dois critérios uma vez que há substâncias que só podem ser avaliadas por um deles. Por exemplo, o monóxido de carbono é um gás que em concentrações relativamente elevadas é mortal e, sendo incolor e inodoro, não é detectável pelo ser humano. Por outro lado, os odores podem ter diversas origens que os tornam difíceis de avaliar, contudo podem ser muito incómodos precisamente pelo facto dos seres humanos lhes serem sensíveis. Claramente ao primeiro caso (monóxido de carbono) adequa-se o critério da imposição de valores limite e no segundo caso adequa-se a aplicação de critérios relacionados com os efeitos sensoriais [59].



**Quadro 3.6** - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios [2].

Parâmetros	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar (PM <sub>10</sub> )	0,15 mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de carbono	1800 mg/m <sup>3</sup>
Monóxido de carbono	12,5 mg/m <sup>3</sup>
Ozono	0,2 mg/m <sup>3</sup>
Formaldeído	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Compostos orgânicos voláteis totais	0,6 mg/m <sup>3</sup>
Microorganismos (bactérias e fungos)	500 unidades formadoras de colónias (UFC)
Legionella <sup>(1)</sup>	100 unidades formadoras de colónias (UFC)
Radon <sup>(2)</sup>	400 Bq/m <sup>3</sup>
(1) pesquisa obrigatória em edifícios com sistemas AVAC com produção de aerossóis; (2) pesquisa obrigatória em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.	

Em princípio, ambos os critérios devem ser sempre verificados, a menos que as fontes de poluição claramente privilegiem uma das situações, bastando para isso a verificação de um critério para que o outro seja sempre verificado [59]. Por outro lado, num local fechado onde os ocupantes constituam a maior fonte de poluição do ar a situação mais crítica é constituída pela sensação de "ar viciado" que tem quem entra, sem que os poluentes atinjam quaisquer concentrações que ponham em risco a saúde dos ocupantes. Neste caso bastará uma apreciação dos efeitos sensoriais dos poluentes.

Uma das principais causas de má qualidade do ar interior nos edifícios resulta de uma taxa de ventilação insuficiente. A ventilação dos edifícios deve ser geral e permanente, mesmo nos períodos em que a temperatura exterior obriga a manter as janelas fechadas. O facto do efeito térmico estar essencialmente limitado à estação fria obriga a considerar em separado a ventilação em situação de Inverno (entendido como a fase em que ocorrem diferenças de temperatura entre o interior das habitações e o exterior dos edifícios superiores a 8°C) e em situação de Verão (situação em que não ocorre tal diferença de temperatura) [45]. Em situação de Verão os compartimentos principais devem ser arejados sobretudo por abertura das janelas. Os vãos de uma mesma habitação em comunicação com o exterior devem, preferencialmente, ser localizados em fachadas de orientação diferente de maneira a permitir o aproveitamento da diferença de pressões provocada pela acção do vento para aumentar a eficácia da ventilação cruzada. A disposição dos compartimentos e a orientação das aberturas para o exterior devem, preferencialmente, estar coordenadas com a direcção do vento predominante de forma a favorecer a admissão de ar exterior pelos compartimentos principais e a evacuação pelos compartimentos de serviço.

Em edifícios residenciais, os sistemas de ventilação destinam-se no essencial a assegurar a qualidade do ar interior, fornecer ar novo para os aparelhos de combustão e assegurar a extracção dos produtos da combustão. Esta ventilação deve ser assegurada em condições de conforto, segurança e minimizando os consumos energéticos [69]. A admissão de ar exterior é requerida para salvaguardar a saúde dos ocupantes e tem, nomeadamente, as seguintes funções [70]:

- diluição e/ou remoção de poluentes, como por exemplo de substâncias emitidas

pela mobília, materiais dos edifícios e produtos de limpeza, odores, CO<sub>2</sub> proveniente do metabolismo humano e vapor de água;

- diluição e/ou remoção de poluentes específicos de fontes identificadas, como por exemplo odores provenientes de instalações sanitárias, da cocção dos alimentos, do vapor de água da cocção de alimentos ou banhos, do fumo do tabaco e dos produtos da combustão;
- provisão de oxigénio para a respiração dos ocupantes;
- controlo da humidade interna;
- provisão de ar para os aparelhos de combustão.

Apresentam-se no quadro 3.7 um resumo das prescrições de ventilação para edifícios residenciais.

**Quadro 3.7** - Resumo de prescrições de ventilação para edifícios residenciais [1],[2], [45],[58].

Legislação	Taxa de ventilação global	Salas <sup>(1)</sup>		Quartos <sup>(1)</sup>		Cozinha <sup>(2)</sup>		Inst. Sanitária com banho <sup>(2)</sup>		Inst. Sanitária sem banho <sup>(2)</sup>	
		m <sup>3</sup> /h	RPH	m <sup>3</sup> /h	RPH	m <sup>3</sup> /h	RPH	m <sup>3</sup> /h	RPH	m <sup>3</sup> /h	RPH
prEN 15 251	0,6 RPH	25,2		25,2		≥ 72		≥ 54		≥ 36	
NP 1037-1 <sup>(4)</sup>		> 30	1 e > 4 com lareira	> 30	1	> 60	4 <sup>(3)</sup>	> 45	4	> 30	4
RSECE <sup>(5)</sup>		> 30/60		> 30/60							
RCCTE	0,6 RPH										

(1) admissão pelos compartimentos principais;  
 (2) exaustão pelos compartimentos de serviço;  
 (3) é necessário prever caudal de admissão de ar para os aparelhos de combustão tipo A (4,3xPotência nominal [kW] m<sup>3</sup>/h) e B (5,0xPotência nominal [kW] m<sup>3</sup>/h);  
 (4) considera apenas a existência de ventilação natural;  
 (5) os valores indicados indicam a taxa de ventilação mínima para os compartimentos sem fumadores/com fumadores.

As taxas de ventilação especificadas em edifícios residenciais variam de país para país, que em normas (ou regulamentos) prescrevem renovações por hora  $R_{PH}$  [h<sup>-1</sup>] para toda a habitação e outras prescrevem renovações ou caudais volúmicos para compartimentos específicos. Como já foi anteriormente referido a humidade relativa é frequentemente o factor determinante no estabelecimento destas taxas, principalmente nos compartimentos de serviço (cozinhas e instalações sanitárias). Sendo assim as taxas mais altas (exaustão) são normalmente especificadas para os compartimentos anteriores e as admissões situam-se nos compartimentos principais (quartos e salas) de modo a prover oxigénio metabólico e diluir poluentes e odores dos ocupantes.

O clima influencia naturalmente a escolha do sistema de ventilação, variando este entre sistemas totalmente controláveis e baixa permeabilidade ao ar da envolvente (climas mais frios) até sistemas de ventilação natural (controlo quase nulo) e alta permeabilidade da envolvente (climas mais quentes).

### 3.2.3.2. Fontes de Poluição do Ar Interior

No interior dos edifícios as fontes de poluição do ar interior são diversas, podendo ser subdivididas em:

- poluentes libertados pelos ocupantes e pelas suas actividades, nomeadamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O), vapor de água e os bioefluentes humanos;
- poluentes libertados pelos aparelhos de combustão, nomeadamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O), e monóxido de carbono;
- poluentes libertados pelos materiais de construção, pelo solo, materiais de limpeza, equipamentos (electrodomésticos, computadores, etc.), perfumes, etc., nomeadamente formaldeído, Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), radon, amónia, partículas, ozono, etc.

A densidade de ocupação e de equipamentos, os materiais sintéticos de revestimento (tintas, vernizes, aglomerantes, etc.), entre outros, estão na origem da elevada taxa de geração de poluentes no interior dos edifícios modernos. Por esta razão, a qualidade do ar interior é, na generalidade dos casos, significativamente inferior à qualidade do ar exterior. Assim sendo, e atendendo a que 90% das nossas vidas acontece no interior de edifícios, é fundamental acautelar a qualidade do ar interior, nomeadamente ao nível do projecto, da instalação e da própria exploração do edifício. Uma má qualidade do ar interior pode originar efeitos imediatos (odores desagradáveis, etc.), efeitos a curto prazo (irritações e infecções ao nível das vias respiratórias, da pele, dos olhos, etc.) e até efeitos a médio/longo prazo, como é o caso, a título de exemplo, da asbestose, tumor extremamente grave dos pulmões causado pela inalação de fibras de asbestos (amianto) em suspensão no ar [27].

#### 3.2.3.3. Sistemas de Ventilação

Em Portugal, não existe a obrigatoriedade legal directa da execução de projectos de ventilação para edifícios de habitação. Existe, sim, uma obrigatoriedade indirecta através da Norma Portuguesa NP 1037-1 [45], uma vez que vários Regulamentos ligados a área da distribuição de gás canalizado se reportam a ela.

Como já foi referido anteriormente, é a ventilação de um edifício que permite garantir a qualidade do ar interior (QAI), fornece ar novo para os aparelhos de combustão e assegura a extracção dos produtos da combustão, assegurando, as condições de conforto, segurança e minimizando os consumos energéticos do mesmo. A ventilação também tem por finalidade o controlo da humidade do ar interior de forma a minimizar o risco de ocorrência de condensações e o consequente desenvolvimento de fungos, bolores e microorganismos. A necessidade de garantir a QAI aceitável obriga a recorrer a determinados sistemas/processos, para introduzir ou remover ar de um compartimento.

Na Europa são utilizados diversos sistemas e estratégias de ventilação. Em alguns países, como é o caso da generalidade dos edifícios em Portugal, a única ventilação existente consiste em infiltrações descontroladas através de frinchas existentes na envolvente, enquanto que noutros países, os sistemas de ventilação com dispositivos passivos são mais frequentes. Em climas muito frios, nos países do Norte da Europa, os sistemas de ventilação mecânica são os mais comuns e com recuperação de calor associada.

Existe, portanto, uma gama alargada de sistemas de ventilação, cada um com as suas vantagens e desvantagens, e isto porque a aplicabilidade de cada sistema se encontra fortemente dependente do tipo de edifício, condições climáticas, níveis de poluição exterior e interior, entre muitos outros factores não menos relevantes.

#### 3.2.3.3.1. Ventilação Natural

A estratégia de ventilação natural é, especialmente, adequada para edifícios de pequenas dimensões, nomeadamente habitações unifamiliares localizados em climas moderados. A ventilação natural surge, também, como um investimento de baixo custo, em termos de capital inicial, manutenção e operação, quando comparado com sistemas mecânicos. No entanto, “natural” significa que o desempenho do sistema de ventilação será aleatório, e um controlo eficiente para o edifício apresenta-se complexo. É necessário garantir a entrada de ar no edifício, o que obriga a que a envolvente exterior seja permeável, o que pode causar conflitos com outras exigências de projecto.

Nota-se, portanto, que apesar da ventilação natural ser muito atractiva, o projecto deste tipo de sistema exige que se tenha em consideração uma série de fenómenos e critérios nem sempre fáceis de tratar pelo que, é difícil projectar um sistema de ventilação natural que verifique a norma NP 1037-1 [45].

Os fenómenos da ventilação natural são muito variáveis no tempo e no espaço, o que dificulta o controlo das taxas de ventilação do edifício. Deste modo, podem ocorrer períodos em que os diferentes fenómenos (gradiente de temperatura e pressão do vento) agem em simultâneo, aumentando as referidas taxas ou, agem em sentidos opostos, reduzindo drasticamente a ventilação do edifício. No sentido de minorar este efeito desenvolveram-se sistemas e estratégias de controlo que permitem otimizar o recurso à ventilação natural, embora se mantenha a sua dependência da temperatura, velocidade e direcção do vento. Os sistemas de ventilação natural podem ser caracterizados em sistemas com ventilação controlada e não controlada (infiltrações).

##### a) Ventilação natural não controlada (infiltrações)

Estratégia de ventilação mais frequente em Portugal em edifícios já construídos. A entrada do ar nos compartimentos efectua-se através de frinchas existentes na envolvente do edifício (caixilharias das portas e janelas). Este processo pode ser intensificado através da abertura de janelas e/ou portas. Trata-se de um processo simples mas desaconselhado uma vez que não existe qualquer tipo de controlo sobre a ventilação originando problemas quer no Inverno, quer no Verão:

- Inverno - ventilação deficiente; a não abertura das janelas pode provocar uma ventilação deficiente ou taxas de ventilação excessivas se, apesar das baixas temperaturas exteriores a abertura das janelas for efectuada, provocando correntes frias, desconforto nos ocupantes e, consequentemente, no caso de existir aquecimento aumento do consumo energético;
- Verão - neste período, o gradiente térmico é mais reduzido ocorrendo, por tal motivo, uma diminuição das taxas de ventilação e sobreaquecimento dos

compartimentos.

O facto de, actualmente, existir uma melhoria no isolamento da envolvente dos edifícios, que incluem também a redução da área de frinchas, tem como consequência directa uma maior especificidade do edifício, ou seja, adverso aos fenómenos da ventilação natural.

b) Ventilação natural controlada – através de aberturas na fachada

O princípio de funcionamento deste sistema de ventilação é semelhante a anterior, no entanto, os caudais de ar entram/saem do edifício através de aberturas propositadamente colocadas nas fachadas. Em consequência do aumento da qualidade da construção, que origina edifícios mais estanques, promove-se desta forma a entrada de ar no edifício através da inclusão de grelhas nas suas fachadas.

As grelhas a incluir nas fachadas podem ser de dois tipos: reguláveis e auto-reguláveis. Em ambos os casos, a abertura e o fecho dos dispositivos pode ser controlada manual ou automaticamente.

- grelhas reguláveis: este tipo de dispositivos em que a área de passagem pode ser regulada, não permite a regulação do caudal em função das condições interiores e exteriores. Ou seja, os caudais que as atravessam são totalmente dependentes da acção do vento e do gradiente de temperaturas, não sendo possível aumenta-los ou diminui-los, uma vez que se tratam de aberturas estáticas;
- grelhas auto-reguláveis: este último tipo de abertura permite a obtenção de um caudal de admissão aproximadamente constante, dentro de uma determinada gama de gradientes de pressão, e evita, totalmente, as exfiltrações de ar. São aberturas que funcionam em função do gradiente de pressão entre o interior e o exterior do edifício, fechando automaticamente sempre que o diferencial é negativo. No caso de diferenciais positivos, ajusta a área útil de passagem mantendo o caudal que a atravessa aproximadamente constante. A utilização das grelhas automáticas está fortemente associada a estratégias de ventilação com sistema de controlo automático.

c) Ventilação natural controlada – assistida por condutas verticais

Com o intuito de facilitar e incrementar o efeito da ventilação natural é comum adicionar aos dispositivos descritos anteriormente (grelhas) condutas verticais. Esta técnica é frequente em habitações unifamiliares. As condutas verticais incrementam a extracção do ar do interior do edifício devido ao efeito de chaminé. Estas "chaminés" são parte integrante da construção e servem, geralmente, para remover o ar das zonas húmidas como é o caso das cozinhas e das instalações sanitárias. Nestes casos, o ar admitido nos compartimentos principais (quartos e salas), através de aberturas existentes na fachada (grelhas, frinchas, janelas, etc.). Apesar de não existir um controlo dos caudais de ventilação, as aberturas e as condutas são dimensionadas de modo a garantir um caudal médio de ventilação, o que não evita a existência de situações extremas, tal como já foi referenciado.

Os processos de ventilação geral e permanente das habitações por ventilação natural devem compreender [45]:

a) Ventilação conjunta

- i) entradas de ar nos compartimentos principais, realizadas através de aberturas directas para o exterior, praticadas nas paredes de fachada, ou através de aberturas servidas por condutas de comunicação com o exterior, independentes das aberturas das janelas;
- ii) passagens de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço, realizadas através de aberturas especialmente previstas para o efeito (grelhas ou folgas);
- iii) saídas de ar dos compartimentos de serviço, realizadas através de aberturas servidas por condutas individuais ou colectivas de evacuação de ar para o exterior do edifício.

b) Ventilação separada dos espaços

Designa-se por "ventilação separada dos espaços" a situação em que o volume ventilado abrange unicamente uma fracção da habitação. O esquema de ventilação separada é tecnicamente recomendável para os compartimentos onde estejam instaladas lareiras, sejam alimentadas a gás (aparelhos dos tipos A e B), sejam alimentadas por outros combustíveis.

São condições necessárias para a implementação da ventilação separada de compartimentos a existência de entradas de ar novo, saídas de ar poluído, passagens de ar interiores (quando a ventilação separada abrange vários compartimentos) e comunicações de reduzida permeabilidade ao ar com outros sectores de ventilação ou com o exterior. Deve ser evitada a solução de só existirem compartimentos principais num mesmo sector de ventilação.

O facto do efeito térmico estar essencialmente limitado à estação fria obriga a considerar em separado a ventilação em situação de Inverno (entendido como a fase em que ocorrem diferenças de temperatura entre o interior das habitações e o exterior dos edifícios superiores a 8°C) e em situação de Verão (situação em que não ocorre tal diferença de temperatura).

Partindo do especificado na norma NP 1037-1 [45], levou-se a cabo um estudo [71] que, através da simulação numérica em regime dinâmico, caracterizou o funcionamento da ventilação natural, para uma habitação tipo e avaliou o impacto no consumo de energia para aquecimento e na temperatura do ambiente interior, da adopção dos caudais de ventilação recomendados pela norma. Apontam-se de seguida as principais conclusões retiradas desse trabalho:

- o recurso a ventilação natural apresenta algumas dificuldades no nosso clima;
- apesar de existirem pontos a melhorar, o cumprimento da Norma NP 1037-1 terá, certamente, reflexos positivos, nas condições de ventilação dos nossos edifícios;
- para as nossas condições climáticas, as aberturas mínimas preconizadas pela Norma, poderão não assegurar, em termos médios, os caudais nela indicados;

- o dimensionamento das aberturas que cumprem os caudais recomendados pela Norma e, como é evidente, dependente da localização, altura e orientação do fogo;
- a instalação de ventiladores estáticos com um bom poder de sucção, no topo das condutas de exaustão é determinante, permitindo o aumento dos caudais normais de admissão e de evacuação e a diminuição dos caudais de refluxo;
- é necessário ponderar, atentamente, as características das aberturas auto-reguláveis disponíveis no mercado, de forma a proceder-se a um dimensionamento adequado;
- comparativamente as aberturas não reguláveis as aberturas auto-reguláveis permitem a diminuição dos picos dos caudais em circulação e consequentemente, do valor máximo do consumo de energia;
- no caso do sistema de ventilação natural ser dimensionado para a condição de temperatura interior igual a 20°C, tal implica caudais insuficientes e temperaturas extremamente baixas, no caso de não aquecimento do fogo. Para se cumprirem os caudais médios, no caso de não aquecimento, seria necessário aumentar as aberturas de ventilação para dimensões incomportáveis. Poderá juntar-se este argumento a outros bem conhecidos, para defender a inevitabilidade da adopção de um patamar mínimo de aquecimento nas nossas habitações;
- a tiragem térmica é consideravelmente superior ao efeito do vento, mesmo para os pisos mais elevados, o que já era de esperar, para o Inverno. Para o Verão, que esta fora do âmbito deste estudo, o efeito dominante será o do vento, prevendo-se dificuldades acrescidas para garantir os caudais necessários por períodos de tempo adequados;
- o impacto energético da Ventilação Natural é o mais importante no conjunto de todas as perdas térmicas em edifícios devidamente isolados, daí a conveniência de ligar o projecto térmico com o de ventilação;
- é importante desenvolver metodologias para melhorar a eficiência dos sistemas de ventilação natural, em especial no que diz respeito a garantia dos caudais mínimos e a conservação de energia;
- a utilização de sensores de presença e de diferenciais de pressão, bem como sensores de humidade, no sentido de obter caudais adaptados ao funcionamento da habitação, apresenta vantagens claras e devera ser uma estratégia a desenvolver num futuro próximo.

Dadas as condições expostas atrás, impõe-se implementar metodologias para, simultaneamente, aumentar a eficiência dos sistemas de ventilação natural e reduzir as perdas de energia com eles relacionadas. Executaram-se, assim, simulações que tiveram em conta o uso de sistemas integrando sensores de presença e de diferenciais de pressão do ar, de modo a que com o funcionamento de actuadores que intervêm na secção útil das aberturas auto-reguláveis, se reduzam para metade os caudais de ventilação, quando os compartimentos não estiverem em funcionamento, com excepção da cozinha nos períodos de funcionamento do esquentador, em que essa redução é de somente 30% [72]. A aplicação deste sistema, para a situação do fogo, aquecido, em Bragança, no 3º piso e orientado a NE/NW, conduziu a uma

poupança de energia de 40%, ao longo da estação de aquecimento, em relação a situação sem sensores [71]. Verificou-se, entretanto, que esta poupança de energia, não seria conseguida só com a aplicação de sensores de presença pois não seria, assim, possível adaptar a secção útil das aberturas as diferentes condições de diferenciais de pressão exterior/interior. Para as mesmas condições, a utilização exclusiva de sensores de presença conduziu a uma poupança de energia de, unicamente, 13% pois obtiveram-se caudais pontuais, por vezes, bem superiores ao pretendido [71].

#### 3.2.3.3.2. Ventilação Mecânica

Num sistema de ventilação mecânica o gradiente de pressões é provocado pela existência de um, ou mais, ventiladores que, à custa de um consumo energético adicional, provoca uma diferença de pressões que promove a ventilação.

Neste tipo de sistemas, o controlo dos caudais de insuflação/extracção é mais eficaz do que num sistema de ventilação natural, eliminando quase na totalidade os fenómenos de ventilação provocados pela acção do vento e diferença de temperatura.

Nos edifícios podem existir três tipos de ventilação mecânica: insuflação mecânica, extracção mecânica e sistemas balanceados, que não são mais do que a combinação dos dois primeiros. Em todos eles existe um sistema de condutas, associado a um ou mais ventiladores, que, tal como já referido, promovem a circulação de ar no edifício através do gradiente de pressões que provocam, e que é proporcional aos caudais de ar em movimento.

- a) Insuflação Mecânica: neste sistema o ar é insuflado no edifício através de uma rede de condutas à qual está associado um ventilador. Desta forma o edifício é pressurizado e o ar é forçado a sair pelas frinchas, janelas ou grelhas existentes nas fachadas.

Uma das principais desvantagens deste método está associada ao controlo dos poluentes nas diferentes zonas e também do nível de humidade. Este tipo de sistema de ventilação é pouco usual nos edifícios em Portugal.

- b) Extracção Mecânica: sistema bastante difundido nos edifícios em Portugal. Neste caso, provoca-se uma depressão no interior do edifício, forçando-se a saída do ar por meios mecânicos. A localização destes sistemas é comum em zonas com grande produção de humidade e/ou odores (cozinhas e instalações sanitárias).

O facto de se criar uma depressão no edifício obriga a entrada de ar exterior através de frinchas, portas, janelas, entre outros. Para se aumentar a eficiência do sistema deve introduzir-se grelhas reguláveis nas fachadas do edifício, nomeadamente nos quartos e salas para se garantir uma melhor QAI.

- c) Sistemas Balanceados: o edifício dispõe de insuflação e extracção mecânica, totalmente independentes, tendo o sistema de insuflação, em média 90 a 95 % da capacidade do sistema de extracção provocando, deste modo, uma ligeira despressurização do edifício. O ar é insuflado nos compartimentos principal e extraído nos compartimentos de serviço, onde ocorre produção de vapor de água e



odores. Nestes sistemas é possível a instalação de um recuperador de calor, que garante o pré-aquecimento do ar insuflado.

#### 3.2.4. Qualidade da Iluminação

O conforto visual deve ser sempre o principal determinante nas necessidades de iluminação no interior dos edifícios, este pode ser considerado como um factor psicológico que traduz o grau de satisfação dos indivíduos com o seu ambiente visual. Uma boa iluminação do ambiente de trabalho contribui para aumentar a satisfação, melhorar a produtividade e reduzir a fadiga e os acidentes. A obtenção de um ambiente luminoso interior confortável, depende essencialmente da quantidade, da distribuição e da qualidade da luz nesse espaço [30].

A distribuição da luz num determinado espaço deve ser tal que diferenças excessivas em luz e sombra sejam evitadas pois podem ser causa de perturbações no desempenho visual dos ocupantes. Também os vãos envidraçados e os dispositivos de iluminação artificial devem ser localizados de modo a que o encandeamento seja minimizado. Deve ainda ser prestada particular atenção a qualidade da luz pois tanto a sua composição espectral como a sua constância temporal e espacial devem ser adequadas as tarefas visuais. A análise do conforto visual em edifícios, e geralmente efectuada mediante a avaliação de determinados parâmetros e grandezas, como sejam as luminâncias, as reflectâncias, o contraste e o encandeamento [30].

A iluminação artificial deve ser encarada como um modo de complementar a iluminação natural. Um ambiente iluminado naturalmente é, devido à maior sensação de ligação ao ambiente exterior que propicia, geralmente muito melhor aceite do que um ambiente que necessite sistematicamente de iluminação artificial. Sendo assim, a qualidade da iluminação de um ambiente interior passa, obviamente, pela optimização das condições de iluminação natural [27] mas deve-se evitar a incidência da luz solar directa dentro dos compartimentos, para isso, o estudo da orientação do edifício deve ser feito com muito cuidado, para evitar a ocorrências de eventuais encandeamentos.

##### 3.2.4.1. Iluminação Natural nos Edifícios

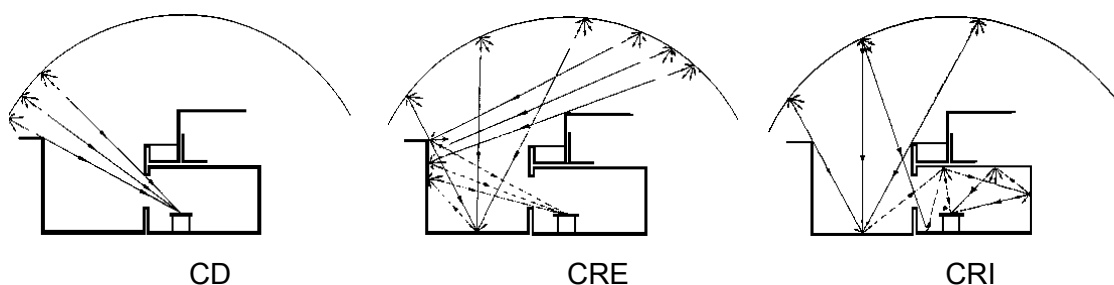
A iluminação natural disponível no interior dos edifícios, como já foi anteriormente referido, está dependente da disponibilidade de luz natural no exterior. A iluminação natural total disponível num determinado ponto do interior de um compartimento, resulta do somatório das seguintes contribuições [73]:

- i) A luz recebida directamente do Sol. Tipicamente a componente directa do Sol deve ser obstruída nos espaços ocupados por questão dos ganhos de calor excessivos, do encandeamento, e da degradação provoca pelos UV.
- ii) A luz recebida do céu após ter sido difundida “dispersa” pelos gases existentes na atmosfera “luz azul” e pelas partículas de água nas nuvens “luz branca”. A abóbada

do céu transforma-se então numa contribuição importante à iluminação natural do espaço.

- iii) A luz das duas componentes anteriores após ter sido reflectida em superfícies próximas, isto inclui, os edifícios adjacentes, as superfícies da terra, a vegetação, o pavimento exterior, grandes janelas, objectos, etc. Recordar que a reflexão excessiva da terra resultará no encandeamento.
- iv) A luz reflectida pelas superfícies interiores. Uma vez que a luz natural entra no compartimento, as paredes próximas, o tecto, e as superfícies claras do pavimento são reflectores importantes. Usar superfícies com reflectância elevadas melhorará a reflexão da luz natural no compartimento e reduzirá o contraste extremo do encandeamento. Os materiais do caixilho da janela devem ter cores claras para reduzir o contraste com a vista e ter um revestimento mate para eliminar pontos de encandeamento.

É habitual referirem-se as duas primeiras contribuições como a Componente Directa (CD) da iluminação natural, e as restantes como Componente Reflectida Exterior (CRE) e Componente Reflectida Interior (CRI), ver figura 3.7.



**Figura 3.7** - Os componentes da iluminação natural [139].

#### 3.2.4.2. Níveis de Iluminância

As condições de iluminação natural de um espaço podem ser caracterizadas pelas iluminâncias produzidas pela luz natural, que diferem de ponto para ponto, dependem do plano iluminado e variam no tempo de acordo com as condições exteriores de nebulosidade e com a posição do Sol. Deste modo, a iluminância num dado ponto de um espaço interior pode não ser representativa desse espaço. As iluminâncias podem ser muito diferenciadas consoante o plano que se considere. É habitual considera-se como plano de referência o plano de realização das principais tarefas visuais (num dado compartimento). Por exemplo, em locais onde predominem as tarefas visuais de leitura e escrita, o plano que se considera é aquele que inclui os tampo das mesas de trabalho, e que se admite habitualmente horizontal e à cota de 0,75 m a 0,85 m.

As preferências dos ocupantes dos edifícios quanto as suas condições de iluminação desejáveis são subjectivas, relativas e contextuais. Todavia, a actividade a ser desenvolvida é crítica e, regra geral, quanto mais exigente (do ponto de vista visual)

for uma determinada tarefa maior devera ser o valor de iluminação necessário para a realização dessa tarefa em condições de conforto. Uma iluminação desadequada pode ser causa de fadiga, dores de cabeça, irritabilidade, não falando das consequências em erros e acidentes decorrentes dessa desadequada iluminação.

Embora o olho humano seja um órgão extraordinariamente adaptável, ele só consegue desempenhar correctamente as funções visuais dentro de uma gama de níveis de iluminâncias relativamente limitada. Para a realização de uma determinada tarefa visual os níveis de iluminância mais adequados dependem do grau de desempenho visual requerido, da distribuição da luz e da luminância das superfícies no campo de visão.

Tabelas com valores de iluminâncias recomendadas para diferentes tipos de actividades, são do conhecimento dos profissionais do projecto de edifícios fornecendo indicações quanto aos valores mínimos das iluminâncias necessárias para um adequado desempenho das várias tarefas visuais em condições de conforto para os ocupantes. Na tabela que se segue referem-se as recomendações da CIE (Comissão Internacional de Iluminação) quanto aos níveis de iluminâncias para vários tipos de actividades. No quadro 3.8 são indicados os valores recomendados pela CIE são geralmente adoptados pelas comissões de iluminação nacionais e tem vindo a ser usados como valores de referencia podendo ser considerados como bons parâmetros de trabalho.

Investigações recentes têm vindo a demonstrar que quando a fonte de luz principal é a iluminação natural, em detrimento da iluminação artificial, os ocupantes dos edifícios têm tendência a aceitar uma maior gama de variações nos valores das iluminâncias, dentro dos parâmetros subjectivos de conforto visual [30].

Para o caso de actividades desenvolvidas em edifícios residenciais, as iluminâncias recomendadas (no(s) plano(s) de trabalho) encontram-se sumariados no quadro 3.9.

**Quadro 3.8** - Iluminâncias recomendadas para zonas interiores [30] e [74].

Domínio	Iluminâncias Recomendadas (lux)	Tipo de actividade
Iluminação geral para áreas pouco utilizadas ou com poucas exigências do ponto de vista das tarefas visuais	20 – 50	Áreas públicas com zonas circundantes "escuras".
	50 - 100	Orientação simples apenas para visitas temporárias de curta duração.
	100 - 200	Compartimentos usados em actividades não contínuas (áreas de armazenagem, vestíbulos, átrios, etc.).
Iluminação geral em zonas interiores com exigências do ponto de vista das tarefas visuais	300 – 500	Tarefas com exigências visuais limitadas (trabalho com maquinas de pouca precisão, anfiteatros, etc.)
	500 - 1000	Tarefas com exigências visuais normais (salas de aula, gabinetes, trabalho com maquinas de precisão media, etc.)
	1000 - 2000	Tarefas com exigências visuais especiais (salas de desenho, gabinetes de arquitectura, tarefas de inspecção de materiais, etc.)
Iluminação adicional para o desempenho de tarefas visuais que exijam grande exactidão	3000 – 5000	Tarefas que exijam um desempenho visual de elevada exactidão, durante um período longo (fabrico de relógios, industria electrónica, outras actividades de precisão, etc.).
	5000 - 7500	Tarefas visuais que exijam um desempenho visual excepcionalmente exacto (micro-electrónica).
	10000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais (cirurgias).

**Quadro 3.9** - Iluminâncias recomendadas para zonas interiores [30].

Edifícios Residenciais	Iluminância (lux)
zonas de passagem ("halls")	50 - 100
salas de jantar	100
salas de estar, cozinhas	200
zonas de estudo	300 - 500
quartos	100
Instalações sanitárias	100

No caso de espaços dotados de Iluminação Natural, os requisitos em termos de iluminâncias podem também ser traduzidos em termos de valores mínimos do factor de luz do dia médio (*FLDM*) no plano de trabalho.

O conceito de factor de luz do dia médio (quociente entre a iluminância num plano de referência interior, normalmente o plano de trabalho, e a iluminância num plano horizontal exterior para um céu de referência – céu-encoberto-padrão CIE [75] –, em %). Este factor traduz a eficácia de um determinado compartimento em função da Iluminação Natural. Nas regiões do Sul da Europa, onde as condições de céu não-encobertos são predominantes, deveremos também caracterizar os espaços iluminados naturalmente em função dos efeitos da luz directa do Sol, tanto em termos dos níveis de iluminação como da satisfação das exigências do conforto visual [30].

Os níveis de iluminância mais adequados dependem do grau de desempenho visual requerido, da distribuição da luz e da luminância (quantidade física de brilho) das superfícies no campo de visão. Uma desadequada iluminação pode ser a causa de fadiga, dores de cabeça, irritabilidade com os consequentes erros e acidentes decorrentes dessa desadequada iluminação. No quadro 3.10 são indicados os valores recomendados do factor de luz do dia médio em edifícios residenciais.

**Quadro 3.10** - Valores recomendados do FLDM (%) em edifícios residenciais [30].

Edifícios residenciais	FLDM (%)
Quartos de dormir	0,5 % (a 3/4 do comprimento do compartimento)
Cozinhas	2 % (a meio do comprimento do compartimento)
Salas de estar	1 % (a meio do comprimento do compartimento)

### 3.2.4.3. Contraste

Em termos simples, o contraste define-se como sendo a diferença entre a aparência visual de um objecto e a do seu fundo imediato. Pode ser expresso em termos de luminâncias, ou de reflectâncias entre superfícies [30]. A quantidade e distribuição da luz, e consequentemente a quantidade do contraste, num compartimento dependente das propriedades reflectoras das paredes e de outras superfícies. Deste modo, a influencia das propriedades reflectoras das superfícies interiores é de importância primordial. Como regra geral, de modo a conseguir-se uma adequada distribuição de luminâncias, as cores claras devem ser usadas para grandes superfícies, e cores brilhantes para as pequenas superfícies (mobiliário, portas, etc.). As reflectâncias recomendadas para várias superfícies interiores estão indicadas no quadro 3.11.

**Quadro 3.11** - Reflectâncias recomendadas [30].

Tectos:	0,70 – 0,85
Paredes próximas de fontes de luz:	0,60 – 0,70
Outras paredes:	0,40 – 0,50
Mobiliário:	0,25 – 0,45
Pavimentos:	0,15 – 0,30

Recordar que a superfície de reflexão da luz interior mais importante é o tecto. Inclinar o plano do tecto para a fonte da luz natural aumenta a luz que é reflectida desta superfície. Em compartimentos pequenos a parede do fundo é a seguir a superfície mais importante porque está directamente de frente para a janela. Esta superfície deve também ter um revestimento de reflectância elevada. As paredes laterais seguidas pelo pavimento têm menos impacto na reflexão da luz natural no compartimento.

A redução de contrastes excessivos pode ser conseguida através da utilização de paredes e tectos de cores claras, que permitem uma melhor distribuição da luz. Em particular, pinturas de cores claras devem ser normalmente usadas nas paredes que contem os vãos envidraçados.

Outro aspecto importante com influencia no conforto visual relaciona-se com a limitação dos valores do contraste de iluminâncias admissíveis entre diferentes superfícies e/ou objectos no campo visual dos ocupantes dos edifícios. De facto, a questão do contraste de luminâncias é um dos aspectos mais importantes nas questões relacionadas com o conforto visual. Foi já referido no presente documento que a luminância constitui o modo objectivo de avaliação do brilho das superfícies e, sendo assim, é natural que a maior ou menor dificuldade na actividade visual se relacione também com a diferença de brilho entre as várias superfícies no campo de visão de um determinado observador. Habitualmente, o conforto visual em termos de contrastes é avaliado mediante quocientes de luminâncias. No quadro 3.12 referem-se os valores máximos recomendados de quocientes de luminâncias.

**Quadro 3.12** - Quocientes de luminâncias [30].

fundo da tarefa visual: ambiente	3 : 1
fundo da tarefa visual: campo periférico	10 : 1
fonte de luz: campos adjacentes	20 : 1
interior em geral	40 : 1

#### 3.2.4.4. Encandeamento

O encandeamento é causado pela introdução de uma fonte de luz muito intensa no campo de visão. O encandeamento pode ser moderadamente distractivo ou pode impedir parcial ou totalmente o desempenho das tarefas visuais. Qualquer que seja o seu nível de intensidade produz sempre uma sensação de desconforto e fadiga. Pode ser reduzido através da adequada localização das fontes de luz, e escolhendo fontes de luz e fundos com luminâncias adequadas. Também se deve evitar a incidência da radiação solar nos olhos dos ocupantes, directa ou indirectamente, nomeadamente, através de dispositivos de sombreamento exteriores fixos ou móveis ou através de dispositivos de interiores móveis [30].

A posição relativa da fonte de encandeamento face ao observador é muito importante,

pois, geralmente, quanto mais perto está maior é o encandeamento, e quanto mais perto do campo central de visão do observador, maior a severidade do seu impacto. Vários estudos recentes têm vindo a demonstrar que os ocupantes toleram melhor o encandeamento provocado por fontes naturais (o céu) do que por fontes artificiais.

#### 3.2.4. Qualidade Acústica

O conforto é uma sensação humana que expressa satisfação na relação entre o homem e o ambiente que o rodeia, pelo que, o conforto, além dos parâmetros já referidos neste capítulo, também é condicionado, pelo ambiente acústico. Pode considerar-se o ruído como um dos principais factores que afectam o ambiente contribuindo para a degradação da qualidade de vida, principalmente nas zonas urbanas.

De uma forma geral, os efeitos do ruído no Homem situam-se entre a afectação da audição - estímulos sonoros de nível acima de 130 dB(A) podem causar dor intensa e destruir de forma irreversível o mecanismo da audição - e a incomodidade que pode manifestar-se em perturbação no sono, em stress fisiológico e, para níveis mais elevados, reacções cardiovasculares. Os níveis de ruído podem também interferir com a comunicação e, ainda, como efeito menos específico mas nem por isso menos importante, o facto de provocar sensação de incomodidade que pode afectar a realização de todo o tipo de actividades [76].

A protecção contra o ruído é uma exigência essencial na concepção dos edifícios. O ruído no interior dos edifícios, onde se exerçam actividades humanas que requeiram concentração e sossego (quartos e zonas de estar) pode provir do exterior, dos edifícios adjacentes e das zonas de circulação comuns, dos equipamentos do próprio edifício (bombas e elevadores), através da geração ou transmissão através de dispositivos instalados na fachada (grelhas de ventilação e caixa de estore).

A implantação de um novo edifício deve ter em consideração o nível sonoro do ruído do ambiente do local por forma a definir o desempenho da fachada no sentido de limitar o ruído no interior do edifício. O ruído de tráfego é um grande responsável pelo ambiente sonoro, pelo que as medidas possíveis de minimização nos edifícios podem ter lugar antes e após a implantação do edifício. A aplicação de medidas antes da implantação do edifício destina-se a diminuir a exposição do edifício ao ruído (para a implantação do edifício recomenda-se que o maior lado fique paralelo à via) [76].

Os valores limites de exposição dos locais para a implantação de edifícios em função da classificação de uma zona como mista ou sensível, devem respeitar os limites superiores conforme definidos no Artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído [77].

Para o ruído proveniente do exterior, no RRAE estabelecem-se limites para o Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{2m,n,w}$ , esse limite é de 33 dB em zonas mistas e de 28 dB em zonas sensíveis.

Para o ruído proveniente dos edifícios adjacente e das zonas comuns, no RRAE estabelecem-se limites superiores para o Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{n,w}$  e para o Índice de isolamento sonoro a sons de

percussão,  $L'_{n,w}$ , esses limites são estabelecidos em função do tipo de utilização dos compartimentos adjacentes.

Relativamente ao ruído de equipamentos, no RRAE estabelecem-se limites superiores para o nível de avaliação de um ruído derivado de equipamentos colectivos,  $L_{Ar}$ . Para o caso de funcionamento intermitente, ou seja, a maior parte dos equipamentos, esse limite é de 35 dB(A).

Nos edifícios de comércio e habitação são cada vez mais correntes sistemas mecânicos, nomeadamente, AVAC e de bombagem de água. As redes de transportes ferroviárias e rodoviárias têm-se multiplicado, bem como o respectivo tráfego, envolvendo por vezes veículos de elevada potência e tonelagem. Estas situações conduzem a uma presença de vibrações mecânicas no interior dos edifícios que, nomeadamente, podem provocar náuseas e dores de cabeça. [78].

### 3.3. Impacto Ambiental dos Edifícios

#### 3.3.1. Introdução

O ambiente construído (artificial) é um sistema integrado no meio ambiente (natural), existindo uma relação de interdependência entre os dois ambientes. A subsistência do ambiente artificial só é garantida através da integração de vários recursos provenientes do meio ambiente e da posterior devolução de alguns produtos. Estas interacções entre os ambientes natural e construído designam-se por impacte ambiental. Quanto menores forem as interacções entre os dois ambientes, menor será o impacte ambiental produzido pelo ambiente construído. Com a procura da sustentabilidade ambiental da construção civil, visa-se a diminuição do impacte ambiental deste sector, através da diminuição das suas interacções com o ambiente natural. A interacção entre os dois ambientes diminui na mesma proporção em que se reduz a quantidade de recursos consumidos e de resíduos produzidos, pelo ambiente construído.

Em Portugal, a cadeia produtiva da construção civil é um dos sectores económicos mais importantes, continuando, no entanto, a basear-se excessivamente nos sistemas construtivos convencionais e na utilização de mão-de-obra não qualificada, sendo caracterizada por uma excessiva utilização de recursos naturais e energéticos e pela excessiva produção de resíduos. Deste modo, a construção possui efeitos reais e potenciais sobre o meio ambiente.

A indústria da construção em geral, e o sector dos edifícios em particular, contribuem expressivamente para a degradação ambiental. Os edifícios, durante o seu ciclo de vida, que se desenvolve desde a fase de construção até a fase de desmantelamento/demolição, passando pelas fases de utilização, manutenção e reabilitação, provocam inúmeros impactes ambientais que importa conhecer, com vista a potenciar o desenvolvimento de novas tecnologias para a promoção da sustentabilidade da construção.

Com o crescimento da população mundial, tem-se assistido à crescente procura de edifícios de habitação, com o conseqüente aumento na procura de recursos e produção de resíduos. São vários os impactes ambientais dos edifícios que contribuem para as alterações climáticas e interferem nos habitats animal e vegetal, podendo ser classificados em três categorias:

- problemas relacionados com os consumos energéticos, como as alterações climáticas e a chuva ácida;
- problemas não relacionados com a energia, como a degradação da camada de ozono e a produção de resíduos;
- destruição dos ecossistemas, incluindo a desflorestação e a desertificação.

Como recursos da construção destacam-se a energia, o consumo de matérias-primas sólidas orgânicas e inorgânicas, água e a utilização do solo. Como produtos, salientam-se os resíduos sólidos, a emissão de gases poluentes, nomeadamente de GEE's (gases de efeito de estufa), calor residual, pó, fumo e as águas residuais.

No âmbito deste trabalho vamos abordar o tema da energia e dos materiais de construção, tendo como principal objectivo uma abordagem sobre a eficiência energética dos edifícios para obtemos o conforto térmico interior.

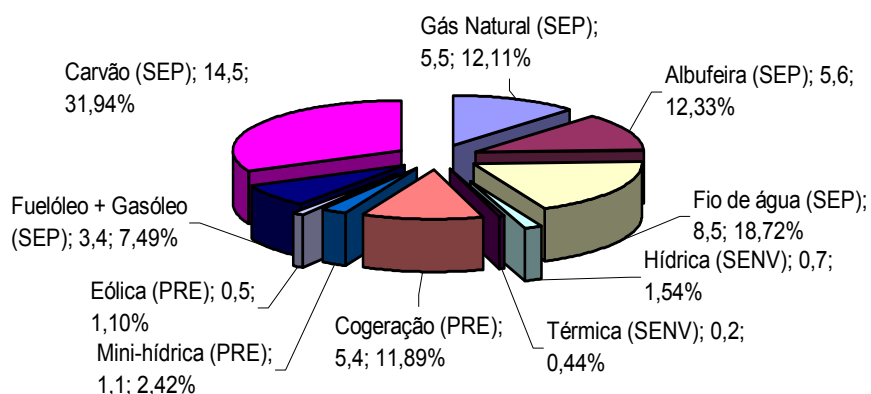
### 3.3.2. Energia

Existem claramente duas épocas bem distintas e duas escalas temporais bem diferenciadas para o consumo de energia pelas sociedades humanas: antes da Revolução Industrial (há 200 anos) e desde a ocorrência desta até aos nossos dias e futuro próximo.

Antes da Revolução Industrial, as energias eram quase exclusivamente renováveis. A eólica servia para a navegação à vela, moagem de cereais, bombagem de água, entre outras, enquanto que a hídrica era usada sobretudo para a moagem de cereais. A biomassa (lenha, resíduos provenientes da limpeza das florestas) era utilizada para a confecção de alimentos e servia para aquecer os edifícios, tornando os Invernos mais aprazíveis.

A partir da Revolução Industrial começou-se a utilizar o carvão mineral intensivamente. A partir do século XX, o carvão começou a ser substituído pelo petróleo e suas energias secundárias, sendo considerado a fonte de energia primária do século XX. Estes combustíveis (fósseis) foram se acumulando e formando na superfície da Terra ao longo de milhões e milhões de anos, sendo agora transferidos para a atmosfera. Esta situação leva não só a sua exaustão, como a consequências ambientais em geral e climáticas em particular das quais já começamos a sentir os efeitos.





**Figura 3.8** - Produção de energia no sistema eléctrico nacional em 2003 [79].

Muito embora Portugal apresente níveis consideráveis de recursos hídricos e florestais, a estrutura de consumo, quer na forma quer na qualidade, não impede que apresentemos uma dependência energética externa superior a 85%, consequência da não existência de recursos energéticos tradicionais em território nacional (carvão mineral, petróleo e gás natural). A maior parte da energia consumida nos edifícios em Portugal e no resto do mundo encontra-se sobre a forma de electricidade. A energia eléctrica é um tipo de energia secundária, obtida através do processamento de diferentes tipos de energias primárias renováveis e não renováveis. A energia eléctrica produzida em Portugal é, na sua maior parte, proveniente de fontes de energia não renováveis, sendo produzida por via térmica através da utilização de combustíveis fósseis (carvão mineral, gasóleo e gás natural), figura 3.8.

Sendo Portugal um país dependente sob o ponto de vista energético, pois não se conhecem quaisquer reservas petrolíferas ou de gás natural, para além dos problemas ambientais resultantes da produção de energia através de combustíveis fósseis, existem também problemas económicos, resultantes da tendência natural de crescimento do preço do barril de petróleo, à medida que a sua quantidade vai diminuindo. Por outro lado, as fontes de combustíveis fósseis não são renováveis, estimando-se que tendo em conta os consumos anuais deste tipo de recursos e a sua evolução, as reservas disponíveis de gás natural e de petróleo só serão suficientes para mais cerca de 50 anos. Quanto as reservas de carvão, estima-se que estas serão suficientes para mais 1000 anos. Apesar de as reservas de carvão existentes serem substancialmente superiores às reservas de outras energias primárias a sua utilização como energia alternativa traria efeitos devastadores sobre o meio ambiente [80].

O sector dos edifícios, pela sua expressão, é aquele que, dentro da indústria da construção, é responsável pela maior quota-parte nos consumos energéticos. Nos últimos anos, o aumento do nível de vida das famílias portuguesas tem vindo a provocar o aumento das exigências de conforto, o que, conjuntamente com o elevado número de edifícios que foram surgindo nos últimos anos, onde só em 2001 e 2002 foram edificados cerca de 200 000 novos edifícios, perfazendo actualmente cerca de 3,3 milhões, tem levado ao crescimento exponencial dos consumos energéticos [81].

São vários os consumos energéticos associados ao ciclo de vida dos edifícios e dos seus materiais e que decorrem desde as fases de produção dos materiais de

construção e sua aplicação em obra até à reabilitação/demolição dos materiais/elementos de construção, passando pelos consumos necessários a manutenção do conforto dos edifícios: iluminação artificial, climatização e qualidade do ar interiores, aquecimento de água sanitária, equipamentos, cozinha, etc.

#### 3.3.2.1. Consumo Energético nos Edifícios

O consumo de energia no sector dos edifícios representa cerca de 17,8% do consumo final total do país, sendo cerca de 9,1% associado ao uso residencial e 8,7% aos serviços, o que equivale no total ao consumo de 3,2 Mtep (milhões de toneladas de equivalente de petróleo) [81].

O consumo de energia nos edifícios residenciais distribui-se aproximadamente da seguinte forma: 50% para as cozinhas e produção de águas quentes sanitárias (AQS), 25% para o aquecimento e arrefecimento e os restantes 25% para a iluminação e equipamentos (electrodomésticos) [81].

Como já referimos anteriormente, são vários os factores que influenciam o consumo a este nível nos edifícios (as condições climáticas do local, as condições de implantação do edifício, o isolamento da envolvente, a área de envidraçados e sua orientação, as perdas e ganhos associados a renovação do ar interior, a eficiência energética dos equipamentos existentes, o grau de conforto exigido pelos utilizadores e seu comportamento a sua condição económica, etc.).

O consumo energético nos edifícios têm vindo a aumentar exponencialmente devido ao crescimento do nível de vida dos portugueses e consequente aumento das exigências de conforto individual e das famílias. Nos últimos anos, têm ainda surgido novos equipamentos em resultado do forte desenvolvimento tecnológico verificado nas últimas décadas (televisores com comando a distância e modo "*stand by*", consolas de jogos, computadores pessoais, micro-ondas, telemóveis, etc.), o que conjuntamente com as maiores exigências ao nível do condicionamento térmico interior tem levado ao crescimento do consumo energético. Sendo a iluminação e os equipamentos (electrodomésticos) responsáveis por uma importante quota-parte do consumo energético, a redução do consumo a este nível poderá ser conseguida através da melhoria da eficiência energética dos mesmos. Se na concepção dos edifícios não forem considerados princípios, regras ou normas que promovam a utilização racional de energia, o crescimento na procura desses novos equipamentos e as maiores exigências ao nível de conforto térmico, que só poderão ser satisfeitas com maior recurso a equipamentos de climatização, terão como resultado o aumento dos consumos globais do sector e consequentemente do seu impacte ambiental.

Esta tendência de crescimento exponencial dos consumos energéticos no sector dos edifícios poderá comprometer o cumprimento das metas do Protocolo de Quioto, do qual Portugal foi signatário. A energia, no seu processo de conversão/utilização, contribui com cerca de 2/3 do total de emissões de GEE em Portugal e para se cumprirem as metas deste Protocolo será necessário que os níveis de emissão no período de cumprimento (2008-2012) sejam os de 1990.

### 3.3.2.2. Eficiência Térmica do Edifício

Com o objectivo de melhorar o desempenho energético e da qualidade do ar interior dos edifícios em Portugal e dando cumprimento à Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (2002/91/CE), como já foi referido anteriormente, foi publicado em 4 de Abril de 2006 o novo enquadramento legislativo sobre o desempenho energético dos edifícios: o novo RCCTE (Decreto-Lei 80/2006), o novo RSECE (Decreto-Lei 79/2006) e o (SCE) Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (Decreto-Lei 78/2006).

Os Certificados Energéticos serão elaborados por peritos qualificados e deverão indicar os valores expectáveis do consumo energético e das emissões de CO<sub>2</sub> correspondentes e propondo medidas de melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior, referindo a redução anual da factura energética o custo estimado de investimento e o período de retorno do investimento, devendo:

- i) Estudar a função do edifício, a quantidade, tipo de equipamento que será utilizado e os padrões de referência de utilização. A temperatura interior de um edifício não depende apenas da transmissão térmica verificada ao nível da envolvente mas também da quantidade de calor que é produzida pelos ocupantes e equipamentos. É importante conhecer este factor pois, para além de condicionar a temperatura interior e com isso influenciar o conforto dos ocupantes, influencia também a taxa a que se verificam as trocas de calor entre o espaço interior e o exterior pois, as perdas de temperatura através da envolvente do edifício são proporcionais as diferenças de temperatura entre os dois espaços. Em certos edifícios, como por exemplo, nos grandes centros comerciais, onde se produz grande quantidade de calor, a temperatura do espaço interior será menos influenciada pelas flutuações de temperatura exterior do que, por exemplo, num edifício de habitação onde existem menores fontes internas de calor.
- ii) Assegurar que os elementos da envolvente - fachadas, empenas, coberturas e pavimentos - apresentam adequada resistência térmica. A cobertura é o elemento de construção mais vulnerável as perdas de calor durante a estação de aquecimento (Inverno) e aos ganhos de calor durante a estação de arrefecimento (Verão). O estudo incorrecto da solução de isolamento térmico da cobertura e dos restantes elementos da envolvente compromete o conforto interior influenciando a quantidade de energia consumida nas acções de controlo da temperatura interior. A existência de pontes térmicas deriva da elevada condutibilidade térmica do betão e obriga ao seu tratamento através da aplicação de uma camada de isolante térmico, devidamente dimensionada, de forma a limitar as pontes térmicas.
- iii) Considerar a reflectância do acabamento exterior da envolvente. Em regiões climáticas onde se prevejam elevados ganhos de temperatura através da envolvente é de todo conveniente escolher materiais de acabamento exterior de cor clara e elevada reflectância. Não se deve no entanto esquecer o impacte destas soluções nos edifícios vizinhos pois se, por um lado, uma superfície exterior fortemente reflectante resulta numa menor necessidade de energia auxiliar de arrefecimento, por outro, esta poderá aumentar as cargas térmicas e a diminuição do conforto dos edifícios vizinhos.

- iv) Prevenir condensações no interior da envolvente. Todos os materiais de construção apresentam uma certa permeabilidade à passagem do vapor de água. Em certas condições, o vapor de água que atravessa a envolvente do edifício, geralmente do interior para o exterior, tende a condensar. Quando esta situação ocorre, os materiais ficam húmidos, conduzindo à perda de parte da sua performance térmica, o que também contribui para a sua degradação precoce. Este fenómeno pode ser resolvido através da introdução de barreiras pára-vapor, de folha metálica ou plástica, nos elementos da envolvente, o mais próximo possível do paramento mais quente.
- v) Vedar convenientemente as portas e janelas. É de todo conveniente controlar as perdas de calor que se verificam através da circulação não controlada de ar nas frestas existentes entre os caixilhos e batentes das portas e janelas exteriores, assim como nas frestas existentes entre a base das portas e a superfície do pavimento. Esta operação designa-se por calafetagem. A calafetagem das portas e janelas, apesar de conveniente, só deveser levada a cabo se existirem outros modos de ventilação que assegurem a renovação do ar interior e que, por conseguinte, assegurem a sua qualidade pois não são raros os casos em que a correcção destas circulações de ar não controladas esteve na origem do aparecimento de condensações interiores que, até então, não se manifestavam.
- vi) Escolher materiais de construção e pormenores construtivos que reduzam a transferência de calor. As trocas de energia térmica pela envolvente ocorrem através de três modos de propagação distintos: condução, radiação e convecção.

A pr NP 15203: 2005 [82] no anexo H fornece uma lista com as possíveis medidas para reduzir o consumo de energia nos edifícios, embora salientando que implementação destas medidas depende do tipo de edifício e do tipo de construção, hábitos locais, etc.

### 3.3.2.3. Eficiência Térmica na Iluminação e Electrodomésticos

O principal objectivo da iluminação nos edifícios consiste em proporcionar um adequado ambiente interior luminoso. Esse ambiente luminoso interior é adequado se permitir a realização das tarefas visuais que aí são executadas em condições de conforto visual para os seus ocupantes. A iluminação e os electrodomésticos são responsáveis em media por 25% do consumo energético nos edifícios, sendo por isso necessário ter em consideração uma série de aspectos de modo a diminuir os consumos a este nível. Estima-se aliás que por cada kWh de energia poupada em iluminação na estação quente contribui-se para uma poupança de cerca de 0,3 kWh em ar condicionado [73] e [83].

O uso optimizado da iluminação natural em edifícios usados principalmente de dia pode, pela substituição da iluminação artificial, produzir uma contribuição significativa para a redução do consumo de energia eléctrica, melhoria do conforto visual e bem-estar dos ocupantes. A iluminação possui uma variabilidade e qualidade mais agradáveis e apreciadas que o ambiente proporcionado pela iluminação artificial. As aberturas, em geral, proporcionam aos ocupantes o contacto visual com o mundo

exterior e permitem também o relaxamento do sistema visual pela mudança das distâncias focais. A luz natural faz uma visão interior mais atractiva e interessante, bem como fornece a luz para trabalhar ou ler, e é também benéfica à saúde. Alcançar a luz natural ajuda também fazer uma utilização da energia mais eficiente do edifício; a iluminação natural eficaz reduzirá a necessidade da iluminação eléctrica, o ganho solar de Inverno pode se compensar algumas das exigências de aquecimento.

#### a) Iluminação

O consumo de electricidade na iluminação tem vindo a aumentar substancialmente nos últimos anos devido principalmente a construção de habitações com maiores áreas e a utilização de maior número de pontos de luz. A iluminação artificial de um espaço está intimamente relacionada com as suas dimensões, reflectância das superfícies interiores e com a actividade que nele se desenvolve. Um sistema de iluminação efectivo e eficiente deverá [84]:

- assegurar um elevado grau de conforto visual;
- utilizar iluminação natural;
- assegurar um nível de iluminação adequado à actividade;
- possibilitar o controlo da iluminação dos espaços por zonas;
- possuir baixo consumo energético.

A utilização da iluminação natural nos edifícios, e em particular naqueles com ocupação predominantemente diurna, pode contribuir para a sua eficiência energética desde que sejam correctamente avaliadas as consequências energéticas dessa utilização. As principais potenciais consequências energéticas decorrentes do uso da luz natural, para iluminação dos espaços interiores, são:

- i) A diminuição dos consumos energéticos ao substituir a iluminação artificial;
- ii) Os potenciais ganhos e perdas térmicas através dos vãos envidraçados;
- iii) Os ganhos térmicos devidos aos sistemas de iluminação eléctrica;
- iv) A diminuição do recurso a sistemas de aquecimento e arrefecimento artificiais.

Estas consequências energéticas assumem uma relevância determinante em regiões onde predominam as condições de Sol descoberto, como acontece na maior parte das regiões do Sul da Europa e em particular em Portugal.

Para que a solução de iluminação dos edifícios seja eficiente, sugerem-se, entre outras, as seguintes práticas:

- i) O tipo de iluminação mais eficiente é a iluminação natural. Os edifícios devem ser concebidos de modo a que todos os compartimentos possuam iluminação natural, que pode ser conseguida através de janelas, palas reflectores, clarabóias e tubos solares. O estudo dessas zonas para a entrada de luz natural deve ser realizado em conjunto com o projecto de características de comportamento térmico dos edifícios, pois essas zonas devem permitir a entrada de luz solar (natural) suficiente sem que com isso se comprometa o comportamento térmico dos edifícios.

- ii) Preferir acabamentos de cor clara nas superfícies interiores e no mobiliário. Os acabamentos de cor clara reflectem melhor a luz, o que reduz a quantidade de iluminação necessária.
- iii) A maior parte dos compartimentos necessita de dois tipos de iluminação. A iluminação geral de um espaço fornece a iluminação necessária, por exemplo, à circulação dos seus utilizadores. No entanto, no mesmo espaço podem existir zonas onde seja necessária uma melhor iluminação, nomeadamente sobre uma secretaria de trabalho, espaço de leitura, etc.. Deve ser possível o controlo independente destes dois tipos de iluminação.
- iv) Existem no mercado várias lâmpadas com potenciais eléctricas distintas, devendo-se assegurar que se aplicam lâmpadas com potencia adequada à iluminação necessária.
- v) O tipo de lâmpada deve ser compatível com a utilização do espaço. As lâmpadas fluorescentes devem ser aplicadas quando se necessite de iluminação artificial por longos períodos de tempo, como por exemplo, em salas de estar e sobre a banca da cozinha. De modo a que este tipo de lâmpadas possua um tempo de vida mais dilatado, a maior parte delas necessita cerca de um minuto para atingirem o máximo brilho, logo não são adequadas para espaços onde se necessite de luz de imediato. Em compartimentos pouco utilizados ou utilizados por períodos curtos, como por exemplo, instalações sanitárias, despensas, lavandarias, as lâmpadas mais adequadas são as incandescentes.
- vi) Prever a existência de vários circuitos de iluminação em cada espaço, comandados por interruptores independentes. A existência de vários circuitos de iluminação independentes permite o controlo da quantidade de lâmpadas acesas num determinado momento. Utilizar um único interruptor para controlar todas as lâmpadas de um compartimento de elevadas dimensões é uma solução de iluminação ineficiente.
- vii) Utilizar interruptores "inteligentes" em certos compartimentos e em espaços exteriores. A utilização de interruptores de sensor de movimento é adequada em locais utilizados com pouca frequência e por curtos períodos de tempo, ou onde se preveja que exista grande probabilidade das lâmpadas ficarem acesas por esquecimento. No entanto, é necessário não esquecer que este tipo de interruptores consome continuamente uma certa quantidade de energia, que pode ir até 10 W em alguns casos.

#### b) Electrodomésticos

Os electrodomésticos, nomeadamente, os frigoríficos, áreas frigoríficas e as máquinas de lavar roupa são responsáveis por uma elevada percentagem do consumo global de electricidade nos edifícios. Com a evolução tecnológica verificada nos últimos anos e devido ao aumento do nível de vida das famílias portuguesas tem-se verificado o aparecimento de uma panóplia cada vez maior de novos electrodomésticos que passaram a ser integrados nos edifícios, o que se tem traduzido no aumento dos consumos de electricidade por esta via.

De modo a que o consumidor, na compra dos electrodomésticos, tenha maior informação sobre o consumo energético ao longo da sua vida foi criada, através da Directiva 92/75/CEE, de 22 de Setembro de 1992, a etiquetagem energética dos electrodomésticos. A etiquetagem energética visa por um lado, incentivar os produtores a investirem na investigação, de modo a desenvolverem equipamentos mais eficientes e por outro alertar os consumidores que para além do custo inicial, o custo de funcionamento dos equipamentos e outra componente que não pode ser ignorada. Os equipamentos são classificados em sete classes energéticas diferentes (Classe A a G), em função da relação do seu consumo energético com a média dos consumos energéticos dos equipamentos do mesmo tipo.

#### 3.3.2.4. Redução do Consumo Energético na Produção de Água Quente

O aquecimento de água é responsável em Portugal por aproximadamente 50% do total de consumos energético nos edifícios, contribuindo expressivamente para as emissões de CO<sub>2</sub>. Instalando o sistema de aquecimento de água mais eficiente é apropriado, tendo em conta o número de utilizadores e os padrões de utilização, é possível diminuir o consumo energético, com as vantagens adicionais de redução dos custos em energia e diminuição da emissão de gases de efeito de estufa, sem contudo comprometer o nível de conforto desejado. A maior parte da água quente é utilizada nas instalações sanitárias, seguindo-se a cozinha como principal destino da água quente.

- a) Sistemas convencionais de aquecimento de água: existem dois tipos fundamentais de sistemas de aquecimento de água: sistemas termoacumuladores e sistemas instantâneos. Estes sistemas podem utilizar diversas fontes de energia para aquecer a água.
  - i) Os sistemas termoacumuladores armazenam a água aquecida num depósito fortemente isolado, para vir a ser utilizada a medida das necessidades. Por este motivo, ao contrario dos sistemas de aquecimento instantâneos, o seu funcionamento não está dependente da pressão de água existente na rede. No entanto, o aquecimento da água não é imediato, dependendo da potência e da capacidade do aparelho. É sempre necessário aguardar algum tempo até que a água aqueça e possa ser utilizada. Este sistema fornece uma quantidade de água regular a uma temperatura variável durante a utilização.
  - ii) Os sistemas de aquecimento instantâneos (esquentadores) aquecem a água apenas no momento em que esta é necessária e não possuem depósito de armazenamento. A água é aquecida num permutador exposto ao calor das chamas dos queimadores, pelo que a saída de água quente é instantânea. Para funcionar, estes aparelhos só necessitam de combustível, gás Propano, Butano ou gás Natural e de alguma pressão de água na rede. Estes sistemas só conseguem fornecer água a temperatura desejada até um ou dois dispositivos sanitários ao mesmo tempo
- b) Sistemas solares para aquecimento de água: os sistemas solares para o aquecimento de água são sistemas de aquecimento termoacumuladores. Estes

sistemas utilizam a radiação solar para aquecer a água, podendo fornecer água quente, sem qualquer custo adicional para além da amortização do equipamento. Como a fonte de energia destes sistemas é o sol, a sua aplicação não é aconselhada em climas frios ou em áreas de fraca insolação.

Para a selecção de um sistema de aproveitamento solar é muito importante o estudo do clima local. A escolha da inclinação e orientação das superfícies colectoras também é dependente do local, assim como do objectivo final do sistema. Em Portugal, no Verão, o sol apresenta-se mais alto, e assim a radiação solar incide quase na perpendicular. No Inverno o sol apresenta-se mais baixo, como tal a radiação solar incide com pouca inclinação. Em teoria os colectores deveriam estar orientados consoante a latitude, assim como a estação do ano. Este facto é ultrapassado com facilidade para o caso da latitude, mas para as estações do ano já poderá ser problemático. Assim, para Portugal, os colectores deverão estar orientados a Sul  $\pm 15^\circ$ , mas também é necessário jogar com a inclinação. A inclinação tem de ser escolhida "caso a caso", pois depende da finalidade e época de utilização dos colectores, tendo que se chegar a valores de compromisso.

Durante os dias nublados e principalmente durante o Inverno, ou quando a necessidade de água quente ultrapassa a sua produção, o fornecimento de água quente é garantido através de um sistema de aquecimento auxiliar. A maior parte dos painéis solares vem equipada com sistema de aquecimento auxiliar eléctrico ou a gás que entra em fundamento sempre que a energia solar não satisfaça as necessidades.

Neste tipo de sistemas, o colector solar e o tanque de armazenamento estão geralmente localizados na cobertura e orientados para Sul. Para diminuir as perdas de calor no tanque de armazenamento, este pode ser instalado ao nível do desvão ou no piso térreo.

- c) Sistema de aquecimento de água mais eficiente: existindo no mercado tantos tipos de sistemas de aquecimento de água, o sistema de aquecimento mais adequado dependerá de vários factores:
- i) Número de utilizadores do sistema. A dimensão do agregado familiar e os seus hábitos, determinam a quantidade de água quente que será necessário produzir durante um dia, e por conseguinte influenciam a dimensão e o tipo de sistema a escolher.
  - ii) Custo do sistema. Os custos de aquisição, de operação e de manutenção, bem como a vida útil estimada para cada um dos sistemas, são factores que devem ser observados na sua escolha.
  - iii) Espaço disponível. Em edifícios já construídos será difícil implantar certos tipos de sistemas devido à ausência de espaço disponíveis. Existem sistemas que ocupam menos espaço do que outros, pelo que o espaço disponível influencia a escolha do sistema. Por outro lado, existem sistemas que não podem ser aplicados em certos casos.
  - iv) Fontes de energia disponíveis. A utilização de certos tipos de sistemas de aquecimento de AQS é condicionada pelas fontes de energia disponíveis no



local. Por exemplo, a implementação de sistemas de aquecimento cuja fonte de energia é o gás natural, está limitada aos locais onde existe rede de distribuição deste gás e a energia solar pode não ser ideal em climas frios ou áreas pouco insuladas. Ao nível da implementação de AQS solar em Portugal não existem grandes problemas, pois estes sistemas tem capacidade para aquecer a água durante praticamente todo ano, devido ao elevado número de dias com sol. Portugal, a par da Grécia e Espanha, é dos países com maior potencial de aproveitamento de energia solar na Europa. Com mais de 2300 horas/ano de insolação na Região Norte e 3000 no Algarve, Portugal dispõe de uma situação privilegiada para o desenvolvimento da energia solar.

#### 3.3.2.5. Sistemas de Produção Doméstica de Electricidade a partir de Fontes Renováveis

O consumo de energia eléctrica convencional nos edifícios pode ainda ser reduzido se se aplicarem sistemas que permitam a produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis. Este tipo de sistemas utiliza fontes de energia renovável, como o sol, o vento e a água, para produzirem electricidade com baixa emissão de GEE's.

Como o rendimento destes sistemas está intimamente relacionado com as condições climáticas, é necessário prever a instalação de sistemas auxiliares que garantam o fornecimento de electricidade independentemente das condições climáticas como, por exemplo, geradores a gasóleo, ou prever a ligação do edifício a rede de distribuição eléctrica, pelo que a produção de GEE's apesar de ser menor não poderá ser totalmente evitada.

Apesar de o custo de operação deste tipo de sistemas ser bastante reduzido, o custo de aquisição é muito elevado, pelo que se deverá avaliar os custos associados a totalidade do seu ciclo de vida: custos de instalação e operação. Por outro lado, é preciso não esquecer que o custo da energia produzida por esta via se mantém inalterado, face ao esperado aumento acentuado das tarifas de energia eléctrica. A principal desvantagem destes sistemas é que o seu projecto, a sua instalação e manutenção são complexos pelo que deverão ser executados por técnicos altamente qualificados.

##### a) Painéis solares fotovoltaicos

Os painéis solares fotovoltaicos são constituídos por módulos que convertem directamente a energia solar em electricidade. Estes não apresentam partes móveis, pelo que são fiáveis e requerem baixa manutenção. A vida útil esperada para um painel solar fotovoltaico é actualmente de 20 anos ou mais. Este tipo de sistema torna-se adequado a zonas urbanas, pois permite a produção de electricidade sem emissão de ruído e ocupa pouco espaço.

Os sistemas fotovoltaicos geram poucos impactes ambientais, permitindo o aproveitamento de um recurso renovável para produzir electricidade sem gerar emissões atmosféricas. No entanto ocorrem alguns impactes ambientais negativos associados a esta forma de energia, decorrentes da ocupação de áreas relativamente extensas e do processo e materiais envolvidos na produção das

células. A integração em áreas não utilizadas do edifício, como as coberturas ou mesmo algumas fachadas anula o primeiro problema referido. Desta forma, os principais impactes ambientais ocorrem nas fases de produção, construção e desmantelamento dos sistemas, sendo os impactes na fase operacional bastante reduzidos (OECD/IEA1998).

#### b) Micro-turbinas eólicas

As turbinas eólicas, também conhecidas por averiguadores, transformam a energia cinética do vento em energia mecânica e consequentemente em energia eléctrica. Existem vários tipos de aerogeradores, que variam na forma, o eixo e no tamanho. O mais comum é o de turbina de eixo horizontal com pás, que é similar a hélice de um avião. Os aerogeradores não são apropriados a zonas urbanas, pois a turbina tem de ser montada numa torre e produz algum ruído no seu funcionamento.

#### c) Micro-hidrogeradores

Os micro-hidrogeradores transformam a energia mecânica da água em movimento em energia eléctrica. Com uma adequada fonte de água, os micro-hidrogeradores são uma fonte de energia mais fiável do que os geradores solares ou do que as micro-turbinas eólicas, pois o rendimento destes é menos dependente das condições climáticas [84].

### 3.3.3. Materiais de Construção

#### 3.3.3.1. Matérias-Primas

Para se realizar as construções, o Homem retira os materiais de variadas fontes que o rodeiam, estes materiais são posteriormente processados de modo a constituírem as envolventes que protegerão o Homem dos elementos climáticos e de outros organismos hostis. É indiscutível que qualquer actividade construtiva comporta a utilização, redistribuição e concentração de alguns recursos energéticos ou material da Terra numa determinada área específica, alterando a ecologia da biosfera e desequilibrando o ecossistema local. A construção de edifícios é actualmente responsável pelo consumo de 25% da madeira e 40% dos agregados (pedra, britas e areias) que se verifica em todo o mundo [87].

É na fase de projecto que deverão ser tomadas as decisões que tenderão a minimizar os impactos produzidos na utilização dos materiais de construção, nomeadamente: a energia não renovável consumida na sua extracção, transformação, armazenamento, transporte e incorporação na obra; a energia necessária para a manutenção das condições de conforto interiores; futura reciclagem, reutilização ou reintegração ecológica.

Assim, a equipa de projecto, deverá adoptar uma série de estratégias de modo a seleccionar os materiais que vais utilizar nas suas construções. Para além dos critérios arquitectónicos comuns (estética), a selecção deverá ainda compreender os seguintes critérios [7]:

- energia incorporada no material. Deve-se ter em conta o custo energético relacionado com a energia incorporada no material durante a totalidade do seu ciclo de vida;
- impacte ecológico incorporado no material. Os materiais possuem impacte no meio ambiente como consequência da sua extracção, produção e transporte até à obra;
- potencial de reutilização e reciclagem dos materiais, como consequência do desgaste a que estão sujeitos durante o seu ciclo de vida;
- a toxidade do material para os seres humanos e ecossistemas;
- os custos económicos associados ao ciclo de vida dos materiais (custo inicial, custo de manutenção e custo de demolição/desmantelamento).

#### 3.3.3.2. Produção de Resíduos

É durante a fase de concepção, que os intervenientes no projecto, devem assegurar a utilização de materiais e de técnicas construtivas que garantam a reciclagem ou a futura reutilização dos resíduos resultantes da demolição/desmantelamento.

Os resíduos resultantes da indústria da construção constituem uma parte significativa do total de resíduos produzidos sendo, por isso, importante o seu estudo. Actualmente, no contexto Europeu, a construção é responsável, em média, pela produção de 30% do total de resíduos produzidos. Em Portugal, não existem estatísticas credíveis a este nível, mas tendo em consideração a forte presença da indústria da construção nos últimos anos e a seu baixo grau de industrialização, este valor deverá ser muito superior.



## **Capítulo IV**

# **MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS**

#### 4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

##### 4.1. Metodologia de Avaliação Proposta

###### 4.1.1. Estrutura do Método de Avaliação e Diagnóstico

###### 4.1.2. Estrutura das Fichas de Avaliação e Diagnóstico

###### 4.1.3. Ponderação dos Elementos de Avaliação e Diagnóstico

###### 4.1.4. Definição da Ponderação das Categorias Propostas

###### 4.1.5. Perfil de Qualidade

##### 4.2. Fichas de Avaliação e Diagnóstico

###### 4.2.1. Avaliação da Concepção Bioclimática de Edifícios (CBE)

###### 4.2.2. Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior (QAI)

###### 4.2.3. Avaliação do Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)

##### 4.3. Critérios de Ponderação

##### 4.4. Desempenho do Edifício

## 4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

### 4.1. Metodologia de Avaliação Proposta

É proposta uma Hierarquia com estrutura em árvore descrevendo os diversos indicadores de qualidade térmica de um edifício, saúde e bem-estar dos ocupantes e protecção do meio ambiente, fazendo uma análise do projecto, elementos escritos e desenhados, partindo do geral para o particular, agrupados nas seguintes categorias: Concepção Bioclimática de Edifícios (CBE), Qualidade do Ambiente Interior (QAI) e Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE). A partir desta Hierarquia, são propostos Requisitos e Critérios de Avaliação dos princípios de concepção de projecto associadas aos diversos indicadores de qualidade adoptados. É também apresentado um sistema de Ponderação dos vários níveis de Hierarquia, por forma a permitir a obtenção do Nível Global de Qualidade Térmica e a atribuição do Desempenho do Edifício. Para que se possa observar graficamente o comportamento do edifício propõe-se também a elaboração de um Perfil de Qualidade para o projecto do Edifício com a indicação dos níveis de qualidade obtidos para cada um dos indicadores de qualidade.

A decisão entre as múltiplas estratégias ou soluções de projecto possíveis que se colocam a qualquer um dos elementos da equipa de projecto e ao longo do seu desenvolvimento, raras vezes será tomada com total consciência e objectividade das implicações no conforto dos ocupantes e da protecção do meio ambiente. Esta situação não é motivada por questões de competência técnica dos elementos da equipa de projecto envolvidos mas, fundamentalmente, pela própria essência da complexidade e especificidade do sector da construção, pela falta de consenso ao nível dos indicadores e parâmetro de apoio às decisões e pelas limitações existentes na fase de concepção do edifício resultantes: da variabilidade das necessidades; da complexidade da avaliação; da subjectividade da avaliação; da validade dos dados e da qualidade dos projectos.

No entanto, a sustentabilidade do sector da construção e o conforto dos ocupantes no interior dos edifícios não deverá ser penalizada por este facto. É então necessário definir e caracterizar as exigências específicas de cada projecto, para que os edifícios possam corresponder às necessidades dos ocupantes a baixos custos e com o mínimo impacto no meio ambiente, durante as diversas fases do seu ciclo de vida.

Com este trabalho, elaborou-se uma metodologia de avaliação da qualidade térmica do projecto dos edifícios com o objectivo de propor indicadores para o projecto de edifícios, para apoiar as decisões dos elementos da equipa de projecto, na concepção de projectos analisando de forma integrada as várias condicionantes que surgem a cada etapa do acto de projectar.

A metodologia de avaliação desenvolve-se nas seguintes etapas: definição da estrutura do método de avaliação e diagnóstico, definição da estrutura das fichas de avaliação e diagnóstico, ponderação dos elementos de avaliação e apresentação do perfil de qualidade. De seguida, apresenta-se a descrição de cada uma das etapas da metodologia de avaliação proposta.

#### 4.1.1. Estrutura do Método de Avaliação e Diagnóstico

Uma das principais questões a resolver no desenvolvimento de um método de avaliação multicritério, como é o caso do que se propõe desenvolver, consiste na sua estruturação lógica. Para a organização deste trabalho optou-se por uma estrutura em árvore, *Hierarquia de Categorias*, baseada no tipo de abordagem apresentada por Moreira da Costa em [13] e por João Costa Branco Pedro em [15], representada no quadro 4.1.

A Hierarquia da estrutura em árvore proposta inclui cinco níveis com a seguinte identificação ou conteúdo:

- 1) *Objectivo Principal* – corresponde à definição de uma estrutura de componentes da qualidade do edifício que se organizam de forma lógica, partindo de conceitos gerais e através, de uma subdivisão sucessiva em outros cada vez mais específicos, atingem um conjunto de características possíveis de quantificar por observação directa das estratégias ou soluções adoptadas no projecto de edifícios;
- 2) *Categoria* – representa as exigências de projecto que traduzem o desempenho do edifício em termos de conforto dos ocupantes, eficiência energética e protecção do meio ambiente;
- 3) *Princípio de Concepção* – associa os indicadores de qualidade de cada categoria em conjuntos que representam os grandes vectores de qualidade térmica dos edifícios;
- 4) *Indicador de Qualidade* – associa os respectivos requisitos a avaliar em conjuntos que permitem a medição do desempenho da estratégia ou da solução adoptada, em aspectos com um significativo grau de autonomia;
- 5) *Requisito e Critérios de Avaliação* – corresponde ao nível mais baixo da hierarquia proposta. Identificam os conceitos ou as exigências consideradas mais relevantes para a determinação do nível de qualidade das diversas componentes do meio ambiente que rodeia o edifício e do próprio edifício e durante o seu funcionamento futuro, podendo ser descritos por grandezas possíveis de obter directamente a partir dos elementos constantes no projecto por medição ou observação e pelas condições existente no local de implantação, e que o seu grau de desempenho pode ser analisado de acordo com um conjunto de critérios de avaliação definidos para cada requisito.

**Quadro 4.1** - Estrutura do método de avaliação proposto.

Objectivo Principal				
	Categoria			
		Princípio de Concepção		
			Indicador de Qualidade	
				Requisito e Critérios de Avaliação



O objectivo principal a atingir com a aplicação do Método de Avaliação a desenvolver será, naturalmente, a **Qualidade Térmica do Edifício**. Este objectivo principal engloba três categorias:

- **Concepção Bioclimática de Edifícios (CBE)**, em que será avaliado o modo como é feita a integração do edifício no contexto climático e urbano em que este vai ser inserido, bem como é feita a captação, armazenamento, conservação e distribuição de energia e a utilização de estratégias de iluminação natural e arrefecimento por ventilação natural do interior do edifício;
- **Qualidade do Ambiente Interior (QAI)**, em que será avaliado o modo como a concepção do edifício pode interagir com a saúde e bem-estar dos ocupantes: conforto térmico, visual, acústico e qualidade do ar e os consumos energéticos de climatização e iluminação no interior dos edifícios;
- **Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)**, em que será avaliado o modo como é feita a interacção entre o edifício e os seus ocupantes e o meio ambiente natural, de modo a minimizar o impacto ambiental dos edifícios.

A primeira Categoria *Concepção Bioclimática de Edifícios*, desenvolvida como já foi referido anteriormente de acordo com a filosofia de estrutura em árvore, corresponde à agregação dos seguintes quatro Princípios de Concepção:

- **Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento**, que analisará as questões relacionadas com a exposição à radiação solar e protecção contra o vento com a caracterização da localização, implantação, orientação, distribuição e características dos vãos envidraçados e dos elementos da envolvente opaca;
- **Armazenamento Térmico**, que avaliará a contribuição do armazenamento térmico ao nível do conforto térmico no interior dos edifícios;
- **Conservação da Energia**, em que estarão em foco a observância de disposições regulamentares e, por outro lado, a preocupação dos responsáveis pela concepção do projecto com a organização interna dos espaços e com a forma do edifício, de modo a minimizarem as perdas e os ganhos de calor, contribuindo para a redução do consumo energético dos edifícios para climatização e iluminação natural.
- **Distribuição do Calor**, que avaliará a capacidade dos processos de distribuição do calor no interior do edifício.

A segunda Categoria *Qualidade do Ambiente Interior*, desenvolvida também de acordo com a filosofia de estrutura em árvore, corresponde à agregação dos seguintes dois Princípios de Concepção:

- **Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes**, que analisará as questões relacionadas com as condições de conforto térmico, visual e acústico e a qualidade do ar no interior dos edifícios;
- **Sistemas de Controlo e Gestão**, que analisará as questões relacionadas com a instalação de sistemas de controlo automático para garantir condições de QIA de forma a reduzir o consumo de energia.

A terceira Categoria *Impacto Ambiental dos Edifícios*, desenvolvida também de acordo com a filosofia de estrutura em árvore, corresponde à agregação dos seguintes três Princípios de Concepção:

- **Eficiência Energética da Concepção do Edifício**, que analisará as necessidades anuais globais de energia para climatização e preparação das águas quentes sanitárias estimadas para o edifício em relação às necessidades nominal de energia para climatização e preparação das águas quentes sanitárias máxima admissíveis obtida de acordo com o RCCTE [1];
- **Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos**, que analisará as questões relacionadas com as necessidades de energia para climatização, para preparação das águas quentes sanitárias e para iluminação artificial, bem como, a utilização de energias renováveis e a utilização de equipamentos mais eficientes e amigos do ambiente e materiais de construção com impactos ambientais mínimos;
- **Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção**, que analisará as questões relacionadas com a selecção de materiais de construção de forma a evitar ou minimizar as manifestações patológicas dos elementos de construção e reduzir os impactos ambientais com a sua reciclagem e reutilização.

Comentários mais detalhados e relevantes sobre as razões que levaram à selecção dos Indicadores de Qualidade, Requisitos e Critérios de Avaliação subordinados aos Princípios de Concepção referentes as categorias adoptadas forma desenvolvidos no Capítulo 3, deste documento. Nas fichas de avaliação específicas dedicadas a cada um deles serão apresentadas linhas de orientação e informações adicionais.

Nos quadros 4.2 a 4.14 pode observar-se a sequência global da estrutura proposta.

**Quadro 4.2** - Objectivo Principal e Categorias da Metodologia de Avaliação e Diagnóstico proposta.

Objectivo Principal (1.º nível)	Categoria (2.º nível)
Qualidade Térmica de Edifícios	<b>Concepção Bioclimática de Edifícios (CBE)</b> (Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento, Armazenamento Térmico, Conservação da Energia e Distribuição de Calor)
	<b>Qualidade do Ambiente Interior (QAI)</b> (Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes e Sistemas de Controlo e Gestão)
	<b>Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)</b> (Eficiência Energética da Concepção do Edifício, Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos e Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção)

**Quadro 4.3 - Categoria Concepção Bioclimática de Edifícios** – desenvolvida até Indicador de qualidade, 4.º nível.

CBE	Concepção Bioclimática de Edifícios (2.º nível)		
Princípio de Concepção (3.º nível)		Indicador de Qualidade (4.º nível)	
CBE 1	Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento	CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício
		CBE 1.2	Implantação do Edifício
		CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados
		CBE 1.4	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca
		CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente
CBE 2	Armazenamento Térmico	CBE 2.1	Inércia Térmica
CBE 3	Conservação da Energia	CBE 3.1	Forma do Edifício
		CBE 3.2	Iluminação Natural
		CBE 3.3	Organização Interna dos Espaços
		CBE 3.4	Concepção da Envolvente Opaca Vertical
		CBE 3.5	Concepção da Envolvente Opaca Horizontal
		CBE 3.6	Concepção das Portas e Janelas
		CBE 3.7	Tratamento das Pontes Térmicas
CBE 4	Distribuição de Calor	CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção
		CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação

**Quadro 4.4 - Princípio de Concepção Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento** – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática de Edifícios</b> (2.º nível)		
<b>CBE 1</b>	<b>Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento</b> (3.º nível)		
	<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)		<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício	A	Caracterização do clima
		B	Caracterização do espaço urbano
		C	Caracterização do lote
CBE 1.2	Implantação do Edifício	A	Orientação do edifício
		B	Sombreamento
		C	Protecção da radiação solar e exposição às brisas frescas no Verão
		D	Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados	A	Distribuição dos vãos envidraçados verticais
		B	Razão área de envidraçado e a área do compartimento
		C	Factor solar do vidro ( $g_{\perp v}$ )
		D	Factor solar do vão envidraçado ( $g_{\perp}$ )
		E	Factor de obstrução ( $F_s$ ) no Inverno
CBE 1.4	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca	A	Características estruturais das paredes exteriores
		B	Ventilação das coberturas
		C	Cor da superfície exterior da envolvente opaca exterior
		D	Protecção das superfícies exteriores da envolvente com vegetação
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente	A	Orientação do sistema especial de captação
		B	Constituição do sistema especial de captação
		C	Dispositivos de circulação de ar
		D	Dispositivos de protecção da radiação solar no Verão

**Quadro 4.5** - Princípio de Concepção **Armazenamento Térmico** – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática de Edifícios</b> (2.º nível)		
<b>CBE 2</b>	<b>Armazenamento Térmico</b> (3.º nível)		
<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)		<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)	
CBE 2.1	Inércia Térmica	A	Massa superficial útil ( $M_{si}$ ) do elemento construtivo
		B	Resistência térmica do revestimento superficial ( $R$ )
		C	Distribuição da massa superficial útil em função da orientação dos compartimentos
		D	Inércia térmica interior ( $I_t$ )

**Quadro 4.6** - Princípio de Concepção **Conservação da Energia** – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática de Edifícios</b> (2.º nível)		
<b>CBE 3</b>	<b>Conservação da Energia</b> (3.º nível)		
<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)		<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)	
CBE 3.1	Forma do Edifício	A	Factor de forma
		B	Tipo e orientação da cobertura
		C	Forma do edifício em planta e o número de pisos
		D	Utilização de espaços tampão
CBE 3.2	Iluminação Natural	A	Factor de Luz do Dia Médio (FLDM)
		B	Vista do céu
		C	Critério da limitação da profundidade
CBE 3.3	Organização Interna dos Espaços	A	Distribuição da área útil de pavimento
		B	Orientação dos compartimentos em função da inércia térmica
		C	Zonamento térmico
		D	Troca de calor na vertical e na horizontal
CBE 3.4	Concepção da Envolvente Opaca Vertical	A	Isolamento térmico
		B	Compatibilidade parede / estrutura
		C	Controlo da permeabilidade ao vapor
		D	Aptidão à utilização
		E	Parede em contacto com o solo
CBE 3.5	Concepção da Envolvente Opaca Horizontal	A	Isolamento térmico
		B	Estanquidade das ligações da cobertura com elementos salientes
		C	Controlo da permeabilidade ao vapor
		D	Aptidão à utilização
		E	Pavimento em contacto com o solo
CBE 3.6	Concepção das Portas e Janelas	A	Isolamento térmico
		B	Permeabilidade ao ar das caixilharias
		C	Estanquidade à água
		D	Resistência às solicitações do vento
CBE 3.7	Correcção das Pontes Térmicas	A	Isolamento térmico das pontes térmicas planas
		B	Tratamento das pontes térmicas lineares
		C	Ligação da fachada com vãos envidraçados
		C	Pormenores construtivos

**Quadro 4.7** - Princípio de Concepção **Distribuição de Calor** – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática de Edifícios</b> (2.º nível)		
<b>CBE 4</b>	<b>Distribuição de Calor</b> (3.º nível)		
		<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)	<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)
CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção	A	Ventilação Natural
		B	Taxa de renovação nominal
		C	Sistemas de refrigeração passiva
CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação	A	Dispositivos de protecção
		B	Sistemas de sombreamento
		C	Refrigeração por radiação nocturna

**Quadro 4.8 - Categoria Qualidade do Ambiente Interior** – desenvolvida até Indicador de qualidade, 4.º nível.

<b>QAI</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b> (2.º nível)		
	<b>Princípio de Concepção</b> (3.º nível)	<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)	
QIA 1	Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes	QIA 1.1	Conforto Térmico
		QIA 1.2	Qualidade do Ar
		QIA 1.3	Conforto Visual
		QIA 1.4	Qualidade Acústica
QIA 2	Sistemas de Controlo e Gestão	QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão

**Quadro 4.9 - Princípio de Concepção Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes** – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.

<b>QAI</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b> (2.º nível)		
<b>QAI 1</b>	<b>Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes</b> (3.º nível)		
	<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)	<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)	
QAI 1.1	Conforto Térmico	A	Temperatura do ar
		B	Correntes de ar
		C	Temperatura radiante
		D	Temperatura do pavimento
QAI 1.2	Qualidade do Ar	A	Qualidade do ar exterior
		B	Outras estratégias de ventilação
		C	Concentrações de referência
QAI 1.3	Conforto Visual	A	Sistemas de iluminação
		B	Níveis de iluminância
		C	Contraste
		D	Encandeamento
QAI 1.4	Conforto Acústico	A	$D_{2m,n,w}$
		B	$D_{n,w}$
		C	$L'_{n,w}$
		D	$L_{Ar}$



**Quadro 4.10** - Princípio de Concepção **Sistemas de Controlo e Gestão** – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.

<b>QAI</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b> (2.º nível)		
<b>QAI 2</b>	<b>Sistemas de Controlo e Gestão</b> (3.º nível)		
<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)			<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)
QAI 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão	A	Controlo dos sistemas de iluminação
		B	Controlo da incidência da radiação solar
		C	Controlo dos sistemas de ventilação

**Quadro 4.11** - Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios** – desenvolvida até Indicador de qualidade, 4.º nível.

<b>IAE</b>	<b>Impacto Ambiental dos Edifícios</b> (2.º nível)		
<b>Princípio de Concepção</b> (3.º nível)			<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)
IAE 1	Eficiência Energética da Concepção do Edifício	IEA 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia
IAE 2	Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos	IEA 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização
		IEA 2.2	Sistemas de Ventilação
		IEA 2.3	Sistemas de Iluminação
		IEA 2.4	Energias Renováveis
		IEA 2.5	Equipamentos/Electrodomésticos
IAE 3	Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção	IEA 3.1	Materiais de Construção

**Quadro 4.12** - Princípio de Concepção **Eficiência Energética da Concepção do Edifício** – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.

<b>IAE</b>	<b>Impacto Ambiental dos Edifícios</b> (2.º nível)		
<b>IAE 1</b>	<b>Eficiência Energética da Concepção do Edifício</b> (3.º nível)		
<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)			<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)
IAE 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia	A	Nic
		B	Nvc
		C	Nac
		D	Ntc

**Quadro 4.13 - Princípio de Concepção Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.**

<b>IAE</b>	<b>Impacto Ambiental dos Edifícios</b> (2.º nível)		
<b>IAE 2</b>	<b>Concepção Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos</b> (3.º nível)		
<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)		<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)	
IAE 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização	A	Condições de dimensionamento
		B	Seleção das fontes de energia térmica
		C	Distribuição eficiente da energia térmica
		D	Plano de manutenção
IAE 2.2	Sistemas de Ventilação	A	Condições de dimensionamento
		B	Consumo de energia pelos ventiladores e sistemas de controlo
		C	Plano de manutenção
IAE 2.3	Sistemas de Iluminação	A	Sistema de iluminação combinados
		B	Dispositivos de iluminação
		C	Dispositivos de controlo
IAE 2.4	Energias Renováveis	A	Sistema solar térmico para AQS
		B	Sistema solar fotovoltaico
		C	Biomassa, eólica, geotérmica, mini-hidrogeradores
		D	Sistema de recuperação de calor
IAE 2.5	Equipamentos/Electrodomésticos	A	Certificação dos equipamentos
		B	Modo de funcionamento

**Quadro 4.14 - Princípio de Concepção Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção – desenvolvido até ao Requisito e Critérios de Avaliação, 5.º nível.**

<b>IAE</b>	<b>Impacto Ambiental dos Edifícios</b> (2.º nível)		
<b>IAE 3</b>	<b>Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção</b> (3.º nível)		
<b>Indicador de Qualidade</b> (4.º nível)		<b>Requisito e Critérios de Avaliação</b> (5.º nível)	
IAE 3.1	Materiais de Construção	A	Escolha dos materiais de construção
		B	Reciclagem dos materiais
		C	Novas tecnologias

A definição dos Indicadores de Qualidade obedeceu aos critérios definidos pelo autor, em função da sua experiência e do seu contacto com a realidade construtiva. Teve também em conta as categorias escolhidas para fazer a avaliação e a importância relativa dos diferentes requisitos, relativamente à globalidade do processo de concepção.

Não se trata, portanto, de um conjunto estático de Indicadores de Qualidade. Em qualquer momento poderá ser alterado, eliminado ou acrescentado qualquer Indicadores de Qualidade, alterada a forma e intervalo de classificação ou definido outro conjunto de requisitos.

A observação dos diferentes quadros relativos às exigências permite concluir que a sua definição foi efectuada num período de tempo determinado e no contexto regulamentar existente a época da sua concepção. Como no contexto científico e em especial no domínio da regulamentação da actividade construtiva nada é imutável, é natural que a definição das exigências deva acompanhar os progressos entretanto verificados.

#### 4.1.2. Estrutura das Fichas de Avaliação e Diagnóstico

Após a organização da estrutura em árvore, descrita no ponto anterior, prosseguiu-se o desenvolvimento das fichas de avaliação<sup>1</sup> e diagnóstico<sup>2</sup>, resignadas no método apenas por fichas de avaliação (FA), relativas aos indicadores de qualidade adoptados, compreendendo as seguintes partes:

- 1) Identificação:
  - a) da Ficha de Avaliação;
  - b) da Categoria;
  - c) do Princípio de Concepção;
  - d) do Indicador de Qualidade;
- 2) Descrição genérica do objectivo do Indicador de Qualidade;
- 3) Procedimento de avaliação (no quadro 4.15 está definida a forma de atribuição dos níveis de qualidade):
  - a) identificação dos requisitos a avaliar;
  - b) descrição dos critérios de avaliação para cada um dos requisitos;
  - c) atribuição de níveis de qualidade aos requisitos, descritor;
  - d) apresentação de uma nota informativa para cada um dos requisitos;
- 4) Modo de Avaliação (indicação dos elementos escritos e desenhados do projecto que devem ser verificados);

---

<sup>1</sup> **Avaliação** - permitir a obtenção de níveis de qualidade parcelares e globais de projecto.

<sup>2</sup> **Diagnóstico** - tendo em conta as características do projecto (localização, implantação, tipo de ocupação, tipo de construção, tecnologia de construção, tipo de energia, etc.), as fichas podem ajudar na tomada de decisão na elaboração do projecto.

- 5) Linha de Orientação (orientações para a verificação dos elementos de projecto);
- 6) Informação Complementar (interligação com outras Fichas de Avaliação e Diagnóstico e informações sobre as condicionantes a tomar em conta nas estratégias ou soluções de projecto associadas para uma maior eficiência);
- 7) Referências (apresentam-se as referências bibliográficas relevantes).

**Quadro 4.15** - Forma de atribuição dos níveis de qualidade.

Níveis <sup>(4)</sup>	Requisito <sup>(1)</sup> e Critérios de Avaliação <sup>(2)</sup>
	<b>A – Requisito <sup>(3)</sup></b>
<b>4</b>	Estratégia ou solução de projecto com um nível de qualidade <b>Muito Bom</b> <sup>(5)</sup>
<b>3</b>	Estratégia ou solução de projecto com um nível de qualidade <b>Bom</b> <sup>(6)</sup>
<b>2</b>	Estratégia ou solução de projecto com um nível de qualidade <b>Médio</b> <sup>(7)</sup>
<b>1</b>	Estratégia ou solução de projecto com um nível de qualidade <b>Mínimo</b> <sup>(8)</sup>
<b>0</b>	Estratégia ou solução de projecto com um nível de qualidade <b>Insuficiente</b> <sup>(9)</sup>

- (1) Identifica os conceitos ou as exigências consideradas mais relevantes para a determinação do nível de qualidade das diversas componentes do meio ambiente que rodeia o edifício e do edifício.
- (2) Os critérios de avaliação servem para relacionar as características de uma estratégia ou solução com o nível de desempenho.
- (3) Identificação do requisito a avaliar.
- (4) Níveis de desempenho para cada um dos requisitos, início da escala em Zero (0), porque uma nota de zero tem sempre um forte impacto.
- (5) A estratégia ou solução tem um desempenho que confere um maior grau de qualidade que o nível **Bom**, estará associado a soluções que contribuem para um maior conforto dos ocupantes e eficiência na utilização de energia convencional.
- (6) A estratégia ou solução tem um desempenho que confere um maior grau de qualidade que o nível **Médio**.
- (7) A estratégia ou solução tem um desempenho que confere um maior grau de qualidade que o nível **Mínimo**.
- (8) A estratégia ou solução tem um desempenho que satisfaz os mínimos definidos pelos regulamentos e normas nacionais aplicáveis, e pela aplicação das boas práticas de construção e de projecto.
- (9) A estratégia ou solução não satisfaz as exigências mínimas de avaliação e as necessidades elementares da vida quotidiana dos ocupantes ou não cumpre as disposições regulamentares em vigor.

#### 4.1.3. Ponderação dos Elementos de Avaliação

O estabelecimento da *Ponderação* consiste na fase mais delicada do desenvolvimento do método, na medida em que se trata do campo em que a experiência pessoal – ou seja, a subjectividade – poderá influenciar mais decisivamente o resultado final.

Estabeleceram-se três níveis de ponderação, o primeiro aplica-se ao nível de cada ficha de avaliação e de diagnóstico, o segundo ao nível dos indicadores de qualidade e o terceiro ao nível das categorias propostas com a finalidade de obter o nível de qualidade global, ou seja, o grau de Qualidade Térmica do Edifício e do seu Desempenho Energético. Considerou-se para isso a ponderação que é apresentada, depois das fichas de avaliação, no ponto 4.3. Poderá outro autor, se assim o entender, atribuir outros pesos às fichas de avaliação, aos indicadores de qualidade e às categorias.

Sempre que, por razões construtivas, um requisito ou um indicador de qualidade não se aplica ao edifício em análise, e quando nada for referido em contrário, o factor de ponderação atribuído será repartido em partes iguais pelos restantes requisitos ou indicadores de qualidade.

#### 4.1.4. Definição da Ponderação das Categorias Propostas

Actualmente, regra geral, pela consulta dos elementos escritos e desenhos dos projectos de edifícios não é possível obter muitos dos elementos que a metodologia proposta prevê avaliar, principalmente os que dizem respeito à Qualidade do Ambiente Interior (QAI) e ao Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE), mas com a aplicação de novas metodologias de trabalho e a implantação do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o projectos terão que ser cada vez mais completos e objectivos, de forma a incrementar a concepção integrada dos projectos das várias especialidades e por sua vez aumentar a sustentabilidade do sector da construção.

Por este motivo, como já foi referido anteriormente, em consequência das dificuldades sentidas em obter todas as informações necessárias para a aplicação correcta e objectiva desta metodologias, propõe-se a aplicação do método em duas fases. A primeira fase que será ajustada ao actual modo de projectar edifícios em Portugal, em que se considera uma ponderação menor para a Categoria *Qualidade do Ambiente Interior (QAI)* e para os Princípios de Concepção: *Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos (IAE 2)* e *Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção (IAE 3)* da Categoria *Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)*, sendo então atribuída a ponderação superior para a Categoria *Concepção Bioclimática de Edifícios (CBE)* e para o Princípios de Concepção *Eficiência Energética da Concepção do Edifício (IAE 1)*. Numa segunda fase prevê-se um ajustamento da ponderação das mesmas, consoante o que se pretende realmente analisar, ficando ao projectista a liberdade de atribuição das referidas ponderações.

#### 4.1.5. Perfil de Qualidade

A última fase da aplicação da metodologia consiste em representar graficamente o nível de qualidade dos indicadores de qualidade analisados nas fichas de avaliação propostas. Sendo deste modo, possível observar de uma forma clara as diferenças que existem entre o desempenho de cada estratégia ou solução ao nível de cada indicador de qualidade.

Na metodologia proposta, a representação gráfica faz-se através de um quadro que representa todos os indicadores de qualidade e o respectivo nível de qualidade obtido. Neste gráfico quanto mais para a direita estiverem os espaços sombreados (níveis de qualidade mais elevados) e quanto menores forem as variações, melhor será a sua qualidade. No Perfil de Qualidade é também indicado o nível de qualidade obtido para cada uma das Categorias, o nível global de qualidade e o desempenho para o edifício em estudo, conforme mostra o quadro 4.16.

**Quadro 4.16** - Representação do Perfil de Qualidade

Ficha de Avaliação	Indicador de Qualidade	Nível Qualidade				
		0	1	2	3	4
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício	△	△	△	△	△
CBE 1.2	Implantação do Edifício	△	△	△	△	△
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados	△	△	△	△	△
CBE 1.4	Paredes Exteriores e Cobertura	△	△	△	△	△
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente	△	△	△	△	△
CBE 2.1	Inércia Térmica	△	△	△	△	△
CBE 3.1	Forma do Edifício	△	△	△	△	△
CBE 3.2	Iluminação Natural	△	△	△	△	△
CBE 3.3	Organização Interna dos Espaços	△	△	△	△	△
CBE 3.4	Concepção da Envolvente Opaca Vertical	△	△	△	△	△
CBE 3.5	Concepção da Envolvente Opaca Horizontal	△	△	△	△	△
CBE 3.6	Concepção das Portas e Janelas	△	△	△	△	△
CBE 3.7	Tratamento das Pontes Térmicas	△	△	△	△	△
CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção	△	△	△	△	△
CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação	△	△	△	△	△
<b>Nível de Qualidade – Concepção Bioclimática de Edifícios</b>		△	△	△	△	△
QIA 1.1	Conforto Térmico	😊	😊	😊	😊	😊
QIA 1.2	Qualidade do Ar	😊	😊	😊	😊	😊
QIA 1.3	Conforto Visual	😊	😊	😊	😊	😊
QIA 1.4	Conforto Acústico	😊	😊	😊	😊	😊
QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão	😊	😊	😊	😊	😊
<b>Nível de Qualidade – Qualidade do Ambiente Interior</b>		😊	😊	😊	😊	😊
IAE 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia	☀️	☀️	☀️	☀️	☀️
IAE 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização	☀️	☀️	☀️	☀️	☀️
IAE 2.2	Sistemas de Ventilação	☀️	☀️	☀️	☀️	☀️
IAE 2.3	Sistemas de Iluminação	☀️	☀️	☀️	☀️	☀️
IAE 2.4	Energias Renováveis	☀️	☀️	☀️	☀️	☀️
IAE 2.5	Equipamentos/Electrodomésticos	☀️	☀️	☀️	☀️	☀️
IAE 3.1	Materiais de Construção	☀️	☀️	☀️	☀️	☀️
<b>Nível de Qualidade – Impacto Ambiental dos Edifícios</b>		☀️	☀️	☀️	☀️	☀️
<b>Qualidade Térmica do Edifício – Desempenho do Edifício</b>		😡	😐	😐	😐	😊

## 4.2. Fichas de Avaliação e Diagnóstico

Para obtemos um edifício com elevada qualidade térmica e com elevada eficiência energética teremos que adaptar o edifício ao local onde este vai ser construído, por essa razão é necessário fazer uma análise o mais completa possível das características do projecto partindo das considerações gerais para as particulares próprias de cada tipo de edifício, teremos então que começar por fazer a caracterização do local de onde o edifício vai ser construído de modo a adaptar o tipo de concepção às condições climáticas e naturais existentes no local, seguindo-se a caracterização dos elementos da envolvente e a caracterização do seu funcionamento tendo em consideração a sua utilização final.

### 4.2.1. Avaliação da Concepção Bioclimática de Edifícios (CBE)

A Concepção Bioclimática de Edifícios, pode ser definida como a concepção de um edifício tendo em conta a análise do contexto climático, natural e urbano em que este se insere promovendo a captação/protecção, armazenamento, conservação e distribuição de energia através da utilização de sistemas passivos, para garantir as condições de conforto dos ocupantes, reduzindo deste modo, o consumo de energia convencional para aquecimento, arrefecimento, iluminação e qualidade do ar interior. Este tipo de concepção, é então um instrumento que permite manter a viabilidade de um “equilíbrio saudável” na construção, racionalizando tanto os recursos utilizados como os resíduos produzidos.

De seguida, apresentam-se as fichas de avaliação e diagnóstico relativas a esta categoria, os vários princípios de concepção e respectivos indicadores de qualidade.

## FA CBE 1.1

## CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios

## CBE 1 – Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento

---

Indicador de Qualidade: **CBE 1.1 - Caracterização da Localização do Edifício**


---

**Objectivo:**

Com o levantamento e análise das condições do local podemos determinar quais as melhores opções de projecto em função de uma estratégia bioclimática mais adequada.

---

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Caracterização do clima</b> <sup>(1)</sup>
4	Os parâmetros <b>a, b, c e d</b> são verificados e correctamente considerados no projecto.
3	Os parâmetros <b>a, b e c</b> são verificados e correctamente considerados no projecto.
2	Os parâmetros <b>a e b</b> são verificados e correctamente considerados no projecto.
1	O parâmetro <b>b</b> é verificado e correctamente considerado no projecto.
0	Os parâmetros não são correctamente considerados no projecto.
	<b>B – Caracterização do espaço urbano</b> <sup>(2)</sup>
4	O projecto contempla o estudo completo da interacção do edifício com o espaço urbano.
2	O projecto contempla o estudo parcial da interacção do edifício com o espaço urbano.
0	O projecto não contempla o estudo da interacção do edifício com o espaço urbano.
	<b>C – Caracterização do lote</b> <sup>(3)</sup>
4	As características do lote não apresentam qualquer tipo de limitações.
3	As características do lote condicionam a forma mas não a implantação do edifício.
2	As características do lote condicionam a implantação mas não a forma do edifício.
1	As características do lote condicionam a forma e a implantação do edifício.

(1) Os parâmetros a, b, c e d, são correctamente considerados no projecto quando nos elementos escritos e desenhados do projecto forem referidos os seus valores e a sua origem (como foram obtidos).

(2) As características dos Espaços Urbanos condicionam o clima que envolve os edifícios criando um microclima próprio. Na fase de projecto é muito importante estudar a sua interacção com o edifício.

(3) As características do lote podem condicionar a implantação do edifício (orientação do edifício, sombreamento e acesso à radiação solar e protecção contra o vento), a forma do edifício (factor de forma e utilização de espaços tampão), acesso ao edifício, etc.



**Modo de Avaliação**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto sobre as características do local de implantação do edifício.
2. Os elementos do projecto devem conter informação suficiente para avaliar em que medida a caracterização do clima foi considerada no projecto, deve contemplar os seguintes parâmetros:
  - a - radiação solar (estudo da geometria solar do local);
  - b – zonamento climático e correspondentes dados climáticos de referência;
  - c - a velocidade e a direcção do vento;
  - d - níveis e incidência de precipitação.
3. Os elementos do projecto devem conter informação suficiente para avaliar em que medida a caracterização do clima referida anteriormente é condicionada pelas características do espaço urbano.
4. Os elementos do projecto devem conter informação suficiente para avaliar em que medida a caracterização do clima referida anteriormente é condicionada pelas características do lote. O levantamento topográfico do lote deve conter informações o mais completas possível, sobre:
  - a orientação, a dimensão, e topografia e a geometria do lote;
  - a taxa de ocupação da zona, tipo de zona urbana, rural;
  - existência de vegetação (características e localização);
  - existência de edifícios adjacentes (dimensões, localização e tipo de revestimento das suas fachadas (revestimentos reflectantes);
  - orientação e localização das vias de acesso;
  - localização de outros elementos com interesse relevante (linha de água, linha de alta tensão, etc.).

---

**Linha de Orientação:***i: Lista de Verificação para a Caracterização da Localização.*

- grau de exposição à radiação solar: a topografia do lote, as dimensões, geometria do lote e orientação do lote; potencial máximo de horas de sol baseado em dados climáticos; ângulos solares baseados na latitude do local; sombreamento;
- velocidade e direcção do vento: a rosa-dos-ventos para a região fornecerá as direcções e frequência dos ventos dominantes, mas ter em conta o grau de exposição e os efeitos devidos à topografia;
- temperaturas do ar/temperaturas médias mensais diurnas e nocturnas;
- iluminação natural: as obstruções no terreno, ou nas suas imediações, podem afectar a luz disponível;
- topografia: as obstruções no terreno poderão desviar o vento e fornecer abrigo, mas poderão criar sombreamento;
- localização e tipo dos edifícios vizinhos: quaisquer elementos de construção que poderão provocar sombreamento;
- localização e tipo da vegetação: ter em conta o tipo e as condições de árvores e arbustos, das faixas de protecção e do revestimento do solo;

- água: ter em conta a existência de grandes quantidades de água (mar, lagos, etc.), linhas de água e os níveis freáticos;
- tipo de solo: afectará as fundações, a drenagem e as plantações;
- qualidade do ar e níveis de ruído: terão impacto nas opções de ventilação;
- vista: as vistas do local poderão merecer ser preservadas ou aproveitadas.

---

**Informação Complementar:**

Para uma caracterização mais detalhada do clima português o RCCTE [1] divide o país, ao nível do concelho, em três zonas climáticas de Inverno ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) e três zonas climáticas de Verão ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ), de acordo com esta distribuição do país são indicados os dados climáticos de referência de Inverno (número de graus-dias - *GD* e duração da estação de aquecimento) e de Verão (temperatura exterior de projecto e amplitude térmica), que podem ser alteradas em função da altitude do local e da localização em relação à faixa litoral.

No RCCTE não há qualquer informação relativamente à intensidade do vento e sua direcção predominante para cada localização.

Às diferentes características urbanas correspondem diferentes microclimas, capazes de proporcionar um maior ou menor conforto, nomeadamente:

- a) As temperaturas nos grandes núcleos urbanos têm tendência para serem mais quentes do que o território circundante. Isso é causado por vários factores, isso é causado por vários factores que, no seu conjunto, constituem o efeito de “ilha de calor”.
- b) Dada a existência de obstáculos à circulação do vento, Impacto Aerodinâmico, constituídos por edifícios ou outras estruturas, o escoamento do ar nos núcleos urbanos tende a ser, em média, mais lento mas mais turbulento do que em campo aberto. O vento é um factor determinante ao nível do microclima. No entanto, as características das áreas construídas condicionam os padrões de escoamento do vento, aumentando as zonas de turbulência e, simultaneamente, as zonas de estagnação.
- c) Os edifícios e outras estruturas urbanas podem causar alguma obstrução à radiação solar directa. Se ela é um benefício ou uma desvantagem, isso depende de outros parâmetros do microclima, por exemplo em função da latitude, poderá ser mais importante quer a exposição solar, quer a protecção do sol no Verão.
- d) A qualidade do ar tem implicações no uso da energia solar e na ventilação natural. Os poluentes gerados pelo tráfego, por sistemas de aquecimento e de arrefecimento e processos industriais, absorvem e dispersam a radiação solar, enfraquecendo a radiação solar directa mas aumentando a radiação difusa nos dias de céu limpo. Além disso, os poluentes contribuem para uma mais rápida degradação dos materiais de construção e afectam também a saúde humana.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Gonçalves, H.; Graça, J., “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”, INETI, Lisboa, 2004.
- Simos Yannas, “Solar Energy and Housing Desing. Volume 1: Principles, Objectives, Guidelines”, Architectural Association, London, 1994.
- Francisco, M., “Energia Solar Passiva” (Volume 1 e 2), Direcção-Geral da Energia, Imprensa Nacional - Casa da Moeda, Lisboa, 1987.

## FA CBE 1.2

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

## CBE 1 – Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento

## Indicador de Qualidade: CBE 1.2 - Implantação do Edifício

## Objectivo:

Obter uma implantação do edifício que permita a optimização da exposição à radiação solar no Inverno e a protecção do excesso de radiação solar no Verão e a protecção contra os ventos frios no Inverno e a exposição às brisas frescas no Verão.

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A - Orientação do edifício</b> <sup>(1)</sup>
4	O edifício tem o eixo mais longo com uma orientação E/W.
3	O edifício tem o eixo mais longo com uma orientação de $\pm 22,5^\circ$ na direcção E/W.
2	O edifício tem o eixo mais longo orientado entre as direcções NE/SW e ENE/WSW.
1	O edifício tem o eixo mais longo orientado entre as direcções NE/SW e NW/SE.
0	O edifício tem o eixo mais longo orientado entre as direcções ESE/WNW e SE/NW.
	<b>B – Sombreamento</b> <sup>(2)</sup>
4	$X \geq 5,7 H$ ( $\theta \leq 10^\circ$ )
3	$2,7 H \leq X < 5,7 H$ ( $20^\circ \leq \theta < 10^\circ$ )
2	$1,7 H \leq X < 2,7 H$ ( $30^\circ \leq \theta < 20^\circ$ )
1	$1,0 H \leq X < 1,7 H$ ( $45^\circ \leq \theta < 30^\circ$ )
0	$X < 1,0 H$ ( $\theta > 45^\circ$ )
	<b>C - Protecção da radiação solar e a exposição às brisas frescas no Verão</b> <sup>(3)</sup>
4	Existência de fracção autónoma adjacente a Norte ou a Este e a Oeste ou vegetação de folha caduca a Sul.
3	Existência de fracção autónoma adjacente Este e a Oeste ou vegetação de folha caduca a Sul.
2	Existência de fracção autónoma adjacente Este e a Oeste ou vegetação de folha perene a Sul.
1	Existência de fracção autónoma adjacente no Quadrante Sul ou vegetação a Este ou a Oeste.
0	Existência de fracção autónoma adjacente a Sul ou vegetação de folha perene a Norte.
	<b>D - Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício</b> <sup>(4)</sup>
4	Exp. 1
3	Exp. 2
2	Exp. 3
1	Exp. 4
0	Exp. 4, na fachada com maior percentagem de área envidraçada, entre SE e SW.

(1) Este critério pressupõe a colocação da maior percentagem de área envidraçada nas fachadas mais longas, por isso, mais exposta à radiação solar, entre SE e SW. Ver figura 4.1 da *linha de orientação i*.

(2) A avaliação do requisito "Sombreamento" é efectuada pela relação entre a altura de uma obstrução ( $H$ ) e a distância à superfície afectada ( $X$ ), das fachadas orientadas entre SE e SW. Para se poderem comparar e para evitar confusões, como referência para os ângulos de obstrução assume-se que o ponto de vista está ao nível do solo ou do piso da fracção autónoma em edifícios multifamiliares.

(3) Estas protecções apenas dizem respeito à área envolvente, mas em função das necessidades, haverá que ter em conta a possibilidade de prever elementos comuns entre fracções autónomas e a vegetação exterior.

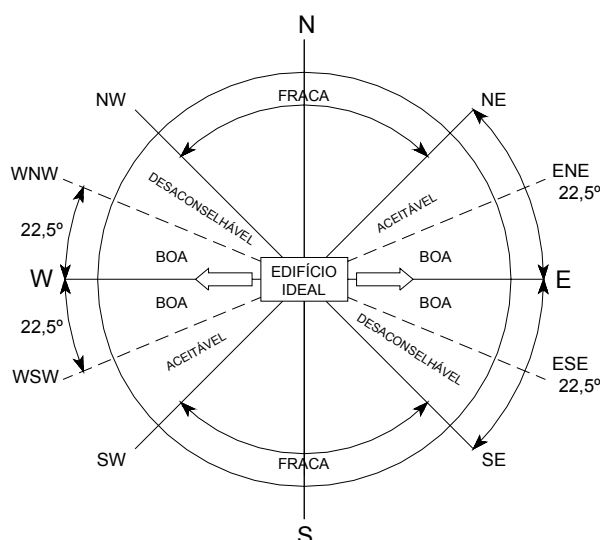
(4) Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício (Exp.). Quanto menos estiverem expostas as fachadas do edifício menor será a acção do vento. A verificar nas fachadas mais longas, mais expostas, para minimizar as perdas por convecção nos paramentos exteriores e as devidas às infiltrações.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto referentes à condições de implantação do edifício e à orientação das fachadas.
2. Os elementos do projecto devem conter informação suficiente para determinar a relação entre a altura da obstrução ( $H$ ) e a distância à superfície afectada ( $X$ ): o ângulo de obstrução e a inclinação do terreno nas fachadas orientadas entre SE e SW, ver *linha de orientação ii*.
3. Os elementos do projecto devem conter informação suficiente para avaliar as medidas consideradas para a implantação do edifício e para a elaboração dos arranjos exteriores, de modo a contribuírem, para a protecção contra o vento, para reduzir as infiltrações de ar no edifício, controlar as correntes de ar e as perdas de calor por convecção, no Inverno. A protecção também ajuda a manter a temperatura do ar e do solo mais elevada, nos espaços abertos.
4. O requisito B “Sombreamento”, principalmente nas fachadas entre SE e SW pode anular os benefícios da sua orientação já que reduz ou anula a radiação solar incidente nas mesmas. No caso de não existirem fachadas entre SE e SW será atribuído o nível a 2, com excepção da orientação Sul, que será atribuído o nível 0. Por este motivo, o nível obtido na avaliação deste requisito vai limitar o nível obtido para o requisito A “Orientação do Edifício”. Caso não exista informação disponível que permita o cálculo do ângulo de obstrução, a relação entre a altura de uma obstrução ( $H$ ) e a distância à superfície afectada ( $X$ ) deve ser calculada por defeito adoptando um ângulo de obstrução de  $45^\circ$  em ambiente urbano (o nível máximo que pode ser atribuído ao requisito A passa a ser 3) ou de  $20^\circ$  para edifícios isolados fora das zonas urbanas, à semelhança do que acontece no RCCTE com o ângulo de horizonte para o cálculo do  $F_h$ .
5. O requisito C “Protecção da radiação solar e a exposição às brisas frescas no Verão” a existência de edifício adjacente só se aplica nos edifícios ou fracções autónomas com edifícios adjacentes.

**Linha de Orientação:**

*i: Orientação do Edifício.*



**Figura 4.1** - Qualidade da Implantação Orientação de um edifício [27].

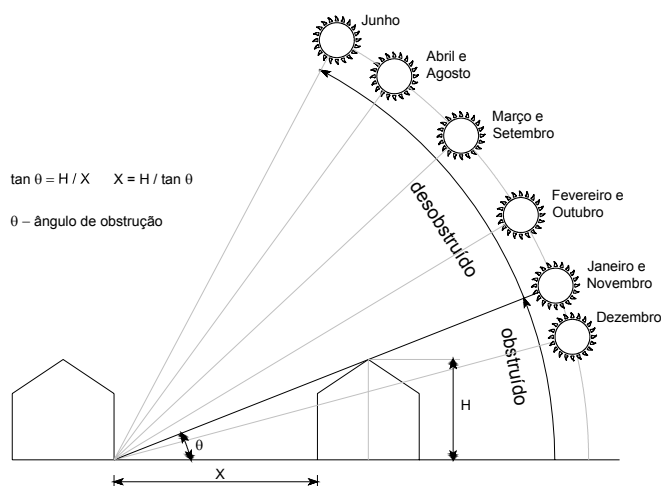
ii: *Determinação da relação entre a altura da obstrução (H) e a distância à superfície afectada (X).*

Para qualquer ponto da superfície da fachada, a vista do Sol torna-se obstruída quando a altura do ângulo do elemento que obstrui - o ângulo obstrução ( $\theta$ ) - excede o ângulo da altura do Sol. Os parâmetros que definem a obstrução são a sua altura e distância à superfície afectada e a inclinação do terreno. Dada a altura de uma obstrução, a distância (X) transforma-se no parâmetro crítico no Inverno quando a altura do Sol é mais baixa, que pode ser quantificada pela seguinte expressão:

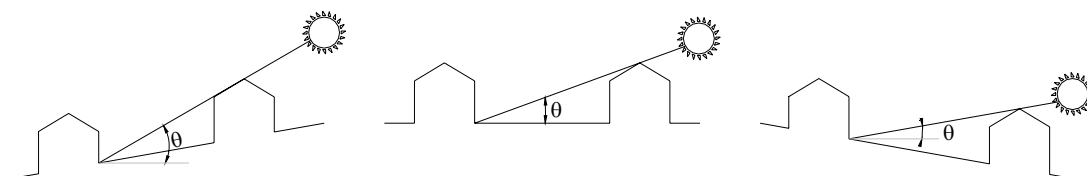
$$\tan \theta = H/X \quad X = H/\tan \theta$$

em que:

- $\theta$  = ângulo de obstrução;
- H = altura da obstrução;
- X = distância das obstruções à superfície afectada.



**Figura 4.2** - Ângulo de obstrução ( $\theta$ ), adaptada de [28].



**Figura 4.3** - Na figura da esquerda o terreno tem uma inclinação a Norte, na figura da direita o terreno tem uma inclinação a Sul e na figura ao centro o terreno é plano [28].

iii: *Protecção da Radiação no Verão e exposição às brisas frescas no Verão.*

Entre as técnicas que se utilizam para reduzir a radiação que incide nos edifícios no Verão encontram-se as seguintes [29] e [31]:

- utilização de estruturas com plantas de folha caduca que promovem sombreamento no Verão e transparência no Inverno;

- utilização de árvores que funcionam como sombreamento e ainda promovem o arrefecimento da área através da sua evapotranspiração no Verão;
- utilização de cores claras, que não absorvam muita radiação solar.

*iv: Classe de Exposição ao Vento das Fachadas do Edifício.*

Para efeitos de avaliação do requisito D, a exposição é definido no quando 4.17.

**Quadro 4.17** - Classe de exposição ao Vento das fachadas do edifício [1].

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 28 m a 60 m	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4
<p>Região A – todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.</p> <p>Região B – Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.</p> <p>Rugosidade I – edifícios situados no interior de uma zona urbana.</p> <p>Rugosidade II – edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.</p> <p>Rugosidade III – edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).</p> <p>Os limites de 10, 18, 28 e 60 m correspondem, em geral, a edifícios com 3, 6, 9 e 20 pisos, respectivamente.</p>						

**Informação Complementar:**

Um aspecto muito importante a ter em conta na orientação do edifício é a distribuição dos envidraçados pelas várias fachadas. Para que exista uma optimização real da exposição solar a maior percentagem da área envidraçada terá que ficar orientada a Sul. Desta forma optimiza-se a capacidade de controlo dos ganhos solares no Inverno e minimiza-se a exposição solar no Verão, tornando bastante fáceis as estratégias de sombreamento dos envidraçados.

A velocidade do vento ou a sua direcção junto aos edifícios poderão ser modificadas através de uma remodelação do terreno, novas construções e vegetação; a forma dos edifícios em si poderá ser projectada de modo a bloquear ou desviar o vento.

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto – Fundação Gomes Teixeira, “Projecto REDENE. Rede de Edifícios Energeticamente Eficientes. Conceitos e Orientações”, 2000.
- Francisco, M., “Energia Solar Passiva” (Volume 1 e 2), Direcção-Geral da Energia, Imprensa Nacional - Casa da Moeda, Lisboa, 1987.
- Gonçalves, H.; Graça, J., “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”, INETI, Lisboa, 2004.
- Simos Yannas; “Solar Energy and Housing Desing. Volume 1: Principles, Objectives, Guidelines”, Architectural Association, London, 1994.

## FA CBE 1.3

## CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios

## CBE 1 – Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento

## Indicador de Qualidade: CBE 1.3 – Ganhos Solares pelos Envidraçados

## Objectivo:

Optimizar a área dos vãos envidraçados e as suas características em função da orientação, da inclinação e da disponibilidade da radiação solar para promover os ganhos solares no Inverno. Especificar dispositivos de protecção e de sombreamento, quando necessário, para evitar o sobreaquecimento ou o encandeamento.

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação		
	<b>A - Distribuição dos vãos envidraçados verticais</b> <sup>(1)</sup>		
4	Área envidraçada orientada no Octante Sul superior ou igual 75%.		
3	Área envidraçada orientada no Octante Sul entre 50% e 75%.		
2	Área envidraçada orientada no Octante Sul entre 25% e 50%.		
1	Área envidraçada orientada nos Octantes Este e Oeste superior ou igual 50%.		
0	Área envidraçada orientada no Octante Norte superior ou igual 50%.		
	<b>B - Razão área envidraçada / área útil do compartimento (Ap)</b> <sup>(2)</sup>		
4	Área envidraçada superior 20% e inferior a 25% Ap.		
3	Área envidraçada superior 15% e inferior a 20% Ap.		
2	Área envidraçada superior 10% e inferior a 15% Ap.		
1	Área envidraçada superior 5% e inferior a 10% Ap.		
0	Não se verifica nenhuma das condições anteriores.		
	<b>C - Factor solar do vidro (<math>g_{\perp v}</math>)</b> <sup>(2) (3)</sup>		
4	$0,63 \leq g_{\perp v} < 0,78$		
3	$0,56 \leq g_{\perp v} < 0,63$		
2	$0,50 \leq g_{\perp v} < 0,56$		
1	$0,35 \leq g_{\perp v} < 0,50$		
0	Não se verifica nenhuma das condições anteriores.		
	<b>D - Factor solar do vão envidraçado (<math>g_{\perp}</math>)</b> <sup>(2) (4)</sup>		
	Zona V <sub>1</sub>	Zona V <sub>2</sub>	Zona V <sub>3</sub>
4	$g_{\perp} \leq 0,25$ <sup>(5)</sup>	$g_{\perp} \leq 0,20$ <sup>(5)</sup>	$g_{\perp} \leq 0,15$ <sup>(5)</sup>
3	$0,15 < g_{\perp} \leq 0,30$	$0,15 < g_{\perp} < 0,30$	$0,10 < g_{\perp} \leq 0,25$
2	$0,30 < g_{\perp} < 0,56$	$0,30 < g_{\perp} < 0,56$	$0,25 < g_{\perp} < 0,50$
1	$g_{\perp} = 0,56$	$g_{\perp} = 0,56$	$g_{\perp} = 0,50$
	<b>E - Factor de obstrução (<math>F_s</math>) no Inverno</b> <sup>(2) (6)</sup>		
4	$F_s \geq 0,9$		
3	$0,90 > F_s > 0,55$		
2	$0,55 \geq F_s > 0,27$		
1	$F_s = 0,27$		

(1) Este critério pressupõe que quase a totalidade da área envidraçada seja vertical. São consideradas superfícies horizontais as que têm uma inclinação face ao plano horizontal inferior a 60° e superfícies verticais as restantes. O Octante Sul contempla as áreas envidraçadas verticais orientadas entre SE e SW. O Octante Norte contempla as áreas envidraçadas verticais orientadas entre NW e NE.

(2) Para todos os compartimentos pertencentes à zona útil (sala, escritório, etc.), excepto os que só possuam vãos envidraçados no Octante Norte. Para áreas envidraçadas superior a 15% devem existir dispositivos de protecção solar eficazes para serem usados no Verão, caso contrário, é preferível não aplicar áreas elevadas.

(3) Considera-se que os dispositivos de protecção solar não estão activos no Inverno.

(4) Considera-se a protecção solar 100% activa. No caso de se ter uma inércia térmica fraca é preferível aplicar vãos envidraçados com um factor solar ( $g_{\perp}$ ) elevado, para evitar o sobreaquecimento no Verão.

(5) Factores solares de referência em envidraçados com mais de 5% da área útil do compartimento que servem. Edifícios ou fracções autónomas com inércia térmica média ou forte.

(6) O factor de obstrução ( $F_s$ ) é calculado tendo em consideração os valores do factor de sombreamento do horizonte ( $F_h$ ), do factor de sombreamento dos elementos verticais ( $F_v$ ) e dos elementos horizontais ( $F_o$ ).

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente as características, a orientação e a área dos vãos envidraçados, o tipo de caixilharia, o tipo de vidro, a área dos compartimentos contíguos, a localização e as características das protecções solares e localização e características dos dispositivos de sombreamento.
2. Os elementos escritos devem conter informação suficiente para determinar o valor do factor solar do vidro ( $g_{\perp v}$ ), e permitir fazer a verificação dos factores solares propostos em relação aos valores tabelados no RCCTE. O valor de verificação será obtido pela média ponderada dos diferentes tipos de vidro propostos em função da área dos compartimentos que servem.
3. Os elementos escritos devem conter informação suficiente para determinar o valor do factor solar dos vãos envidraçados ( $g_{\perp}$ ), e permitir fazer a verificação dos factores solares proposto em relação aos valores tabelados no RCCTE. O valor de verificação será obtido pela média ponderada dos diferentes tipos de protecções propostas em função da área dos compartimentos que servem.
4. Os elementos desenhados devem conter informação suficiente para determinar os valores do factor de sombreamento do horizonte ( $F_h$ ), do factor de sombreamento dos elementos verticais ( $F_v$ ) e dos elementos horizontais ( $F_o$ ) em todas as fachadas. O valor de verificação será obtido pela média ponderada dos diferentes tipos de protecções propostas em função da área dos compartimentos que servem.
5. O requisito A “Distribuição dos vãos envidraçados verticais” refere-se somente à área envidraçada, porque os vãos envidraçados horizontais são de evitar, são difíceis de proteger, a sua utilização requer um projecto muito cuidado e bem elaborado. No caso de existirem vãos envidraçados horizontais a sua área total terá que ser inferior a 5% da área útil total do pavimento dos compartimentos.
6. O requisito B “Razão área envidraçada / área útil do compartimento” pressupõe a utilização de dispositivos de protecção, caso contrário, o nível de qualidade terá que ser reduzido em função nível de qualidade obtido para o requisito D “Factor solar dos vãos envidraçados” (se o nível de qualidade de D for igual ou superior a 3, o nível máximo de qualidade que pode ser atribuído a B passa a ser 2).
7. O requisito C “Factor solar do vidro ( $g_{\perp v}$ )” pressupõe a utilização de dispositivos de protecção para valores de  $g_{\perp v}$  superiores a 0,56 para os edifícios localizados nas zonas climáticas  $V_1$  e  $V_2$  e superiores a 0,50 nas zona climática  $V_3$  (para inércia térmica média ou forte), caso contrário, o nível máximo de qualidade terá que ser ajustado de acordo com a zona climática correspondente.
8. O nível de qualidade obtido para o requisito D “Factor solar dos vãos envidraçados” pressupõe a utilização de uma inércia térmica média ou forte, caso a inércia térmica do compartimento seja fraca ao nível de qualidade obtido deve ser reduzido um ponto.

**Linha de Orientação:***i: Factor Solar do Vidro.*

O Factor solar do vidro ( $g_{\perp v}$ ) é o valor que representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado, sem qualquer protecção solar.

*ii: Factor Solar de Alguns Tipos de Protecções Solares.*

O Factor Solar dos vãos envidraçados ( $g_{\perp}$ ) permite quantificar os efeitos da radiação solar, indicando a fracção da energia solar que efectivamente penetra para o interior dos compartimentos (trata-se do factor do conjunto vidro mais a protecção solar 100% activa. O  $g_{\perp}$  permite também quantificar a eficácia térmica de um



determinado dispositivo de protecção. Quanto maior for o  $g_{\perp}$  de um determinado dispositivo de protecção, maiores os ganhos térmicos e consequentemente menor é a sua eficácia no Verão. Inversamente, quanto menor for o  $g_{\perp}$  maior é a sua eficácia.

### Informação Complementar:

A radiação solar alcança as superfícies exteriores de um edifício de forma directa, difusa e reflectida e penetra no interior através dos elementos transparentes. Em geral, a radiação incidente varia com a latitude geográfica, altura acima do nível do mar, das condições atmosféricas gerais, do dia do ano e da hora do dia. Para uma dada superfície, a radiação incidente varia com a orientação e com o ângulo que a superfície faz com o plano horizontal.

As superfícies verticais que estão orientadas a Sul recebem a maior quantidade da radiação durante todo o Inverno. Para as orientações a Sudeste e a Sudoeste, a radiação diminui aproximadamente em 20% durante a estação de aquecimento. Entretanto, durante o Verão, as superfícies Este e a Oeste pode receber mais radiação solar do que as superfícies verticais orientadas a Sul. Isto pode conduzir ao sobreaquecimento devido à dificuldade em proteger estas superfícies de uma localização mais baixa do sol no horizonte.

O caixilho reduz a área de envidraçado, o que traduz uma redução da transmissão da energia solar, no RCCTE [1] a relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado é denominada por fracção envidraçada ( $F_g$ ).

As aberturas horizontais são as mais expostas à radiação solar directa no Verão, justificando atenção particular no controlo dos ganhos solares. Durante os períodos de Inverno a exposição pode ser considerada equivalente às das orientações Nascente e Poente.

No Inverno as janelas orientadas a Sul têm um balanço positivo em dias ensolarados, mas dentro de determinados limites. Além de uma determinada dimensão da janela, a rentabilidade dos ganhos solares diminui, e aumentam as perdas térmicas, porque o vidro tem pouco poder de isolamento. A Este, Oeste e a Norte as janelas perdem mais energia do que ganham, em resumo, um balanço equilibrado deve ser ponderado entre ganhos solares úteis e perdas por condução.

Nos edifícios os dispositivos de sombreamento podem ter de desempenhar várias funções, como sejam: i) a protecção contra os ganhos solares, ii) o controlo do encandeamento, iii) o controlo e modelação da iluminação natural, iv) a possibilidade de obscurecimento e de ocultação, v) a garantia de privacidade, vi) a possibilidade de contacto com o exterior, entre outras.

### Referências:

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto – Fundação Gomes Teixeira, Projecto REDENE. Rede de Edifícios Energeticamente Eficientes. Conceitos e Orientações, 2000.
- Gonçalves, H.; Graça, J., “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”, INETI, Lisboa, 2004.
- Moreira da Costa, J., “Métodos de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação”, Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1995.
- Energy Comfort 2000. [Consult. 03 Janeiro 2005]. Disponível em <http://www.erg-ucd.ei>.
- Pinto, A., “Componentes de edifícios. Características e dimensionamento térmico de vãos envidraçados”, LNEC, Lisboa, 2006. Relatório NCI.
- Santos, António J., “A Iluminação Natural e A Iluminação Artificial - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.

## FA CBE 1.4

## CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios

## CBE 1 – Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento

## Indicador de Qualidade: CBE 1.4 – Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

## Objectivo:

Controlar as características dos elementos da envolvente opaca exterior em função da sua orientação e inclinação em relação à intensidade da radiação solar e à acção do vento e ao mesmo tempo garantir uma estética agradável. Especificar tipo de acabamentos, quando necessário, para evitar a degradação dos elementos estruturais e a reflexão para os edifícios vizinhos.

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Características estruturais das paredes exteriores <sup>(1)</sup></b>
4	Todas as paredes de fachada respeitam as espessuras recomendadas.
2	As paredes de fachada exposta à radiação solar respeitam as espessuras recomendadas.
0	As paredes de fachada não respeitam as espessuras recomendadas.
	<b>B – Ventilação das coberturas <sup>(2)</sup></b>
4	As coberturas inclinadas são ventiladas sob o revestimento.
1	As coberturas inclinadas são deficientemente ventiladas sob o revestimento.
0	Os elementos de projecto não referem nada sobre a ventilação das coberturas inclinadas.
	<b>C – Cor da superfície exterior da envolvente opaca exterior <sup>(3)</sup></b>
4	$\alpha = 0,4$
3	$0,50 \leq \alpha < 0,40$
2	$0,80 < \alpha < 0,50$
1	$\alpha = 0,8$
0	$\alpha > 0,8$
	<b>D – Protecção das superfícies exteriores da envolvente com vegetação <sup>(4)</sup></b>
4	Está prevista protecção durante a estação de arrefecimento.
2	Não está prevista protecção durante a estação de arrefecimento.
1	Não está prevista no projecto qualquer tipo de protecção com vegetação.

(1) O RCCTE indica as espessuras mínimas recomendadas para paredes de fachada com isolamento térmico, para a determinação dos valores de  $\psi$  para as pontes térmicas lineares.

(2) A ventilação sob o revestimento, contribui para a dissipação das temperaturas elevadas que aí se verificam no Verão e a dissipação da humidade no Inverno, por isso, uma eficiente ventilação do desvão será aconselhável, dependem da constituição das águas da cobertura.

(3) O RCCTE indica o coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) solar da superfície exterior de protecção em função da cor.

(4) Protecção das superfícies exterior das fachadas mais exposta à radiação solar, no Verão, com vegetação.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente as características, a orientação das fachadas.
2. Os elementos escritos devem conter informação suficiente para determinar o valor do coeficiente de absorção solar da superfície exterior da protecção.

**Linha de Orientação:**

*i: Espessuras mínimas recomendadas para as paredes de fachada com isolamento Térmico [88].*

**Quadro 4.18** - Espessuras mínimas recomendadas para as paredes de fachada com isolamento Térmico [88].

<b>Envolvente opaca exterior</b>	<b>Tijolo (cm)</b>	<b>Betão (cm)</b>	<b>Blocos (cm)</b>
<i>Paredes simples: isolamento interior</i>	22	15-20	25
<i>Paredes simples: isolamento exterior</i>	22	15-20	20
<i>Parede dupla: espessura do pano exterior</i>	15	15	20

*li: Cor da superfície exterior da protecção solar [1].*

**Quadro 4.19** - Cor da superfície exterior da protecção solar [1].

<b>Cor da protecção</b>	<b>Clara</b>	<b>Média</b>	<b>Escura</b>
Coeficiente de absorção solar da superfície exterior de protecção ( $\alpha$ )	0,4	0,5	0,8
Cor	Branco Creme Amarelo Laranja Vermelho-claro	Vermelho-escuro Verde-claro Azul-claro	Castanho Verde-escuro Azul-vivo Azul-escuro Preto

**Informação Complementar:**

A radiação solar alcança as superfícies exteriores de um edifício de forma directa penetra no interior através dos elementos opacos durante a estação de arrefecimento. Em geral, a radiação incidente varia com a latitude geográfica, altura acima do nível do mar, das condições atmosféricas gerais. Para uma dada superfície, a radiação incidente varia também com a orientação e com o ângulo que a superfície faz com o plano horizontal.

A ventilação do espaço de ar entre o revestimento e a estrutura das coberturas é fundamental para garantir a durabilidade dos materiais e as condições de conforto no Verão.

As coberturas sobre desvãos não habitados (acessíveis ou não) devem ser fortemente ventiladas, para garantir a durabilidade dos materiais e as condições de conforto no Verão.

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Freitas, V; Silva, M., "Metodologia para a definição exigencial de isolamento térmico", NIT 001, LFC, FEUP, 1997.
- Francisco, M., "Energia Solar Passiva" (Volume 1 e 2), Direcção-Geral da Energia, Imprensa Nacional – Casa da Moeda, Lisboa, 1987.

## FA CBE 1.5

## CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios

## CBE 1 – Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento

## Indicador de Qualidade: CBE 1.5 – Elementos Especiais da Envolvente

**Objectivo:**

Controlar a área e as características dos sistemas especiais de captação de energia solar para aquecimento (parede de Trombe, paredes de água e estufa), caso estejam previstos, em função da utilização dos espaços que protegem e da disponibilidade da radiação solar, da acção do vento e da necessidade de iluminação natural. Especificar dispositivos de protecção e de sombreamento, quando necessário, para evitar o sobreaquecimento e favorecer a circulação do ar nos elementos especiais da envolvente, caso sejam previstos.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Orientação do sistema especial de captação <sup>(1)</sup></b>
4	O sistema está orientado a Sul.
3	O sistema está orientado no Octante Sul.
2	O sistema está orientado a Oeste.
1	O sistema está orientado a Este.
0	Não se verifica nenhuma das condições anteriores.
	<b>B – Constituição do sistema especial de captação <sup>(2)</sup></b>
4	Os constituintes do sistema especial de captação foram correctamente projectados e dimensionados.
1	O sistema especial de captação apenas aparece representado nos elementos desenhados ou apenas é referido nos elementos escritos.
0	Não se verifica nenhuma das condições anteriores.
	<b>C – Dispositivos de circulação de ar <sup>(3)</sup></b>
4	Estão previstas aberturas de ventilação reguláveis.
1	Estão previstas aberturas de ventilação não reguláveis.
0	Não estão previstas aberturas de ventilação.
	<b>D – Dispositivos de protecção da radiação solar no Verão <sup>(4)</sup></b>
4	Está prevista protecção com vegetação.
3	Está prevista a aplicação de dispositivos de protecção móvel pelo exterior.
2	Está prevista a aplicação de dispositivos de protecção fixa pelo exterior.
1	Está prevista a aplicação de dispositivos de protecção pelo interior, caso seja possível.
0	Não se verifica nenhuma das condições anteriores.

(1) Para que o sistema especial de captação desempenhe a sua função tem que captar a maior quantidade de energia proveniente da radiação solar durante a estação de aquecimento.

(2) O sistema especial de captação para funcionar correctamente é essencial que os seus componentes sejam bem projectados e dimensionados. No caso da parede de Trombe devem ser indicadas as características do vidro a aplicar no exterior, da câmara-de-ar e do elemento confinador.

(3) Para que os elementos especiais de captação contribuam para a obtenção de condições de conforto tanto de Inverno como de Verão, têm que ser providos de aberturas para ventilação.

(4) Durante o Verão o sistema especial de captação deve ser protegido da radiação solar, essa protecção pode ser feita recorrendo a vegetação (provoca o sombreamento e permite a entrada de ar fresco), dispositivos de sombreamento e protecção móveis ou fixos.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto referentes às características, a orientação do(s) sistema(s) especial(is) de captação, e localização e características dispositivos de circulação de ar e dos dispositivos de sombreamento e protecções solares.
2. Os elementos desenhados (desenhos de pormenor) devem conter informação suficiente para verificar as características dos componentes do(s) sistema(s) especial(is) de captação: parede de Trombe (tipo de vidro no exterior, dimensões da câmara-de-ar e tipo e espessura do elemento confinador); estufa (tipo de vidro, tipo de estrutura e características da envolvente e tipo de ligação com os compartimento adjacentes).
3. O nível de qualidade global para este Indicador é condicionado pelo nível de qualidade mais baixo obtido em todos os Requisitos.
4. O nível de qualidade para este Indicador é igual a 0 no caso de não serem aplicados elementos especiais de captação ou se não forem devidamente justificados de acordo com o RCCTE.

**Linha de Orientação:***i: Constituição da Parede de Trombe*

A parede de Trombe é composta essencialmente por um pano simples ou duplo de vidro no exterior, orientado a Sul, uma câmara-de-ar e um elemento confinador. O elemento confinador é um pano de parede com grande espessura e densidade, geralmente em betão armado, pedra ou adobe, e apresenta o paramento exterior pintado de cor escura. As suas duas funções são a captação e acumulação de energia proveniente da radiação solar. Numa parede de Trombe corrente, o elemento confinador apresenta uma espessura na gama dos 200 aos 400 mm. A espessura do elemento é definida de modo a que o calor não chegue ao espaço interior por condução durante as horas de sol, mas que permita que tal aconteça a partir do momento em que o sol se põe. Numa parede de Trombe com elemento confinador de 400 mm, o calor só chega por condução ao paramento interior passadas 8 a 10 horas após o início do armazenamento de calor, o vidro deve ser colocado afastado cerca de 20 a 150 mm do elemento confinador de modo a criar uma pequena caixa-de-ar (NREL - National Renewable Energy Laboratory, USA).

**Informação Complementar:**

No elemento confinador são efectuadas aberturas de ventilação, tanto na parte inferior como superior, para permitir a circulação de ar através da caixa-de-ar. Assim, a caixa-de-ar é utilizada para a passagem de correntes de ar que aquecerão por convecção o espaço interior mais rapidamente.

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Gonçalves, H.; Graça, J., "Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal", INETI, Lisboa, 2004.
- Greenbuilding, Green Building Challenge Framework – GBTool. [Consult. 09 Julho 2004]. Disponível em <http://www.geenbuilding.ca>.
- Mateus, R.; Bragança L., "Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção", PROMETEU, Edições Ecopy, Porto, 2006.
- Mendonça, P., "Habitar Sob uma Segunda Pele", Tese de Doutoramento, UM, Guimarães, 2005.

## FA CBE 2.1

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

## CBE 2 – Armazenamento Térmico

Indicador de Qualidade: CBE 2.1 - Inércia Térmica

**Objectivo:**

A concepção da envolvente opaca de um compartimento (paredes, pavimento e tecto) deverá favorecer o armazenamento dos ganhos solares no interior e de modo a dificultar as perdas para o exterior, no Inverno, e favorecer a dissipação do calor em excesso, no Verão, em função da orientação e da utilização dos compartimentos.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação		
	<b>A - Massa superficial útil (<math>M_{si}</math>) do elemento construtivo</b> <sup>(1) (2)</sup>		
	EL1 <sup>(3)</sup>	EL2 <sup>(4)</sup>	EL3 <sup>(5)</sup>
<b>4</b>	$M_{si} = 150 \text{ kg/m}^2$	$M_{si} = 150 \text{ kg/m}^2$	$200 < M_{si} \leq 300 \text{ kg/m}^2$
<b>3</b>	$100 \leq M_{si} < 150 \text{ kg/m}^2$	$100 \leq M_{si} < 150 \text{ kg/m}^2$	$200 \leq M_{si} < 300 \text{ kg/m}^2$
<b>2</b>	$100 \leq M_{si} < 150 \text{ kg/m}^2$	$100 \leq M_{si} < 150 \text{ kg/m}^2$	$100 \leq M_{si} < 200 \text{ kg/m}^2$
<b>1</b>	$0 < M_{si} < 100 \text{ kg/m}^2$	$0 < M_{si} < 100 \text{ kg/m}^2$	$100 < M_{si} < 200 \text{ kg/m}^2$
<b>0</b>	$0 < M_{si} < 100 \text{ kg/m}^2$	$0 < M_{si} < 100 \text{ kg/m}^2$	$0 < M_{si} < 100 \text{ kg/m}^2$
	<b>B - Resistência térmica do revestimento superficial (<math>R</math>)</b> <sup>(2) (6)</sup>		
	EL1 <sup>(3)</sup>	EL2 <sup>(4)</sup>	EL3 <sup>(5)</sup>
<b>4</b>	$R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$
<b>3</b>	$0,14 \leq R \leq 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$
<b>2</b>	$0,14 \leq R \leq 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$R \geq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ (1 face)
<b>1</b>	$0,14 \leq R \leq 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$0,14 \leq R \leq 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$R \geq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ (1 face)
<b>0</b>	$0,14 \leq R \leq 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$0,14 \leq R \leq 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$	$R \geq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ (2 faces)
	<b>C – Distribuição da massa superficial útil em função da orientação dos compartimentos</b> <sup>(7)</sup>		
<b>4</b>	Compartimentos com vãos envidraçados orientados no Octante Sul superior ou igual 50%.		
<b>3</b>	Compartimentos com vãos envidraçados orientados no Octante Sul entre 25% e 50%.		
<b>2</b>	Compartimentos com vãos envidraçados orientados nos Octantes Este e Oeste superior ou igual 50%.		
<b>1</b>	Compartimentos com vãos envidraçados orientados no Octante Oeste superior ou igual 50%.		
<b>0</b>	Compartimentos com vãos envidraçados orientados no Octante Norte superior a 50%.		
	<b>D - Inércia térmica interior (<math>I_i</math>)</b> <sup>(2) (8)</sup>		
<b>4</b>	$I_i > 400 \text{ kg/m}^2$		
<b>2</b>	$150 \leq I_i \leq 400 \text{ kg/m}^2$		
<b>0</b>	$I_i < 150 \text{ kg/m}^2$		

(1) No caso dos elementos construtivos que possuem isolamento térmico, considera-se somente a massa térmica situada do lado interior ao isolante térmico.

(2) O valor da massa superficial útil ( $M_{si}$ ) e da resistência térmica do revestimento superficial ( $R$ ) pode ser determinado compartimento a compartimento, sendo o valor da Inércia térmica interior ( $I_i$ ) obtido pelo somatório de todos os compartimentos dividida pela área útil do pavimento ( $A_p$ ).

(3) EL1: elemento da envolvente exterior, elemento do compartimento em contacto com outra fracção autónoma ou com espaços não úteis.

(4) EL2: elementos em contacto com o solo.

(5) EL3: elementos interiores do edifício (paredes divisórias, pavimentos interiores).

(6) A massa superficial útil pode ser reduzida em função da resistência térmica do revestimento superficial interior ( $R$ ) ( $r$  – factor de correcção). Para EL1 e EL2,  $r = 0,5$  se  $0,14 \leq R \leq 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , para EL3  $r = 0,75$  ou  $0,50$  se  $R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  numa ou nas duas faces, respectivamente.

(7) A distribuição da massa superficial útil tendo em consideração a orientação do edifício e os ganhos solares.

(8) Determinação da inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma [1], considerando a massa superficial útil de todos os elementos da envolvente e a área útil de pavimento, para definir a classe de inércia do edifício de acordo com a *Linha de Orientação iv*.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto relativamente à orientação dos compartimentos, às características dos elementos construtivos em função do tipo de utilização.
2. Os elementos escritos e desenhados devem conter informação suficiente para determinar o valor da massa superficial útil ( $M_{si}$ ) e a determinação da resistência térmica do revestimento superficial ( $R$ ) dos elementos da envolvente por compartimento e a determinação da inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma ( $I_t$ ).
3. Para a avaliação dos requisitos A e B, o valor da massa superficial útil e o valor da resistência superficial deve ser verificado em pelo menos 90% dos compartimentos, utilizando o quadro 4.20.
4. O nível de qualidade do requisito C “Relação massa superficial útil e orientação dos compartimentos” condiciona o nível qualidade obtido pelos requisitos A e B.

**Linha de Orientação:***i: Noção de Massa Útil*

A massa superficial útil ( $M_{si}$ ) de cada elemento de construção interveniente na inércia térmica é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e das características das estratégias de isolamento térmico e das características térmicas do revestimento superficial interior [1].

*ii: Noção de Isolante Térmico*

Isolante térmico: material de condutibilidade térmica inferior a 0,065 W/m.°C, com uma espessura que conduza a uma resistência térmica superior a 0,30 m<sup>2</sup>.°C/W.

*iii: Cálculo da Inércia Térmica Interior*

A inércia térmica interior ( $I_t$ ): a massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, é calculada pela seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} r S_i}{A_p}$$

em que:

$M_{si}$  – massa superficial do elemento  $i$  (kg/m<sup>2</sup>);

$r$  – factor de correcção

$S_i$  – área da superfície interior do elemento  $i$  (m<sup>2</sup>);

$A_p$  – área útil do pavimento (m<sup>2</sup>).

**Quadro 4.20** - Exemplo de um quadro para calcular a inércia térmica interior ( $I_t$ ), por compartimento, adaptado de [1].

Elemento de construção			$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	Factor de correcção ( $r$ )	$M_{si} r S_i$ (kg)
Compartimento N°:	Apavimento [Apav.(m <sup>2</sup> )]	Pé direito (m)	Área envidraçada [Aenv.(m <sup>2</sup> )]		Orientação	(Aenv./Apav.) %
EL1	Laje de tecto					
	Laje de pavimento					
	Paredes da envolvente exterior					
	Paredes da envolvente interior					
EL2	Paredes enterradas					
	Pavimentos enterrados					
EL3	Paredes interiores					
	Pavimentos interiores					
<b>Total</b>		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =		$M_{si} r S_i$ (kg)=	

*iv: Classes de Inércia Térmica Interior*

De acordo com o RCCTE, a partir do valor da inércia térmica interior ( $I_t$ ), para um edifício, definem-se três classes de inércia de acordo com o quadro 2 [1].

**Quadro 4.21** - Classes de inércia térmica interior ( $I_t$ ) [1].

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento ( $\text{kg/m}^2$ )
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

**Informação Complementar:**

Para os compartimentos com ganhos solares significativos, com vãos envidraçados orientados no Quadrante Sul, pretende-se uma massa superficial útil elevada, para os compartimentos com ganhos solares reduzidos, com vãos envidraçados orientados no Quadrante Norte, pode ser útil obter no mínimo uma massa superficial útil média (uma massa superficial útil baixa pode levar ao sobreaquecimento no Verão, para estes compartimentos).

O modo como se distribui a massa dos elementos opacos, ao longo da sua secção transversal, influencia apreciavelmente a eficiência térmica do edifício, tanto na situação de Inverno como na de Verão. Com efeito, quanto maior for a massa de um elemento de construção, maior será a sua capacidade de armazenar energia térmica [9]. Deste modo, conceber um elemento opaco (parede, pavimento e tecto) que posicione os elementos de maior massa do lado interior do isolamento térmico favorece os objectivos a atingir nas duas estações:

- na situação de Inverno, nos compartimentos com vãos envidraçados orientados no Quadrante Sul e nos compartimentos com fontes de aquecimento no seu interior, em que o objectivo principal será dificultar as perdas para o exterior, colocar os elementos de maior massa em contacto com o ar interior aquecido irá permitir uma maior recuperação da energia dispendida. O isolamento térmico, situado imediatamente a seguir a estes elementos, dificulta as trocas térmicas para o exterior havendo, deste modo, uma radiação diferida para o interior, amortecendo o efeito do abaixamento de temperatura após ser desligado o aquecimento, e permitindo que as condições de conforto se mantenham por mais algum tempo;
- na situação de Verão, encontram-se os elementos de menor massa voltados para o exterior e à radiação solar, agora pelas mesmas razões, mas em sentido inverso, terão mais dificuldade em armazenar energia e em transmitir o calor por condução para o interior do edifício, evitando deste modo o sobreaquecimento.

Na concepção de paredes duplas, com isolamento na caixa-de-ar, sob esta perspectiva não se deverá esquecer que o pano exterior ao isolamento térmico necessita possuir estabilidade estrutural e aos próprios choques térmicos, pelo que utilizar, por exemplo, tijolo furado de espessura inferior a 0,15 m levantará outro tipo de problemas. Mais uma vez, trata-se, obviamente, de encontrar uma solução de compromisso.

Uma inércia térmica forte é positiva em relação ao conforto acústico, quanto maior for a massa de armazenamento menor será a transmissão dos sons.

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Gonçalves, H.; Graça, J., "Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal", INETI, Lisboa, 2004.



## FA CBE 3.1

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

## CBE 3 – Conservação da Energia

Indicador de Qualidade: CBE 3.1 – Forma do Edifício

**Objectivo:**

Conceber a forma do edifício em planta e em altura, recorrendo também a protecções interiores, espaços tampão ou elementos em contacto com o solo de modo a otimizar o acesso à radiação solar e minimizar a exposição aos ventos frios no Inverno, para reduzir as perdas de calor.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A - Factor de forma</b> <sup>(1) (2)</sup>
4	$FF < 0,5$
3	$0,5 \leq FF < 1$
2	$1 \leq FF < 1,5$
1	$FF \geq 1,5$
0	$FF \geq 1,5$ e tem perdas térmicas consideráveis por elementos em contacto com o solo.
	<b>B - Tipo e orientação da cobertura</b> <sup>(3)</sup>
4	Cobertura em terraço ou cobertura inclinada com uma vertente orientada a Sul.
3	Cobertura inclinada com uma vertente, com desvio inferior a $\pm 15^\circ$ à orientação Sul.
2	Cobertura inclinada com uma vertente orientada no Octante Sul.
1	Cobertura inclinada sem vertente orientada no Octante Sul.
	<b>C - Utilização de espaços tampão</b> <sup>(4)</sup>
4	$0 \leq \tau < 0,3$
3	$0,3 \leq \tau < 0,6$
2	$0,6 \leq \tau < 0,7$
1	$0,7 \leq \tau < 1,0$
0	$\tau = 1,0$

(1) No RCCTE os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ) de uma fracção autónoma dependem dos valores do factor de forma ( $FF$ ) e dos graus-dias ( $GD$ ) do clima local.

(2) Como segundo o RCCTE os elementos em contacto com o solo não são considerados no cálculo do factor de forma, podem ter um contributo muito importante nas perdas térmicas, principalmente se for um pavimento ao nível do terreno.

(3) A forma da cobertura vai condicionar o acesso à radiação solar da envolvente exterior do edifício e dos edifícios adjacentes, e a acção do vento. Vai também condicionar a instalação e o desempenho dos sistemas solares activos para AQS (painéis solares).

(4) A utilização de espaços tampão, protecção com terra e elementos de construção comuns, é uma forma de reduzir as perdas de calor durante a estação de aquecimento e de reduzir os ganhos no Verão.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto referentes à configuração do edifício em planta e em altura, a forma e a orientação da cobertura e a localização e as características dos espaços tampão ou dos elementos em contacto com o solo.
2. Os elementos desenhados devem conter informação suficiente para determinar o valor do factor de forma ( $FF$ ), áreas da envolvente exterior ( $A_{ext}$ ) e interiores ( $A_{int}$ ) do edifício ou fracção autónoma com exigências térmicas e o respectivo volume interior ( $V$ ) correspondente, conforme a fórmula indicada no RCCTE [1]:
3. Os elementos desenhados devem conter informação suficiente para determinar os valores de  $A_i/A_u$  para obter valor do coeficiente  $\tau$ . O valor de verificação será obtido pela média ponderada dos vários tipos de espaços não úteis,  $\tau = \sum (A_i \cdot \tau) / \sum A_i$ .

**Linha de Orientação:****i: Factor de Forma ( $FF$ )**

A área da superfície da envolvente exterior tem um papel importante na determinação da forma do edifício. As perdas térmicas são proporcionais à área da superfície da envolvente, quanto mais compacto for o edifício, factor de forma “ $FF$ ” mais baixo, menores serão as perdas térmicas. O factor de forma “ $FF$ ” é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior ( $A_{ext}$ ) e interiores ( $A_{int}$ ) do edifício ou fracção autónoma com exigências térmicas e o respectivo volume interior ( $V$ ) correspondente, conforme a fórmula indicada em [1]:

$$FF = [A_{ext} + \sum (\tau A_{int})_i] / V$$

**ii: Determinação do Valores do Coeficiente  $\tau$** 

O valor do coeficiente  $\tau$ , representa a relação entre a temperatura dos espaços aquecidos e a temperatura dos espaços não aquecidos, e é determinado em função do tipo de espaço não útil e da relação entre a área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil ( $A_i$ ) e a área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior ( $A_u$ ).

**Quadro 4.22 – Valores do coeficiente  $\tau$  [1].**

Tipo de Espaço não Útil	$A_i/A_u$ (1)		
	De 0 a 1	De 1 a 10	Maior que 10
1 - Circulação comum			
1.1 - Sem abertura directa para o exterior	0,6	0,3	0
1.2 - Com abertura permanente para o exterior (por exemplo, para ventilação e desenfumagem):			
a) Área de abertura permanente/volume total $< 0,05 \text{ m}^2/\text{m}^3$	0,8	0,5	0,1
b) Área de abertura permanente/volume total $\geq 0,05 \text{ m}^2/\text{m}^3$	0,9	0,7	0,3
2 - Espaços comerciais	0,8	0,6	0,2
3 - Edifícios adjacentes	0,6	0,6	0,6
4 - Armazéns	0,95	0,7	0,3
5 - Garagens:			
5.1 - Privada	0,8	0,5	0,3
5.2 - Colectiva	0,9	0,7	0,4
5.3 - Pública	0,95	0,8	0,5
6 - Varandas, marquises e similares (2)	0,8	0,6	0,2
7 - Coberturas sobre desvão não habitado (acessível ou não) (3):			
7.1 - Desvão não ventilado	0,8	0,6	0,4
7.2 - Desvão fracamente ventilado	0,9	0,7	0,5
7.3 - Desvão fortemente ventilado		1	
(1) $A_i$ - área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil. $A_u$ - área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior. (2) Corresponde aos espaços do tipo varandas e marquises fechadas, ou equivalentes, em que a envolvente de separação com os espaços aquecidos deve satisfazer, obrigatoriamente, os requisitos mínimos de coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) definidos no anexo IX do RCCTE. (3) Os valores de $\tau$ indicados neste ponto aplicam-se aos desvãos não habitados (não úteis) de cobertura inclinadas, acessíveis ou não. No caso de desvãos acessíveis, estes podem não ter qualquer uso ou ser utilizados, nomeadamente, como zona de arrecadações ou espaços técnicos. A caracterização a ventilação baseia-se nas definições que constam do anexo II do RCCTE.			

---

**Informação Complementar:**

Tem que existir uma conjugação da forma com a orientação do edifício, uma compensação entre uma forma compacta que minimize a transferência por condução de calor através da envolvente e uma forma que facilite a iluminação natural, os ganhos solares e a ventilação natural. O edifício mais compacto teria a forma de um cubo e teria menos perdas e ganhos através da envolvente do edifício. Entretanto, a não ser nos edifícios quadrados mais pequenos, a maior parte da área de pavimento do edifício está longe da iluminação natural do seu perímetro. Um edifício que optimize a iluminação natural e a ventilação natural terá uma configuração de modo a que maior área de pavimento fique perto do seu perímetro.

Uma outra consideração relativamente à energia que se relaciona com a orientação é a intensidade e a velocidade do vento no local. Uma forma em planta mais recortada com grandes vãos envidraçados em fachadas opostas pode ser uma boa estratégia para o arrefecimento por ventilação natural no Verão. As brisas podem realçar a ventilação natural, mas podem também aumentar a necessidade de aquecimento no Inverno.

No caso de plantas com configurações irregulares, em L e em U, com cruzamentos de secções complicados (reentrâncias e saliências), deve-se ter em consideração que todas as junções formadas entre os elementos do edifício em diferentes planos podem causar sombreamento, pontes térmicas e infiltrações de ar devidas a perturbações na direcção do vento. De preferência orientar o edifício em relação aos ventos dominantes com uma forma exterior convexa, porque a reflexão da pressão do vento na superfície de um edifício circular diminui mais rapidamente do que num plano ou em forma de U. Em alguns casos, a forma em L, a forma em U e outras formas irregulares podem ser adoptadas para razões de privacidade, ou com o objectivo de inserir uma estufa “Espaço Tampão” integrado num piso do edifício. A projecção das saliências dessas formas podem provocar o sombreamento, mas as pequenas saliências bem orientadas ou dimensionadas com um cuidado especial no projecto pode aliviar esse problema.

A utilização de espaços tampão, protecção com terra e elementos de construção comuns, é uma maneira de reduzir as perdas de calor durante a estação de aquecimento e de reduzir os ganhos no Verão. Os “espaços tampão” são espaços do edifício não aquecidos, tais como: arrumos, garagens, etc. e espaços sem grandes exigências térmicas: circulações. Em paredes exteriores sem ganhos solares (por exemplo, viradas a Norte), as perdas térmicas podem ser reduzidas recorrendo à utilização dos “espaços tampão” ou à protecção de terra. Nos edifícios enterrados procura tirar-se partido a pequena variação de temperatura que se verifica a certa profundidade do solo, quer ao longo do dia quer ao longo do ano podendo assim beneficiar-se, quer em condições de Inverno, quer em condições de Verão, de condições de conforto com baixos custos energéticos.

Para aumentar a contribuição dos espaços tampão, os elementos da sua envolvente devem ter as mesmas características que os elementos comuns que envolvem os espaços aquecidos, isto é, também devem ser isoladas.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Gonçalves, H.; Graça, J., “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”, INETI, Lisboa, 2004.
- Arquitectura Bioclimática. [Consult. 02 Março 2005]. Disponível em <http://www.geocities.com/mleandror/indeccl.htm>.
- GreenBuilding – ADENE [Consult. 03 Março 2006]. Disponível em <http://www.adene.pt>.

## FA CBE 3.2

## CPE – Concepção Passiva de Edifícios

## CPE 3 – Conservação da Energia

## Indicador de Qualidade: CBE 3.2 – Iluminação Natural em Edifícios

## Objectivo:

Proporcionar um adequado ambiente interior luminoso com a utilização da iluminação natural e reduzir a necessidade de energia para a iluminação em função da localização, das características geométricas do edifício e dos compartimentos, da orientação e características das janelas, das características e localização das obstruções exteriores e das características do revestimento da sua envolvente.

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A - Factor de Luz do dia Médio (FLDM) <sup>(1)</sup></b>
4	FLDM > 5 %
3	2 % < FLDM ≤ 5 %
2	1 % < FLDM ≤ 2 %
1	0,5 % < FLDM ≤ 1 %
0	FLDM ≤ 0,5 %
	<b>B - Vista do céu <sup>(2)</sup></b>
4	Todos os compartimentos com ocupação permanente (cozinha, sala de jantar, quartos e escritórios) têm vista do céu no plano de trabalho, localizado a 3/4 da sua profundidade.
3	Mais de 50% dos compartimentos com ocupação permanente (cozinha, sala de jantar, quartos e escritórios) têm vista do céu no plano de trabalho, localizado a 3/4 da sua profundidade.
2	Mais de 50% dos compartimentos com ocupação permanente (cozinha, sala de jantar, quartos e escritórios) têm vista do céu no plano de trabalho, localizado a metade da sua profundidade.
1	Menos de 50% dos compartimentos com ocupação permanente (cozinha, sala de jantar, quartos e escritórios) têm vista do céu no plano de trabalho, localizado a metade da sua profundidade.
	<b>C - Critério da limitação da profundidade <sup>(3)</sup></b>
4	Todos os compartimentos com ocupação permanente (cozinha, sala de jantar, quartos e escritórios) comprem o critério.
3	75 % dos compartimentos com ocupação permanente (cozinha, sala de jantar, quartos e escritórios) comprem o critério.
2	50 % dos compartimentos com ocupação permanente (cozinha, sala de jantar, quartos e escritórios) comprem o critério.
1	25 % dos compartimentos com ocupação permanente (cozinha, sala de jantar, quartos e escritórios) comprem o critério.

(1) Factor de Luz do dia Médio (FLDM) deve ser verificado em compartimento com ocupação permanente (cozinha, sala de estar e jantar, quartos e escritórios). O cálculo do FLDM deve tomar em consideração os seguintes aspectos: i) condições de nebulosidade do céu (Céu Encoberto-Padão da CIE); ii) características geométricas do edifício e dos compartimentos; iii) dimensão, forma, localização, orientação e características de transmissão da luz dos vãos envidraçados; iv) características reflectométricas e dimensões das obstruções exteriores e v) características reflectométricas das superfícies interiores.

(2) A vista do céu é delimitada pela linha de ocultação do céu que divide as áreas no plano de trabalho, as recebem directamente a luz natural, daquelas que não recebem. Para que se possa fazer uma análise cuidada é necessário representar nas peças desenhadas a localização e a altura de possíveis obstruções, quer as existentes quer as previstas para o local.

(3) As condições de iluminação natural de um determinado compartimento serão tanto melhores nas zonas afastadas dos vãos envidraçados se a profundidade do compartimento não deve ser muito superior à sua largura, a profundidade do compartimento não for muito superior à altura da janela (relação entre 1:1,5 e 1:2).

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente as características, a orientação e a área dos vãos envidraçados, o tipo de vidro, a profundidade dos compartimentos contíguos, as características dos dispositivos de obstrução.
2. O Factor de Luz do Dia Médio (FLDM) deve ser verificados de acordo com as *Linha de orientação ii a ii*, para todos os compartimentos com ocupação permanente, sendo o valor de comparação obtido por uma média ponderada em relação às áreas das superfícies interiores,  $FLDM(\%) = \Sigma (FLDM A_s) / \Sigma (A_s)$ , o valor mínimo deverá que ser superior ou igual ao valor indicado no quadro 4.23, caso contrário, ao nível de desempenho obtido diminui-se um ponto.
3. Para a verificação do critério da “Vista do Céu”, de acordo com as *Linha de orientação iii*, é necessário que os elementos desenhados do projecto indiquem a localização, a altura e as características de possíveis obstruções existentes ou previstas. Caso o projecto não forneça essa informação teremos fazer a verificação apenas com a localização no espaço urbano de acordo com o que está definido no RCCTE (edifícios em ambiente urbano ou isolados fora das zonas urbanas).
4. Para a verificação do critério da limitação da profundidade (L) do compartimento é verificada com a seguinte condição:

$$\frac{L}{W} + \frac{L}{h} \leq \frac{2}{(1 - R)}$$

em que:

L = profundidade do compartimento;

W = largura do compartimento;

h = altura do limite superior da janela, medida a partir do pavimento (interior)

R = reflectância média “ponderada” das superfícies da metade do compartimento mais afastada do vão envidraçado (R = 0,5 valor de referência).

**Linha de Orientação:***i: Cálculos do Factor de Luz do Dia Médio (FLDM)*

Para o cálculo do factor de luz do dia médio nos compartimentos com janela lateral ou clarabóias pode ser utilizada a expressão seguinte:

$$FLDM(\%) = K_o \frac{A_v T_v \theta}{A_s (1 - R^2)}$$

FLDM - é o Factor de Luz do Dia Médio no plano de trabalho (0,85 m acima do pavimento), expresso em percentagem;

K<sub>o</sub> - é um factor de correcção que inclui o efeito da sujidade nos vidros;

A<sub>v</sub> - é a área efectiva de envidraçados da janela(s) em m<sup>2</sup>;

T<sub>v</sub> - é a transmitância difusa visível dos envidraçados.

A<sub>s</sub> - é a soma das áreas das superfícies interiores (pavimento, tecto e paredes) incluindo as janelas;

R - é a reflectância média ponderada das superfícies interiores;

θ - é o ângulo de céu visível (Figuras 1 e 2).

Os valores de referência para um edifício típico com paredes claras são os seguintes:

R = 0,5

K<sub>o</sub> = 1,0 (vidros vertical que pode ser limpos facilmente)

0,8 (vidros inclinados)

- 0,7 (vidros horizontais)  
 $T_v = 0,7$  (vidro duplo)  
 0,6 (vidro duplo com revestimento de baixa emissividade)  
 0,6 (vidro triplo)  
 $\theta = 65^\circ$  (vidro vertical)

Considerando que temos vãos envidraçados com vidro duplo na vertical que possam se facilmente limpos, tendo em conta os valores de referência anteriores, obtemos a expressão seguinte para o FLDM (%):

$$FLDM(\%) = \frac{A_v \cdot 45,50}{A_s \cdot 0,75}$$

ii: Ângulo de Céu Visível

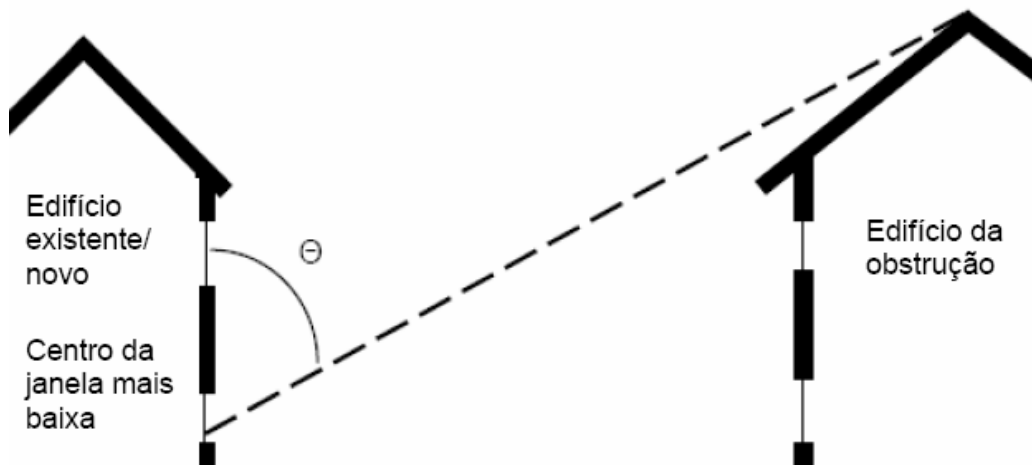


Figura 4.4 - Secção no plano perpendicular a fachada principal do edifício [10].

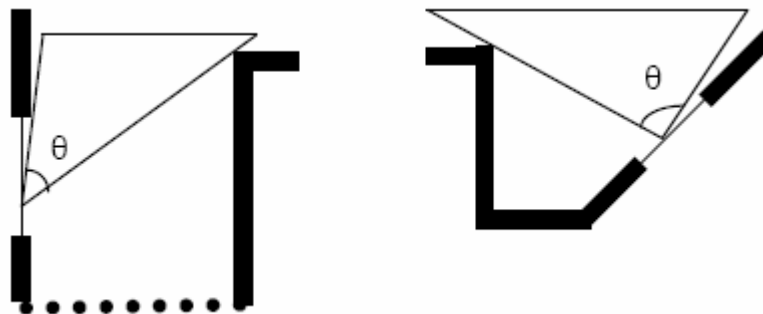
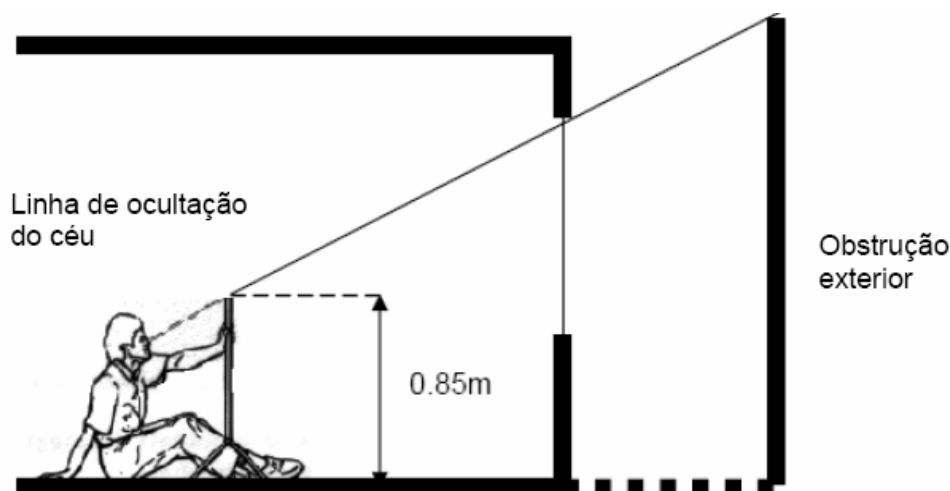


Figura 4.5 - A definição do ângulo  $\theta$ , o ângulo subtendido, no plano vertical normal à janela, pelo céu visível a partir do centro da abertura [10].

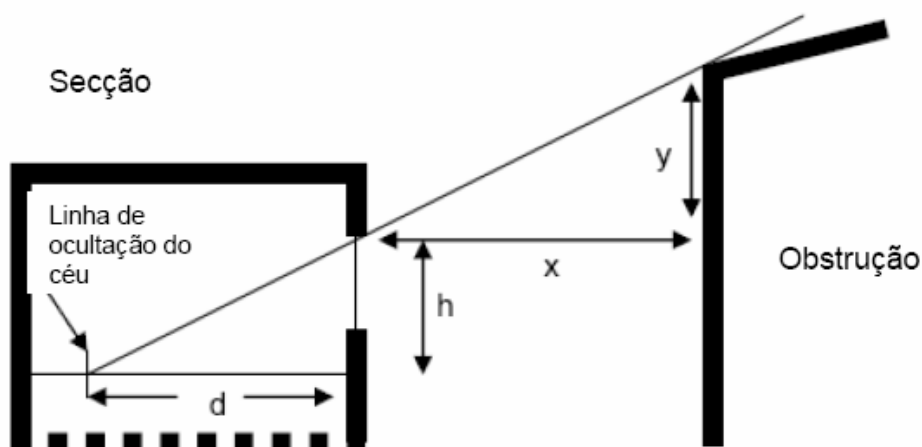
Se, para qualquer parte do edifício, o ângulo  $\theta$  for inferior a 65 graus, é necessário fazer uma verificação mais detalhada para determinar a perda da iluminação natural do edifício.

iii: Linha de Ocultação do Céu

A linha de ocultação do céu divide as áreas no plano de trabalho, as recebem directamente a luz natural, daquelas que não recebem. É importante porque indica como é feita a distribuição da luz natural num compartimento. As áreas para lá da linha de ocultação do céu estarão geralmente escuras.



**Figura 4.6** - Na linha de ocultação do céu [10].



**Figura 4.7** - Cálculo da linha de ocultação do céu [10].

$$d = \frac{xh}{y}$$

em que:

**h** = distância da parte superior da janela à parte de cima do plano de trabalho

**y** = altura da obstrução acima da parte superior da janela

**x** = sua distância à parede exterior

Se **d** for maior do que a profundidade do compartimento, então nenhuma parte do compartimento se encontra além da linha de ocultação do céu. O valor de **x** é igual ao valor obtido na FA CEB 1.2 – Implantação do Edifício.

#### **Informação Complementar:**

As condições de iluminação natural de um determinado compartimento serão tanto melhores nas zonas afastadas do(s) vão(s) envidraçados se se verificarem as seguintes condições [28]:

- a profundidade do compartimento não deve ser muito superior à sua largura;
- a profundidade do compartimento não deve ser muito superior à altura da janela (relação entre 1:1,5 e 1:2);
- as superfícies, nas zonas opostas à(s) do(s) vão(s), devem ser claras.

Estas três condições são consideradas no Requisito C “Critério da limitação da qualidade”, assim, para que a iluminação natural lateral de um determinado compartimento seja adequada, para além de se terem de verificar valores mínimos do FLDM, a linha de ocultação do céu, deve ainda ser verificada a profundidade (L) do compartimento. A profundidade dos compartimentos não deve exceder os 5 m, já que a partir dessa profundidade o Factor de Luz do Dia Médio é geralmente inferiores a 2 %. Valores recomendados do factor de luz do dia médio em edifícios residenciais [30] são:

**Quadro 4.23** - Valores de FLDM recomendados para edifícios residenciais [30].

Edifícios residenciais	FLDM (%)
Quartos de dormir	0,5 % (a 3/4 do comprimento do compartimento)
Cozinhas	2 % (a meio do comprimento do compartimento)
Salas de estar	1 % (a meio do comprimento do compartimento)

Em [30] recomenda-se factor de luz do dia médio para Portugal na ordem de 1,5 a 2,5%.

Os vão envidraçados altos constituem um meio eficaz para se obterem níveis elevados de iluminação interior devidos à luz natural. Constituem também o modo mais eficaz de proporcionar níveis de iluminação mais aceitáveis nas zonas mais afastadas dos vão em compartimentos profundos. No entanto, as necessidades de protecção (por razões de conforto visual e térmico) são também maiores.

Todos os espaços de circulação (vestíbulos de entrada, hall, corredores, escadas) devem ter iluminação natural. As instalações sanitárias devem ter iluminação natural obtida por uma janela em contacto directo com o exterior.

Os vãos envidraçados localizados nas fachadas orientadas entre o Nascente devem ser protegidos da radiação directa do Sol, para evitar o encandeamento.

#### Referências:

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Pedro, J. B., “Definição e Avaliação da Qualidade Arquitectónica Habitacional”, Tese de Doutoramento, FAUP, Porto, 2000.
- Santos, A.J., “A Iluminação Natural” - Seminário “Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.
- EcoHomes 2006 – The environmental rating for homes. [Consult. 16 Setembro 2006]. Disponível em <http://www.ecohomes.org>.
- prEN 15203:2005 – Energy performance of building – Assessment of energy use and definition of ratings.
- Saint Gobain Glass, 2000, Manual do Vidro, 2000.
- CARVALHO, L.C., “Iluminação e radiação Solar no Projecto de Fenestração”. Lisboa, LNEC, 2000.
- Regulamento Geral das Edificações Urbanas. DL 38382 de 07 de Agosto de 1951.
- Commission Internationale de L'eclairage (CIE) – “Guide on Interior Lighting”. CIE Publication N.º 29 (TC-4.1), 1975.
- Commission Internationale de L'eclairage (CIE) - International Lighting Vocabulary, 4th Ed, Paris: IEC/CIE, 1987.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. CE-02:135.02 – Comissão de Estudos de Iluminação Natural de Edificações. Projecto 02:135.02. Iluminação Natural - Parte1: Conceitos básicos e definições, Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural, Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Brasil, 2003.



## FA CBE 3.3

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

## CPE 3 – Conservação da Energia

Indicador de qualidade: **CBE 3.3 - Organização Interna dos Espaços**

**Objectivo:**

Pretende-se com a organização interna dos espaços otimizar a captação dos ganhos solares, criar uma distribuição racional do calor e reduzir as perdas térmicas, em função da orientação e do tipo de ocupação dos compartimentos.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Distribuição da área útil de pavimento</b> <sup>(1) (2)</sup>
4	Área útil de pavimento orientada no Octante Sul igual a 75%.
3	Área útil de pavimento orientada no Octante Sul entre 50% e 75%.
2	Área útil de pavimento orientada no Octante Sul entre 25% e 50%.
1	Área útil de pavimento orientada no Octante Sul entre 15% e 25%.
0	Não se verifica nenhuma das condições anteriores
	<b>B – Zonamento térmico</b> <sup>(3)</sup>
4	As zonas estão agrupadas em função das necessidades de energia, ligadas entre si.
3	As zonas estão agrupadas em função das necessidades de energia, separadas por zonas de circulação com vãos envidraçados orientados para o Octante Sul.
2	As zonas estão agrupadas em função das necessidades de energia, separadas por zonas de circulação com vãos envidraçados não orientados para o Octante Sul.
1	As zonas estão separadas por zonas de circulação sem aberturas para o exterior ou por zonas técnicas sem tratamento térmico.
	<b>C – Troca de calor por circulação do ar na vertical e na horizontal</b> <sup>(4)</sup>
4	É permitida a circulação do ar, na vertical e na horizontal, controlada e total.
3	É permitida a circulação do ar, na horizontal, controlada e total.
2	É permitida a circulação do ar, na horizontal, não controlada e total.
1	É permitida a circulação do ar, na vertical e na horizontal, sem qualquer controlo e total.
0	Não se verifica nenhuma das condições anteriores.

(1) Compartimentos com grandes áreas úteis de pavimento necessitam de mais energia para manterem o conforto interior (térmico e visual).

(2) O Octante Sul contempla os compartimentos orientados entre os quadrantes SE/SW, inclusive, com vãos envidraçados correctamente projectados, com boa exposição solar no Inverno e protegidos no Verão.

(3) Os compartimentos estão distribuídos em função das necessidades de energia e de maneira a que o calor possa circular dos compartimentos com mais ganhos solares para os compartimentos com ganhos reduzidos, tanto em planta como em altura.

(4) As trocas de calor são facilitadas pelas passagens interiores, pela circulação do ar, e pelos elementos da envolvente interior dos compartimentos através das trocas de calor por condução, convecção e radiação, sem afectar outras condicionantes de projecto, nomeadamente: a segurança contra o fogo, o comportamento acústico, etc. A circulação do ar pode ser controlada pela utilização de grelhas de admissão reguláveis nas fachadas. Considera-se que a circulação do ar é controlada quando todos os dispositivos do sistema de ventilação (aberturas de admissão, passagens interiores, aberturas de exaustão e condutas de exaustão individuais ou colectivas, etc.) são dimensionados em função das necessidades dos compartimentos que servem e do número de pisos do edifício.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente a orientação dos compartimentos, a organização interna (planta e altura) e a caracterização dos elementos construtivos devem conter informação suficiente para determinar a área útil de pavimento ( $A_p$ ) dos compartimentos e a ligação entre os vários compartimentos.
2. Para a verificação do requisito “Distribuição da área útil de pavimento”, nos elementos desenhados (plantas e cortes) deve ser devidamente identificados e cotados os compartimentos.
3. Para a verificação dos requisitos “Zonamento térmico e Trocas de calor por circulação do ar na vertical e na horizontal”, nos elementos desenhados (plantas e cortes) deve ser devidamente identificados e cotados os compartimentos, bem como a localização das passagens interiores (localização das portas) e a caracterização do tipo de aberturas de admissão.

**Linha de Orientação:***i: Organização Interna dos Espaços*

Do ponto de vista da concepção passiva dos edifícios, a organização interna dos espaços tem influência decisiva no seu comportamento térmico devendo por isso ser efectuada em função do tipo de compartimento e do padrão de ocupação, atendendo à orientação de cada fachada, no que diz respeito à incidência de radiação solar. Cada localização deve ser tratada de um modo diferente para se obterem os melhores resultados. Outras considerações além dos ganhos solares influenciarão a escolha da distribuição (vista, privacidade, segurança, comodidade, etc.). Algumas destas questões já terão sido consideradas na fase de localização e de implantação do edifício. Seguidamente, refere-se alguns dos aspectos essenciais relacionados com as exigências térmicas dos compartimentos e a sua orientação:

- a) Sala: A maior necessidade de calor nos edifícios está geralmente associada com as salas, sala de estar e sala de jantar; estes tendem a ser os compartimentos maiores e são aquecidos geralmente com temperaturas mais elevadas do que o resto do edifício, dado serem destinados à permanência prolongada de pessoas em actividade sedentária. Em geral, os seus ganhos internos, principalmente devido aos ocupantes, dispositivos audiovisuais e à iluminação artificial, são modestos em comparação com os obtidos em outros espaços do edifício, nomeadamente na cozinha, pelo que uma orientação a Sul é sempre muito vantajosa. O uso de protectores móveis durante a noite ou a adopção de vidros duplos com baixa - emissividade é muito recomendado para compartimentos com janelas grandes ou que necessitam de ser mantidos com temperaturas elevadas;
- b) Cozinha: O espaço da cozinha é aquele em que, normalmente, os ganhos internos são maiores, devido ao funcionamento dos electrodomésticos, nomeadamente o fogão. É importante, entretanto, assegurar que toda a humidade resultante seja removida na origem para impedir a condensação. As cozinhas por norma é frequentemente dada uma orientação a norte, na suposição que o acesso à luz do sol não é um benefício e pode se transformar num incómodo. Esta é talvez uma boa opção para cozinhas mais pequenas em que a permanência das pessoas coincide com o funcionamento dos aparelhos. Certamente, uma orientação a Oeste deve ser evitada porque envolverá ganhos solares, por vezes quando menos são desejados – nas tardes de Verão, por exemplo, quando podem coincidir com o pico das temperaturas exteriores e com os ganhos internos. A orientação deve ser considerada com mais cuidado no caso da cozinha sirva também como sala de jantar permanentemente ocupada. Assim, não há necessidade de garantir uma orientação Sul, embora seja

conveniente fornecer uma adequada iluminação natural, é provável que seja desejável uma janela razoavelmente grande, mas esta será uma desvantagem do ponto de vista do conforto térmico se estiver orientada a norte. A orientação Nascente pode ser uma solução bastante satisfatória.

- c) Quartos: A exigência de conforto térmico de um quarto variar consideravelmente dependendo do tipo de ocupação. Tais variações merecem ser consideradas na organização interna dos espaços e na especificação de dispositivos e de controladores do aquecimento. Afectarão as trocas térmicas entre diferentes espaços de um edifício bem como todo o desempenho térmico e o conforto dos ocupantes. Os quartos que estão desocupados durante o dia e apenas são, ligeiramente aquecidos à noite não colocam grandes exigências em termos de orientação, mas isso por sua vez pode variar muito ao longo do tempo com mudanças na composição do agregado familiar. Por exemplo, os bebés, as crianças pequenas ou idosos podem necessitar de temperaturas mais altas nos quartos e, por vezes, em períodos diurnos. O mesmo se aplica se o quarto for utilizado como local de trabalho e de estudo. Por outro lado, os quartos não têm, por norma, ganhos internos apreciáveis. Sendo assim, a existência de ganhos solares nos quartos será sempre vantajosa, especial onde há uma utilização de dia, e podem reduzir o uso do aquecimento convencional, mas nem sempre imperiosa;
- d) Instalações Sanitárias: As instalações sanitárias tendem a ser os compartimentos mais negligenciados, colocados frequentemente em localizações escuras e por vezes mesmo em zonas não aquecidas. Em períodos de tempo limitados, as instalações sanitárias são espaços que necessitam de condições térmicas particulares, para obter um conforto aceitável e impedir a condensação, mas não é fácil garantir essas condições recorrendo aos ganhos solares. Assim, estes espaços podem não estar orientados a Sul e a estratégia deverá ser protegê-los, o mais possível, da exposição exterior;
- e) Espaços não aquecidos: Quando é dada uma orientação a Sul, a espaços não aquecidos, ou a espaços mantidos a temperaturas mais baixas, funcionam bem como colectores solares. A estufa é um exemplo deste princípio. A caixa de escadas, circulações, garagens, etc., será conveniente usar estes espaços como espaços tampão “amortecedores térmicos”, com uma orientação norte.

#### *ii: Zonamento Térmico*

Na organização dos espaços do edifício, é importante empregar o conceito do zonamento térmico para criar uma distribuição racional do calor e para reduzir as perdas térmicas. Uma maneira de obter isso é localizar os espaços com maiores exigências de energia na fachada Sul e colocar os outros espaços do lado Norte do edifício. Assim, para otimizar a utilização da energia, é importante analisar as necessidades de energia dos utilizadores em qualquer parte do edifício, tendo em conta a organização interna e o aquecimento complementar, iluminação, arrefecimento, sistemas de ventilação para satisfazer as suas necessidades. As áreas com exigências de energia similares ou funções interdependentes devem ser agrupadas. A ventilação natural tem um papel muito importante na troca de calor entre as diferentes zonas térmicas.

Assim, para otimizar a utilização da energia, é importante analisar o presente, e se possível, as necessidades de energia futuras dos utilizadores em qualquer parte do edifício, tendo em conta a organização interna e o aquecimento adicional, iluminação, arrefecimento, ventilação para satisfazer as suas necessidades.

- as áreas com exigências de energia similares ou funções interdependentes devem ser agrupadas;
- as áreas que requerem um nível mais baixo de conforto ambiental, tal como os espaços de circulação e espaços para arrumos, devem ser utilizados como

zonas de amortecedor térmico “espaço tampão” protegendo o conforto nos espaços mais sensíveis;

- as áreas que produzem energia em excesso devem ser localizadas adjacentes às secções que requerem energia suplementar.

---

**Informação Complementar:**

Uma diferença de temperatura entre compartimentos inicia as trocas térmicas dos compartimentos mornos para os mais frescos. Isto pode ser desejável em algumas circunstâncias – por exemplo, o excesso dos ganhos de calor num compartimento pode contribuir para o aquecimento de outro - e indesejável em outras. O valor de tais trocas é influenciado pela distribuição em planta e pela área dos compartimentos, da abertura e do fecho das portas, das propriedades térmicas dos elementos de compartimentação interiores, paredes e pavimentos, e das diferenças de temperatura.

As trocas térmicas através das paredes divisórias, das portas e dos pavimentos interiores são também uma consideração importante. Os dispositivos de aquecimento escolhidos e o sistema de controlo terão um papel importante no uso da energia e no conforto dos ocupantes e assim como na flexibilidade e no potencial para a mudança de utilização do compartimento. Finalmente, a natureza e o valor de ganhos internos, e sua interacção com os ganhos solares e o aquecimento convencional, intervêm também no uso da energia e no conforto dos ocupantes.

As áreas que requerem um nível mais baixo de conforto ambiental, tal como os espaços de circulação e espaços para arrumos, devem ser utilizados como espaços tampão protegendo o conforto nos espaços ocupados.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto – Fundação Gomes Teixeira, Projecto REDENE. Rede de Edifícios Energeticamente Eficientes. Conceitos e Orientações, 2000.
- Energy Comfort 2000. [Consult. 03 Janeiro 2005]. Disponível em <http://www.erg-ucd.ei>.
- Santos, António J., “A Iluminação Natural e A Iluminação Artificial - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.
- Moreira da Costa, J., “Métodos de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação”, Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1995.
- Pedro, J.B., “Definição e Avaliação da Qualidade Arquitectónica Habitacional”, Tese de Doutoramento, FAUP, Porto, 2000.
- A Green Vitruvius, “Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitecturas Sustentável”, Ordem dos Arquitectos.
- Simos Yannas, “Solar Energy and Housing Desing. Volume 1: Principles, Objectives, Guidelines”, Architectural Association, London, 1994.
- Regulamento Geral de Edificações Urbanas, DLº 38 382, de 7 de Agosto de 1951.

## FA CBE 3.4

## CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios

## CBE 3 – Conservação da Energia

## Indicador de Qualidade: CBE 3.4 – Concepção da Envolvente Opaca Vertical

## Objectivo:

A concepção da envolvente opaca vertical (paredes) deverá favorecer a conservação da energia de aquecimento interior, restringir as perdas por condução, no Inverno, e restringir os ganhos por condução, no Verão, assegurando um nível adequado de qualidade, durabilidade, reacção ao fogo com baixo custo de construção e manutenção. Baseada no tipo de abordagem apresentada por João Carlos Lanzinha [22].

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Isolamento térmico</b> <sup>(1)</sup>
4	$X < 0,5$
3	$0,5 < X \leq 0,7$
2	$0,7 < X \leq 0,9$
1	$0,9 < X \leq 1,0$
0	$X > 1,0$
	<b>B – Compatibilidade parede / estrutura</b> <sup>(2)</sup>
4	Paredes exteriores correctamente confinadas pelos elementos estruturais de suporte.
3	Paredes exteriores não confinadas por elementos estruturais, devidamente apoiada e travada na ligação com os pilares e ligada ao pano interior por grampeamento.
2	Paredes exteriores simples, não confinadas por elementos estruturais, devidamente apoiada.
1	Paredes exteriores incorrectamente apoiadas nos elementos estruturais de suporte, apoiada em elementos próprios e ligadas ao pano interior por grampeamento.
0	Paredes exteriores incorrectamente apoiadas nos elementos estruturais de suporte.
	<b>C – Controlo da permeabilidade ao vapor</b> <sup>(3)</sup>
4	Cumprimento das regras mínimas definidas.
0	Não cumprimento das regras mínimas definidas.
	<b>D – Aptidão à utilização</b> <sup>(4)</sup>
4	Cumprimento das regras mínimas regulamentares.
0	Não cumprimento das regras mínimas regulamentares.
	<b>E – Parede em contacto com o solo</b> <sup>(5)</sup>
4	Tem as mesmas características de isolamento térmico da parede corrente.
1	Tem características de isolamento térmico inferior à parede corrente.
0	No projecto não se prevê isolante térmico.

(1) A avaliação do requisito "Isolamento térmico" é expressa pela comparação do coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo com o valor do coeficiente de referência preconizado pelo RCCTE, é efectuada pela determinação da relação  $X = U / U_{ref}$ .

(2) Com este requisito pretende-se garantir o confinamento das paredes de alvenaria pela estrutura resistente, evitar a existência de paredes incorrectamente apoiadas, nomeadamente do pano exterior saliente e o aparecimento de fissuras.

(3) Permite evitar as possibilidades de ocorrência de condensações no interior do elemento construtivo, que resultam das combinações das temperaturas nas diversas camadas com as pressões parciais de vapor de água.

(4) Com o requisito aptidão à utilização, pretende-se avaliar outros aspectos relativos à durabilidade e aptidão à utilização: segurança contra incêndios; protecção contra o ruído; segurança na utilização; durabilidade dos componentes.

(5) As paredes em contacto com o solo devem ter as mesmas características de isolamento das paredes correntes.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, e nos projectos de especialidade referentes às características dos elementos opacos verticais da envolvente (paredes) e a localização da linha de terra, para ser verificar a existência de paredes em contacto com o solo e a sua profundidade (Z).
2. Dos elementos desenhados devem fazer parte desenhos de pormenor, cotados e legendados, com escala adequada contendo informação suficiente para determinar o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente vertical (paredes em contacto com o exterior ou espaços não úteis), o valor de verificação será obtido pela média ponderada dos vários elementos a envolvente opaca vertical,  $X = [\sum (X.A_{ext}) + \sum (X.A_{int})] / \sum (A_{ext} + A_{int})$ .
3. Para avaliação do requisito B “Compatibilidade parede/estrutura”, tem que se fazer uma análise dos elementos escritos e desenhados do projecto, verificando os pormenores construtivos e a compatibilização entre o projecto de arquitectura e os projectos de especialidade, em especial o projecto de estabilidade e o estudo do comportamento térmico.
4. Na avaliação do requisito C “Controlo da permeabilidade ao vapor”, a atribuição dos níveis de qualidade será efectuada em função do cumprimento das seguintes regras mínimas para evitar o risco de condensação (DTU 20.1) [22] e [88], ver definições na *linha de orientação iv*:
  - na face interior do isolante –  $RTI > 3 \text{ RTP}$
  - na espessura do isolante:
    - locais de média higrometria – não é definida qualquer regra;
    - locais de forte higrometria –  $1/RDP < 0,060 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$ ;
  - na face interior da parede exterior de reduzida resistência térmica ( $3 \text{ RTM} > \text{RTI} + \text{RTP}$ ) - não é definida qualquer regra;
  - na face interior da parede exterior de reduzida resistência térmica ( $3 \text{ RTM} < \text{RTI} + \text{RTP}$ ):
    - limitar o fluxo de vapor – se  $\text{RTM} < 0,086 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} \Rightarrow 1/(RDP+RDI) < 0,060 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$ ;
    - e colocar dispositivos de recolha de água na base da parede e efectuar protecção do material isolante.
5. Na avaliação do requisito D “Aptidão à utilização”, a atribuição dos níveis de qualidade será efectuada em função do cumprimento das seguintes regras mínimas:
  - Resistência ao fogo dos elementos de construção:
    - garantia das classes de resistência ao fogo e os escalões de tempo, função da capacidade resistente, estanquidade às chamas e isolamento térmico;
    - garantia da distância mínima entre vãos de pisos sucessivos (1,10 m);
    - afastamento mínimo de 8 m a edifícios vizinhos;
  - Reacção ao fogo dos materiais de construção:
    - garantia das classes de reacção ao fogo, função da combustibilidade e inflamabilidade dos materiais de revestimento e da velocidade de propagação das chamas à superfície do material;
  - Isolamento acústico
    - garantia do Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea  $D_{n,w}$ ;
  - Estanquidade à água:

- garantia da impermeabilidade líquida do elemento opaco da envolvente, evitando a infiltração de água proveniente do exterior;
- Tratamento das pontes térmicas
- reduzir a possibilidade de ocorrência de condensações superficiais.

### Linha de Orientação:

i: Coeficientes de Transmissão Térmica Superficiais de Referência ( $U_{ref.}$ )

**Quadro 4.24** - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência ( $U_{ref.}$ ) [1].

Elemento da envolvente	Zona climática			
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	RA <sup>(1)</sup>
Elementos exteriores em zona corrente:				
Zonas opacas verticais <sup>(2)</sup>	0,70	0,60	0,50	1,40
Elementos interiores em zona corrente:				
Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1,00	2,00
(1) Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, apenas para edifícios na zona I <sub>1</sub> .				
(2) De acordo com o RCCTE, são consideradas superfícies horizontais as que têm uma inclinação face ao plano horizontal inferior a 60° e superfícies verticais as restantes.				

ii: Coeficientes de Transmissão Térmica Superficiais Máximos ( $U_{máx.}$ )

**Quadro 4.25** - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos ( $U_{máx.}$ ) [1].

Elemento da envolvente	Zona climática		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Elementos exteriores em zona corrente: <sup>(1)</sup>			
Zonas opacas verticais	1,80	1,60	1,45
Elementos interiores em zona corrente:			
Zonas opacas verticais	2,00	2,00	1,90
(1) Inclui elementos interiores em situações em que $\tau > 0,7$ .			

iii: Apoio Mínimo do Pano de Alvenaria Exterior

O pano de alvenaria exterior saliente deverá estar apoiado no mínimo em 2/3 da espessura do tijolo e grampeado ao pano interior de alvenaria, caso este exista. A ligação do pano exterior de alvenaria ao pano interior de alvenaria deve ser feito por intermédio de 2 a 4 grampos por m<sup>2</sup>.

As torsas ou padieiras das janelas e portas deverão ter uma rigidez necessária e ser convenientemente apoiadas, tal como as caixas de estores.

iv: Classificação da higrometria habitações

- Habitações, incluindo cozinhas e casa de banho, não sobreocupadas e correntemente aquecidas e ventiladas: Higrometria média –  $2,5 \leq W/n.V < 5,0 \text{ g/m}^3$ ;
- Habitações com ventilação reduzida ou sobreocupadas: Higrometria forte –  $5,0 \leq W/n.V < 7,5 \text{ g/m}^3$ .

RTI – resistência térmica do isolante e eventual lâmina de ar complementar.

RTP - resistência térmica do pano de parede interior.

RDP - resistência à difusão do pano de parede interior.

RTM - resistência térmica do pano de parede exterior.

---

**Informação Complementar:**

O isolamento deve ser adequadamente fixado (preferencialmente, por fixação mecânica) à face interior (em contacto com o espaço de ar) do pano interior para as paredes dupla com isolamento na caixa-de-ar.

Para conservar as qualidades do isolamento, a penetração da água deve ser evitada. Certamente, índice de humidade de uma parede mais elevado, mais pobre será a sua capacidade de isolar, daqui a necessidade de evitar a penetração da água na parede. Os materiais impermeáveis tais como o vidro ou o metal podem ser usados para proteger as paredes da humidade. Os materiais de edifício tradicionais, incluindo o betão e a alvenaria devem também ser protegidos da chuva por revestimento. A água penetra somente numa parede quando existem simultaneamente três circunstâncias: água, um furo para que passe completamente, e uma força capaz de mover a água através do furo. Os revestimentos contra a chuva são projectadas para eliminar a diferença da pressão entre o exterior e o interior da parede que força a água através do furo. Isto é conseguido através da construção de uma camada fina na face exterior que repele a água, separada da parede por um compartimento de ar com pressão igual. Esta técnica permite um escudo hermético do edifício, permitindo a instalação do isolamento pelo exterior da estrutura. Por outro lado, as pontes térmicas, que são os pontos fracos no isolamento da envolvente, devem ser minimizadas para evitar o fluxo de calor nestes pontos.

Em relação à compatibilidade na ligação entre as paredes e a estrutura do edifício no caso de se utilizarem paredes duplas com isolante na caixa-de-ar, o tratamento das pontes térmicas pelo interior elimina esse problema, na medida que todo o pano exterior estará apoiado nos elementos da estrutura e ainda pela utilização de elementos de ligação entre os diferentes panos de parede.

Na Informação Técnica de Edifícios do LNEC ITE 50 [33], apresentam-se os valores convencionais de cálculo, por um lado, de condutibilidades térmicas de materiais e de resistências térmicas superficiais, de espaços de ar não-ventilados e de alguns elementos opacos de construção e, por outro lado, os coeficientes de transmissão térmica de soluções correntes das envolventes opacas e envidraçadas dos edifícios.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Gonçalves, H.; Graça, J., “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”, INETI, Lisboa, 2004.
- Lanzinha, J.C., “Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção”. Tese de Doutoramento, UBI, Covilhã, 2006.
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Ouvrages en Maçonnerie de Petits Éléments - Parois et Murs. D.T.U. 20.1. Paris, CSTB, 1995.
- Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios de Habitação. DL 64/1990, de 12 de Fevereiro.
- Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. DL 129/2002, de 11 de Maio.
- Santos, C.A.P.; Martins L., “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios”, Lisboa, LNEC, 2006. ITE 50.
- Santos, C.A.P., “Caracterização Térmica de Paredes de Alvenaria”, LNEC, 1986. ITE 12.



## FA CBE 3.5

## CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios

## CBE 3 – Conservação da Energia

## Indicador de Qualidade: CBE 3.5 – Concepção da Envolvente Opaca Horizontal

## Objectivo:

A concepção da envolvente opaca horizontal (pavimentos e coberturas) deverá favorecer a conservação da energia de aquecimento interior, restringir as perdas por condução, no Inverno, e restringir os ganhos por condução, no Verão. Assegurando um nível adequado de qualidade, durabilidade, resistência e reacção ao fogo com baixo custo de construção e manutenção. Baseada no tipo de abordagem apresentada por João Carlos Lanzinha [22].

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Isolamento térmico</b> <sup>(1)</sup>
4	$X < 0,5$
3	$0,5 < X \leq 0,7$
2	$0,7 < X \leq 0,9$
1	$0,9 < X \leq 1,0$
0	$X > 1,0$
	<b>B – Estanquidade das ligações da cobertura com elementos salientes</b> <sup>(2)</sup>
4	Verifica as condições indicadas para este requisito.
0	Não verifica as condições indicadas para este requisito.
	<b>C – Controlo da permeabilidade ao vapor</b> <sup>(3)</sup>
4	Não ocorrência de condensações internas em função da higrometria do edifício.
0	Probabilidade de ocorrência de condensações internas em função da higrometria do edifício.
	<b>D – Aptidão à utilização</b> <sup>(4)</sup>
4	Cumprimento das regras mínimas regulamentares.
0	Não cumprimento das regras mínimas regulamentares.
	<b>E – Pavimento em contacto com o solo</b> <sup>(5)</sup>
4	Com aplicação de mais de 1,5 m de isolamento térmico perimetral.
3	Com aplicação de isolamento térmico perimetral entre 1,0 m e 1,5 m.
2	Com aplicação de 1,0 m de isolamento térmico perimetral.
1	Não prevê a aplicação de isolamento térmico no perímetro do isolamento.

(1) A avaliação do requisito "Isolamento térmico" é expressa pela comparação do coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo com o valor do coeficiente de referência preconizado pelo RCCTE, é efectuada pela determinação da relação  $X = U / U_{ref}$ .

(2) O capeamento dos elementos salientes e a estanquidade das ligações dos elementos salientes com o revestimento das coberturas, destina-se a evitar a infiltração de águas pluviais no interior dos elementos construtivos e no interior do próprio edifício.

(3) Permite evitar as possibilidades de ocorrência de condensações no interior do elemento construtivo, que resultam das combinações das temperaturas nas diversas camadas com as pressões parciais de vapor de água.

(4) Com o requisito aptidão à utilização, pretendesse avaliar outros aspectos relativos à durabilidade e aptidão à utilização: segurança contra incêndios; protecção contra o ruído; segurança na utilização; durabilidade dos componentes.

(5) Os pavimentos em contacto com o solo devem ser isolados em todo o perímetro, tal como é considerado para a determinação das perdas térmicas lineares pelo solo nos espaços úteis ou quando existem paredes interiores separando um espaço útil e um espaço não útil (local não aquecido), desde que  $\tau > 0,7$ .

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, e nos projectos de especialidade referentes às características das coberturas e dos pavimentos e a localização da linha de terra, para ser verificar a existência pavimentos em contacto com o solo e a sua profundidade (Z).
2. Os elementos desenhados devem desenhos de pormenor, cotados e legendados, com escala adequada contendo informação suficiente para determinar o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente horizontal (coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com zonas não úteis), o valor de verificação será obtido pela média ponderada dos vários elementos,  $X = [\sum (X.A_{ext}) + \sum (X.A_{int})] / \sum (A_{ext} + A_{int})$ .
3. Na avaliação do requisito B “Estanquidade das ligações da cobertura com elementos salientes”, para a atribuição dos níveis de qualidade será efectuada em função do cumprimento das seguintes condições, para evitar o risco de infiltrações pontuais de águas pluviais:
  - aplicação de elementos estanques de ligação entre elementos salientes e o revestimento da cobertura;
  - capeamento de paredes, muretes e platibandas;
  - não ligar outras estruturas (antenas, suporte dos painéis solares) directamente ao revestimento da cobertura ou à estrutura de suporte, sem um estudo cuidado e pormenorizado;
  - garantir a extensão das “entregas” das ligações e capeamentos.
4. Na avaliação do requisito C “Controlo da permeabilidade ao vapor”, a atribuição dos níveis de qualidade será efectuada do mesmo modo que o Indicador de Qualidade CBE 3.4 “Isolamento da Envolvente Opaca Vertical”.
5. Na avaliação do requisito D “Aptidão à utilização”, a atribuição dos níveis de qualidade será efectuada em função do cumprimento das seguintes regras mínimas para evitar o risco de condensação:
  - Resistência ao fogo dos elementos de construção:
    - garantia das classes de resistência ao fogo e os escalões de tempo, função da capacidade resistente, estanquidade às chamas e isolamento térmico;
    - coberturas com revestimento M0 em 3 m, a partir da parede;
  - Reacção ao fogo dos materiais de construção:
    - garantia das classes de reacção ao fogo, função da combustibilidade e inflamabilidade dos materiais de revestimento e da velocidade de propagação das chamas à superfície do material;
  - Isolamento acústico:
    - garantia do Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{n,w}$ ;
  - Estanquidade à água de revestimentos de cobertura:
    - garantia a impermeabilidade líquida dos elementos de revestimento da cobertura, evitando a infiltração de água proveniente do exterior;
    - garantia de uma inclinação adequada em função do tipo e das características de revestimento;
    - aplicar sistemas de drenagem de águas pluviais em coberturas de modo a garantir um escoamento eficaz;
  - Tratamento das pontes térmicas:
    - reduzir a possibilidade de ocorrência de condensações superficiais.

**Linha de Orientação:**

i: *Coefficientes de Transmissão Térmica Superficiais de Referência* ( $U_{ref.}$ )

**Quadro 4.26** - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência ( $U_{ref.}$ ) [1].

Elemento da envolvente	Zona climática			
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	RA <sup>(1)</sup>
Elementos exteriores em zona corrente:				
Zonas opacas horizontais <sup>(2)</sup>	0,50	0,45	0,40	0,80
Elementos interiores em zona corrente:				
Zonas opacas horizontais	1,00	0,90	0,80	1,25
(1) Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, apenas para edifícios na zona I <sub>1</sub> .				
(2) De acordo com o RCCTE, são consideradas superfícies horizontais as que têm uma inclinação face ao plano horizontal inferior a 60° e superfícies verticais as restantes.				

ii: *Coefficientes de Transmissão Térmica Superficiais Máximos* ( $U_{máx.}$ )

**Quadro 4.27** - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos ( $U_{máx.}$ ) [1].

Elemento da envolvente	Zona climática		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Elementos exteriores em zona corrente: <sup>(1)</sup>			
Zonas opacas horizontais	1,25	1,00	0,90
Elementos interiores em zona corrente:			
Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20
(1) Inclui elementos interiores em situações em que $\tau > 0,7$ .			

**Informação Complementar:**

No RCCTE [1] o fluxo de transferência de calor – devido à diferença de temperatura (média) entre o ambiente interior e exterior – é sempre ascendente nas coberturas e descendente nos pavimentos, visto de admitir que, quer de Inverno, quer de Verão, a temperatura (média) do ar exterior ser sempre inferior à temperatura de referência do ar interior (20°C no Inverno e 25°C no Verão).

Devido ao comportamento sob a acção da água de alguns isolantes, nomeadamente, as placas de aglomerado de cortiça expandida, as placas de lã mineral e algumas espumas de poliuretano, a sua utilização exige a adopção de disposições complementares assegurando a protecção face ao risco de contacto prolongado do isolante com a água, e de infiltrações de água da chuva.

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Lanzinha, J.C., “Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção”. Tese de Doutoramento, UBI, Covilhã, 2006.
- Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios de Habitação. DL 64/1990, de 12 de Fevereiro.
- Santos, C.A.P.; Martins L., “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios”, Lisboa, LNEC, 2006. ITE 50.
- Santos, C.A.P., “Caracterização Térmica de Pavimentos Prefabricados”, Lisboa, LNEC, 1986. ITE 11.

## FA CBE 3.6

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

## CBE 3 – Conservação da Energia

## Indicador de Qualidade: CBE 3.6 – Conceção das Portas e Janelas

## Objectivo:

A concepção das portas e janelas deverá favorecer a conservação da energia de aquecimento interior, restringir as perdas por condução e por infiltrações de ar no Inverno. Assegurando um nível adequado de qualidade, durabilidade, reacção ao fogo e custo. Baseada no tipo de abordagem apresentada por João Carlos Lanzinha [22].

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Isolamento térmico</b> <sup>(1)</sup>
4	$X < 0,5$
3	$0,5 < X \leq 0,7$
2	$0,7 < X \leq 0,9$
1	$0,9 < X \leq 1,0$
0	$X > 1,0$
	<b>B – Permeabilidade ao ar da caixilharia</b> <sup>(2)</sup>
4	Seleção da classe de permeabilidade ao ar da caixilharia superior ao recomendado.
3	Seleção da classe recomendada de permeabilidade ao ar da caixilharia.
2	Seleção da classe de permeabilidade ao ar da caixilharia inferior ao recomendado.
1	Seleção de caixilharia não ensaiada à permeabilidade ao ar.
	<b>C - Estanquidade à água</b> <sup>(3)</sup>
4	Seleção da classe de estanquidade à água da caixilharia superior ao recomendado.
3	Seleção da classe recomendada de estanquidade à água da caixilharia.
2	Seleção da classe de estanquidade à água da caixilharia inferior ao recomendado.
1	Seleção de caixilharia não ensaiada à estanquidade à água.
	<b>D - Resistência às solicitações do vento</b> <sup>(4)</sup>
4	Seleção da classe de resistência ao vento da caixilharia superior ao recomendado.
3	Seleção da classe recomendada de resistência ao vento da caixilharia.
2	Seleção da classe de resistência ao vento da caixilharia inferior ao recomendado.
1	Seleção de caixilharia não ensaiada à resistência ao vento.

(1) A avaliação do requisito "Isolamento térmico" é expressa pela comparação do coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo com o valor do coeficiente de referência preconizado pelo RCCTE, é efectuada pela determinação da relação  $X = U / U_{ref}$ .

(2) Classe de permeabilidade ao ar das caixilhariás (janelas e portas) é avaliada em função da exposição da fachada ao vento, do zonamento do território, da rugosidade aerodinâmica do solo e da altura acima do solo.

(3) Classe de estanquidade à água das caixilhariás (janelas e portas) é avaliada em função da exposição da fachada ao vento, do zonamento do território, da rugosidade aerodinâmica do solo e da altura acima do solo.

(4) Classe de resistência ao vento das caixilhariás (janelas e portas) é avaliada em função da exposição da fachada ao vento, do zonamento do território, da rugosidade aerodinâmica do solo e da altura acima do solo.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto no que se refere às características das portas e janelas e à configuração do edifício em planta e em altura e com a indicação da direcção e da intensidade dos ventos dominantes.
2. Os elementos desenhados devem conter informação suficiente para determinar o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado em contacto com o exterior ou com zonas não úteis, o valor de verificação será obtido pela média ponderada no caso de existirem vãos envidraçados com características diferentes,  $X = \sum X.A_{env.} / \sum A_{env.}$ .
3. Dos elementos escritos deve fazer parte fichas técnicas para os vãos envidraçados (marcação CE) com a indicação da classe de permeabilidade ao ar, de estanquidade à água e resistência às solicitações do vento ou indicar que a caixilharia não foi ensaiada.
4. Dos elementos desenhados devem fazer parte desenhos de pormenor da ligação dos vãos envidraçados com a fachada opaca, cotados e legendados.

**Linha de Orientação:**

i: Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência ( $U_{ref.}$ )

**Quadro 4.28** - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência ( $U_{ref.}$ ) [1].

Envidraçados <sup>(1) (3)</sup>	Zona climática			
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	RA <sup>(2)</sup>
	4,30	3,30	3,30	4,30
(1) Valor médio dia-noite (inclui efeito do dispositivo de protecção nocturna) para vão envidraçados verticais; os envidraçados horizontais consideram-se sempre como se em locais sem ocupação nocturna.				
(2) Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, apenas para edifícios na zona I <sub>1</sub> .				
(3) De acordo com o RCCTE, são consideradas superfícies horizontais as que têm uma inclinação face ao plano horizontal inferior a 60° e superfícies verticais as restantes.				

ii: Selecção das janelas e portas exteriores em relação à permeabilidade ao ar

Permeabilidade ao ar das caixilharias em função da exposição da fachada ao vento, do zonamento do território, da rugosidade aerodinâmica do solo e da altura acima do solo.

**Quadro 4.29** - Selecção da classe de permeabilidade ao ar de janelas e porta exteriores [35].

Altura acima do solo	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10 m	A1	A1	A2	A2	A2	A2	A2
15 m	A1	A1	A2	A2	A2	A2	A2
18 m	A1	A1	A2	A2	A2	A2	A3
28 m	A1	A1	A2	A2	A2	A2	A3
40 m	-	A2	A2	A3	A2	A2	A3
50 m	-	A2	A2	A3	A2	A2	A3

Região A – todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.

Região B – Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.

Rugosidade I – edifícios situados no interior de uma zona urbana.

Rugosidade II – edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.

Rugosidade III – edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

*iii: Selecção das janelas e portas exteriores em relação à estanquidade à água*

Estanquidade à água das caixilharias em função da exposição da fachada ao vento, do zonamento do território, da rugosidade aerodinâmica do solo e da altura acima do solo.

**Quadro 4.30** - Selecção da classe de estanquidade à água de janelas e porta exteriores [35].

Altura acima do solo	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10 m	E2	E3	E3	E5	E3	E4	E6
15 m	E2	E3	E4	E6	E3	E4	E7
18 m	E3	E3	E4	E6	E3	E5	E7
28 m	E3	E3	E5	E7	E4	E6	E7
40 m		E4	E5	E7	E4	E6	E7
50 m		E4	E6	E7	E5	E7	E8

Região A – todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.

Região B – Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.

Rugosidade I – edifícios situados no interior de uma zona urbana.

Rugosidade II – edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.

Rugosidade III – edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

*iv: Selecção das janelas e portas exteriores em relação à resistência ao vento*

Resistência ao vento das caixilharias em função da exposição da fachada ao vento, do zonamento do território, da rugosidade aerodinâmica do solo e da altura acima do solo.

**Quadro 4.31** - Selecção da classe de resistência ao vento de janelas e porta exteriores [35].

Altura acima do solo	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
≤ 10 m	EXP1	EXP1	EXP2	EXP3	EXP1	EXP2	EXP3
> 10 e ≤ 18 m	EXP1	EXP1	EXP2	EXP3	EXP2	EXP3	EXP4
> 18 e ≤ 28 m	EXP2	EXP2	EXP3	EXP4	EXP2	EXP3	EXP4
> 28 e ≤ 60 m	EXP2	EXP3	EXP4	EXP4	EXP3	EXP4	EXP4

Região A – todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.

Região B – Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.

Rugosidade I – edifícios situados no interior de uma zona urbana.

Rugosidade II – edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.

Rugosidade III – edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

**Informação Complementar:**

Embora em relação ao coeficiente de transmissão térmica a utilização de caixilharias de madeira seja vantajosa relativamente às caixilharias metálicas convencionais, importa especificar a utilização de madeira de boa qualidade e com tratamento adequado (pinho e outras espécies). Caso contrário é grande a probabilidade de se verificarem empenos e, conseqüentemente, aumento das taxas de infiltração.

A utilização de vidro duplo impõe-se quer em termos térmicos, conforto e economia de energia, quer em termos acústicos e mesmo segurança.

No caso de existirem caixas de estore as infiltrações de ar não ocorrem só através das juntas das janelas e das portas exteriores, mas também através destas.

A qualidade de vedação das caixilharias é especialmente importante em edifícios altos e nas fachadas expostas aos ventos dominantes, é muito importante calafetar as portas e as janelas.

Nos edifícios em que não são implementados dispositivos de ventilação natural é necessário garantir que o fluxo de ar que atravessa as juntas das janelas e portas exteriores não causa distúrbios graves que possam inviabilizar a ventilação de locais da habitação.

Para evitar a degradação dos elementos de suporte dos vidros bem como o desenvolvimento de microorganismos nocivos aos ocupantes, tem que se fazer o controlo da condensação. O controlo da condensação é conseguido por um dimensionamento correcto das caixilharias e vidros a aplicar e pela existência de dispositivos de recolha de condensados com encaminhamento para o exterior.

Como já foi referido, os vão envidraçados estão inseridos nos elementos opacos da envolvente, alterando significativamente a sua resistência térmica, criando desse modo pontos singulares, pontes térmicas planas e lineares (ligação da fachada com: caixa de estore ou torsa; padieira; ombreira e peitoril ou soleira), que também têm que ser considerados em relação as perdas de calor.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Lanzinha, J.C., “Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção”. Tese de Doutoramento, UBI, Covilhã, 2006.
- Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios de Habitação. DL 64/1990, de 12 de Fevereiro.
- Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. DL 129/2002, de 11 de Maio.
- Santos, C.A.P., Martins L., Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Lisboa, LNEC, 2006. ITE 50.
- Viegas, J.C., “Comportamento dos Edifícios – Selecção de caixilharia e seu dimensionamento mecânico”, Lisboa, LNEC, 2006. ITE 51.

## FA CBE 3.7

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

## CBE 3 – Conservação de Energia

## Indicador de Qualidade: CBE 3.7 – Tratamento das Pontes Térmicas

## Objectivo:

A concepção do edifício deverá favorecer a implementação de disposições construtivas conducentes à redução dos efeitos das heterogeneidades (pontes térmicas) inseridas em zona corrente da envolvente, por forma a minimizar as perdas de calor por condução e a ocorrência de condensações superficiais e o desenvolvimento de bolores.

## Avaliação:

Níveis	Requisito Requisitos e Critérios de Avaliação
	<b>A – Isolamento térmico das pontes térmicas planas <sup>(1)</sup></b>
4	$U_{\text{ponte térmica}} = U_{\text{parede corrente}}$
3	$U_{\text{parede corrente}} < U_{\text{ponte térmica}} \leq 1,5 \times U_{\text{parede corrente}}$
2	$1,5 \times U_{\text{parede corrente}} < U_{\text{ponte térmica}} \leq 2 \times U_{\text{parede corrente}}$
1	$2 \times U_{\text{parede corrente}} < U_{\text{ponte térmica}} < U_{\text{máx.}}$
0	$U_{\text{ponte térmica}} = U_{\text{máx.}}$
	<b>B – Tratamento das pontes térmicas lineares <sup>(2)</sup></b>
4	$0 \leq \Psi < 0,25$
3	$0,25 \leq \Psi < 0,50$
2	$0,50 \leq \Psi < 0,75$
1	$0,75 \leq \Psi < 1,00$
0	$\Psi = 1,00$
	<b>C – Ligação da fachada com vãos envidraçados <sup>(3)</sup></b>
4	$R \geq 0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , com contacto do isolante térmico com a caixilharia.
3	$R \geq 0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , sem contacto do isolante térmico com a caixilharia.
2	$R < 0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , com contacto do isolante térmico com a caixilharia.
1	$R < 0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , sem contacto do isolante térmico com a caixilharia.
	<b>D – Pormenores construtivos <sup>(4)</sup></b>
4	São apresentados todos os pormenores construtivos das pontes térmicas existentes.
3	São apresentados todos os pormenores construtivos das pontes térmicas planas.
2	Não são apresentados todos os pormenores construtivos das pontes térmicas existentes.
1	São apresentados pormenores construtivos diferentes das pontes térmicas existentes.

(1) A avaliação do requisito “Isolamento térmico” é expressa pela comparação do coeficiente de transmissão térmica da zona não corrente da envolvente ( $U_{\text{ponte térmica}}$ ) com o valor do coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo corrente da envolvente ( $U_{\text{parede corrente}}$ ). As pontes térmicas planas, nomeadamente pilares, talão das vigas e caixas de estore, também contribuem para as perdas térmicas pela envolvente exterior do edifício o RCCTE [1] impõe que o coeficiente de transmissão térmica superficial  $U$  calculado de forma unidimensional na direcção normal à envolvente não pode ser superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica superficiais ( $U_{\text{máx.}}$ ).

(2) Coeficientes de transmissão térmica lineares ( $\Psi$ ), depende do tipo de configuração e da localização do isolante térmico.

(3) Ligação da fachada com a caixa de estore ou com a padieira, ombreiras ou peitoril. Em que ( $R$ ) é a resistência térmica do isolante da caixa de estore.

(4) A elaboração dos pormenores construtivos é fundamental para a contabilização das pontes térmicas e para uma boa execução em obra.



**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto referentes às características dos elementos da envolvente e as suas ligações.
2. Os elementos desenhados devem conter informação suficiente para determinar o coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas planas (talão de viga, pilar e caixa de estore ou torsa), o valor de verificação será obtido pela média ponderada dos vários coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas existentes ( $U_{pt}$ ) em função da sua área ( $A_{pt}$ ),  $U_{pt} = \sum U_{pt} \cdot A_{pt} / \sum A_{pt}$ .
3. Os elementos desenhados devem conter informação suficiente para determinar os valores do Coeficientes de transmissão térmica lineares ( $\Psi$ ). O valor de verificação será obtido pela média ponderada dos vários tipos de espaços não úteis,  $\Psi = \sum (B \cdot \Psi) / \sum B$ .
4. Os pormenores construtivos definidores das configurações de potencial ponte térmica que devem fazer parte do projecto do edifício são:
  - ligação da fachada com torsas ou a caixa de estore (caso exista);
  - ligação entre paredes e vigas;
  - ligação entre paredes e pilares;
  - ligações entre paredes e lajes de pavimento;
  - ligação entre paredes e lajes de cobertura;
  - ligação entre paredes e pavimentos enterrados;
  - montagem de caixilharia.

**Linha de Orientação:**

*i: Coeficientes de Transmissão Térmica Linear RCCTE [1].*

O RCCTE quantifica os valores de  $\psi$  para as situações mais correntes de pontes térmicas lineares. Nos casos de pontes térmicas lineares não consideradas nesses quadros pode utilizar-se um valor convencional de  $\psi = 0,5 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ . Consideram-se as seguintes configurações tipo:

- a) Ligação da fachada com os pavimentos térreos;
- b) Ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores;
- c) Ligação da fachada com pavimentos intermédios;
- d) Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço;
- e) Ligação da fachada com varanda;
- f) Ligação entre duas paredes verticais;
- g) Ligação da fachada com caixa de estore;
- h) Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.

**Informação Complementar:**

As condensações superficiais ocorrem quando a temperatura da superfície de um elemento construtivo é igual ou inferior à temperatura de ponto de orvalho. Os efeitos mais comuns deste fenómeno são o aparecimento de gotas de água nas superfícies de alguns elementos, como por exemplo nos vidros e na zona das pontes térmicas, e o desenvolvimento de bolores nos paramentos interiores de paredes e tectos.

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Corvacho, M.H., “Catálogo de Pontes Térmicas” – Nota de Informação Técnica – NIT – 003-LFC – FEUP; 1999.

## FA CBE 4.1

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

## CBE 4 – Distribuição de Calor

## Indicador de Qualidade: CBE 4.1 – Trocas de Calor por Convecção

## Objectivo:

A concepção do edifício deverá favorecer a distribuição da energia armazenada nos elementos de construção e os ganhos internos, no Inverno, e a dissipação do calor em excesso, no Verão. Garantindo a qualidade do ar, minimizar as situações de patologias nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais, sem perdas de calor excessivas no Inverno resultantes da renovação do ar.

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
<b>A – Ventilação Natural</b> <sup>(1)</sup>	
<b>4</b>	Projecto de ventilação natural em conformidade com a NP 1037-1, com aberturas de admissão auto-reguláveis.
<b>3</b>	Projecto de ventilação natural em conformidade com a NP 1037-1, com aberturas de admissão reguláveis.
<b>2</b>	Projecto de ventilação natural não satisfaz a NP 1037-1, prevê a aplicação de grelhas de admissão.
<b>1</b>	Projecto de ventilação natural não satisfaz a NP 1037-1, não prevê aberturas de admissão.
<b>0</b>	O projecto do edifício não refere como se faz a ventilação.
<b>B – Taxa de renovação nominal</b> <sup>(2)</sup>	
<b>4</b>	$R_{ph} = 0,6$
<b>3</b>	$0,6 < R_{ph} \leq 0,8$
<b>2</b>	$0,8 < R_{ph} \leq 1,0$
<b>1</b>	$1,0 < R_{ph} \leq 1,15$
<b>0</b>	Não se verifica nenhuma das condições anteriores.
<b>C – Sistemas de refrigeração passiva</b> <sup>(3) (4)</sup>	
<b>4</b>	Ventilação dos compartimentos principais, em fachadas opostas.
<b>3</b>	Ventilação cruzada em todos os compartimentos, em fachadas opostas.
<b>2</b>	Ventilação nos compartimentos principais, em duas fachadas concorrentes.
<b>1</b>	Ventilação em todos os compartimentos, através da mesma fachada.
<b>0</b>	O projecto não contempla utilização da ventilação natural para a refrigeração passiva.

(1) O projecto de ventilação natural deve conter, nos elementos escritos e desenhados, as características e a localização dos dispositivos de admissão, passagens interiores e exaustão de ar, de acordo com a norma NP 1037-1.

(2) De acordo com o RCCTE a taxa de renovação nominal ou valor o número de renovações horárias do ar interior ( $R_{ph}$ ) é determinado em função da tipologia do edifício, da sua exposição ao vento e da permeabilidade ao ar da sua envolvente, mas se o edifício estiver em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1, o valor a adoptar é de  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . O objectivo principal é de minimizar as perdas por renovação de ar.

(3) Os sistemas de refrigeração passiva, pode servir para reduzir os gastos energéticos com sistemas mecânicos de refrigeração ou podem inclusivamente servir para os dispensar e obter assim um ambiente de conforto, em climas sem Verões muito quentes, como é o caso de Portugal, essencialmente no Litoral Norte. Pode inclusivamente afirmar-se que, na maior parte das zonas climáticas de Portugal, pela amenidade do clima, os edifícios de habitação, desde que correctamente concebidos, nunca necessitam de sistemas mecânicos de arrefecimento, bastando para isso abrir as janelas durante a noite.

(4) A disposição dos vãos envidraçados nas fachadas, a distribuição interna e a forma do edifícios são aspectos determinantes para conseguir uma boa ventilação durante o Verão, permitindo a ventilação cruzada de todo o edifício.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente a configuração do edifício em planta e em altura e a localização e as características dos dispositivos de admissão e exaustão de ar.
2. Do projecto do edifício deve fazer parte o projecto de ventilação natural, elaborado em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1 [45].
3. Os elementos escritos e desenhados conter informação suficiente para determinar a taxa de renovação nominal em função do sistema de ventilação adoptado.
4. Os elementos escritos e desenhados conter informação suficiente para caracterizar os sistemas de refrigeração passiva.

**Linha de Orientação:***i: Conformidade com as disposições da norma NP 1037-1.*

Para que o sistema de ventilação natural do edifício esteja em conformidade com as disposições na norma NP 1037-1, o projectista deve ter em consideração o seguinte:

- a ventilação deve ser geral e permanente;
- a entrada de ar nos compartimentos principais (quartos, escritórios, sala de estar e de jantar), através de ligações directas para o exterior;
- passagens de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço;
- saída de ar dos compartimentos de serviço (instalações sanitárias, cozinha, salas com lareiras, lavandarias) através de aberturas servidas por condutas individuais ou colectivas;
- a ventilação em situação de Inverno e de Verão deve ser considerada separadamente, uma vez que no Inverno ela será resultante da diferença de temperatura entre o interior e o exterior, enquanto no Verão, para garantir os caudais previstos na norma, será necessário abrir as janelas e portas que devem, preferencialmente, estar localizadas em fachadas opostas, de modo a permitirem a ventilação cruzada aproveitando a diferença de pressão provocada pela acção do vento;
- a permeabilidade ao ar da envolvente do edifícios, nomeadamente das portas e janelas, deve obedecer às exigências da norma;
- os exaustores com ventilador incorporado são sistemas mecânicos e, como tal, são incorporados com a estratégia da ventilação natural prevista na norma. A sua integração indevida em sistemas de ventilação natural ocasiona graves distúrbios que frequentemente se traduzem no incumprimento dos caudais impostos.

*ii: Taxa de renovação nominal RCCTE [1].*

No caso específico da ventilação natural a taxa de renovação nominal depende:

- da conformidade com NP 1037-1;
- da permeabilidade das caixilharias;
- da existência ou não de caixa de estore;
- da sua classe de exposição ao vento das fachadas do edifício;
- da existência ou não de dispositivos de admissão na fachada.

*iii: Sistemas de refrigeração passiva.*

Os sistemas passivos de refrigeração podem ter uma eficácia acrescida se forem previstos nas fases iniciais da concepção do edifício. Alguns dos critérios são específicos para a refrigeração, outros são comuns à satisfação das necessidades de aquecimento, tais como a orientação do edifício, a utilização de isolamento ou uma

inércia térmica adequada. E tais como nos tipos de sistemas passivos de aquecimento, podem classificar-se em três grupos:

- refrigeração directa:
  - protecção solar: fixa ou móvel;
  - ventilação natural;
- refrigeração indirecta:
  - paredes com armazenamento térmico (parede de Trombe com aberturas de ventilação e protecção exterior da radiação solar);
  - cobertura com armazenamento térmico;
  - estufa adossada e estufa integrada;
  - convecção natural (termosifão);
- refrigeração separada:
  - refrigeração indirecta onde existe uma maior separação – por distância ou isolamento entre o armazenamento térmico e o ambiente a climatizar.

#### *iv: Ventilação natural*

A entrada de ar através das janelas incrementa-se criando uma zona de sobrepressão em frente destas, através do bloqueio do ar incidente com a utilização de palas, varandas ou outros obstáculos arquitectónicos, ou pela colocação de árvores que impeçam o fluxo do ar de se dispersar pelos lados do edifício.

- a) Ventilação cruzada
- b) Circulação de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço
- c) Câmara solar ou chaminé
- d) Aspirador
- e) Torre de vento
- f) Construções enterradas
- g) Refrigeração por evaporação de água
- h) Refrigeração por desumidificação

---

#### **Informação Complementar:**

O princípio dos sistemas de refrigeração passiva é fazer circular pelo edifício o ar fresco da noite e das primeiras horas do dia. Este ar refresca os elementos de armazenamento térmico do edifício. Durante o dia estes elementos captam o calor do ambiente interior, refrigerando-o.

A preocupação crescente com a redução do consumo energético dos edifícios traduziu-se, nos últimos anos, na adopção de estratégias para a envolvente dos edifícios, cada vez mais estanques. Estas estratégias, quando não acompanhadas pelo dimensionamento de dispositivos de ventilação que garantam um patamar mínimo de renovação do ar, dão origem a uma fraca qualidade do ar interior, a formação de humidades de condensação e ao desenvolvimento de bolores. É evidente que não se pode reduzir os gastos energéticos à custa da saúde e conforto dos ocupantes, nem provocando patologias construtivas que, inevitavelmente, conduzirão a custos acrescidos. Idealmente, deverá existir uma maior integração dos conceitos passivos de aquecimento, arrefecimento e ventilação, podendo a ventilação natural surgir como uma solução para assegurar uma boa qualidade do ar interior e aceitáveis condições de conforto.

Em situação de Verão os compartimentos principais devem ser arejados sobretudo por abertura das janelas. Para isso devem possuir vãos praticados nas paredes, em comunicação directa com o exterior. Nos compartimentos interiores, em situação de

Verão, dificilmente serão atingidos os caudais de ventilação previstos na norma NP 1037-1 [45].

A forma mais usual de criar movimento de ar é abrir as janelas do edifício e permitir que ar mais fresco penetre no interior. É importante não esquecer que podem desta forma entrar partículas de pó em suspensão, bem como se anula a capacidade de isolamento ao ruído exterior. Poderá também ser desconfortável uma ventilação que supere uma determinada velocidade. A implementação de disposições construtivas conducentes a uma ventilação adequada pode ser inviabilizada pelo facto de outros projectos de especialidade do edifício não entrarem em linha de conta com essas disposições. Nesse sentido, deve ser assegurada a coordenação entre os projectistas das diferentes especialidades.

A localização das grelhas nas fachadas dos edifícios é muito importante uma vez que pode, ou não, favorecer o mecanismo da ventilação natural. No entanto, nem sempre a configuração e a geometria do edifício permitem o melhor posicionamento, existindo diferentes opções:

- ventilação cruzada - varias grelhas em fachadas opostas A localização mais favorável das grelhas é aquela em que os dispositivos são colocados em fachadas opostas, aproveitando o potencial do gradiente de pressões que podem existir entre as fachadas;
- ventilação unilateral - varias grelhas numa única fachada, na impossibilidade de implementar a configuração anterior, porque os edifícios apenas possuem uma fachada disponível, as grelhas deverão ser aí colocadas. Os edifícios com aberturas numa única fachada são de ventilação difícil, mesmo nos períodos em que o vento incide directamente nas mesmas. Se for este o caso, é desejável a colocação de aberturas espaçadas, como forma de melhorar o escoamento, pois o vento não incide exactamente na perpendicular, excepto em casos pontuais. No caso de um espaço em que só se possa colocar aberturas num único lado, é preferível colocar duas aberturas afastadas. Pode-se ainda recorrer a elementos arquitectónicos - bandeiras de ventilação - de forma a induzir e melhorar a ventilação natural no edifício [25].
- ventilação natural por deslocamento - varias aberturas em fachadas opostas e a alturas diferentes. O conceito que serve de base a este tipo de ventilação é a insuflação de ar novo e fresco a baixa velocidade e a um nível próximo do pavimento. O calor libertado pelos equipamentos e ocupantes do compartimento alimentara depois a convecção natural, fazendo com que o ar novo e fresco circule subindo junto a estas fontes de calor como resultado das diferentes densidades do ar. Num nível mais elevado, já fora da zona de ocupação, acumula-se o ar "contaminado" e aquecido, que é depois removido pela extracção.

---

#### Referências:

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios de Habitação. DL 64/1990, de 12 de Fevereiro.
- Moreira da Costa, J., "Métodos de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação", Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1995.
- IPQ, "Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural", Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1, Lisboa, 2002.
- Santos, C.A.P., Martins L., Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Lisboa, LNEC, 2006. ITE 50.

## FA CBE 4.2

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

## CBE 4 – Distribuição de Calor

## Indicador de Qualidade: CBE 4.2 – Trocas de Calor por Radiação

**Objectivo:**

A concepção do edifício deverá favorecer a distribuição da energia armazenada nos elementos de construção e os ganhos internos, no Inverno, e a dissipação do calor em excesso, no Verão. Garantindo o conforto térmico dos ocupantes, minimizar as situações de desconforto local provocadas pela ocorrência de assimetrias da temperatura radiante.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Dispositivos de protecção</b> <sup>(1)</sup>
4	O projecto prevê a utilização de dispositivos de protecção reguláveis pelo exterior.
3	O projecto prevê a utilização de dispositivos de protecção reguláveis pelo interior.
2	O projecto prevê a utilização de dispositivos de protecção não reguláveis.
1	O projecto prevê a utilização de cortinas interiores muito transparentes de cor clara.
	<b>B – Sistemas de sombreamento</b> <sup>(2)</sup>
4	O projecto prevê sistemas fixos a Sul e móveis a Este e Oeste e utilização de vegetação
3	O projecto prevê sistemas fixos a Sul e móveis a Este e Oeste.
2	O projecto prevê sistemas fixos a Sul, Este e Oeste.
1	O projecto prevê a utilização de vegetação.
	<b>C – Refrigeração por radiação nocturna</b> <sup>(3)</sup>
4	O projecto contempla a utilização da refrigeração passiva por radiação nocturna.
1	O projecto não contempla utilização da refrigeração passiva por radiação nocturna.

(1) A utilização de protecções solares nos vãos envidraçados expostos à radiação solar contribui para o arrefecimento interior, evitando o sobreaquecimento principalmente no Verão. As protecções reguláveis (manobráveis) têm um melhor desempenho, permitem regular a entrada da radiação solar e da iluminação natural e reduzir as perdas de calor durante a noite.

(2) O sombreamento é um factor essencial para um bom comportamento térmico das fachadas, com excepção das fachadas orientadas a Norte. E deve ser considerado com muito cuidado, tendo em consideração a geometria solar do local.

(3) A refrigeração por radiação nocturna utiliza elementos que absorvem o calor do edifício e o arrefecem radiando energia para o exterior. Entre dois corpos localizados frente a frente existe sempre uma troca de calor por radiação, de tal forma que, em balanço, existe sempre uma transferência de calor do corpo quente para o corpo frio. Pode-se aproveitar este fenómeno para refrigerar o edifício.

**Modo de Avaliação:**

1. Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente a configuração do edifício em planta e a localização e caracterização dos dispositivos de ocultação/protecção e de sombreamento.
2. Os elementos escritos e desenhados conter informação suficiente para caracterizar os sistemas de refrigeração passiva, dispositivos de oclusão/protecção e de sombreamento, propriedades dos vãos envidraçados e dos sistemas de refrigeração por radiação nocturna, caso estejam previstos.

---

**Linha de Orientação:***i: Sistemas de Sombreamento*

O sombreamento pode ser feito por elementos naturais: através de vegetação, que poderá ser de folha caduca e desta forma permitir a passagem dos raios solares no Inverno, e/ou através da localização do edifício em relação relevo do terreno (lote). Pode também ser feito pela concepção arquitectónica, através da distribuição dos vãos pelas diferentes orientações, pela localização em relação às outras construções, pela própria volumetria e forma do edifício. Podem também ser utilizados elementos construtivos acessórios horizontais ou verticais fixos, tais como palas (metálicas, de betão armado, de alvenaria, etc.), móveis ou orientáveis, com a vantagem adicional do baixo peso e custo, e de ser possível obter vários graus de transparência e regulação do fluxo solar, com maiores ou menores factores de sombreamento.

A localização e o dimensionamento dos elementos de sombreamento fixos ou móveis de ser cuidada, os elementos horizontais têm um bom desempenho quando aplicados nos vãos envidraçados orientados a Sul e os elementos verticais têm um melhor desempenho quando aplicados nos vãos envidraçados orientados a Este ou a Oeste.

*ii: Refrigeração por Radiação Nocturna.*

A refrigeração indirecta utiliza elementos (superfície radiante ou elemento de armazenamento térmico) que absorvem o calor do edifício e o refrigeram radiando energia para o exterior ou permitindo o fluxo de ar fresco através dele. A radiação é um dos sistemas de refrigeração indirecta e o outro é a ventilação nocturna dos elementos que armazenam o calor [49].

Utiliza-se um elemento de armazenamento térmico (material pesado ou água) na cobertura do edifício. Um dos sistemas que podem ser implementados é sistema da cobertura com água, este sistema tem a dupla função de aquecimento no Inverno e arrefecimento no Verão. No Verão, e durante o dia, este material é coberto com isolamento, de tal forma que absorve o calor do ambiente interior e não a radiação do Sol. Durante a noite o isolamento é retirado e o elemento de armazenamento irradia o calor para o exterior. A refrigeração por radiação nocturna é especialmente útil quando a diferença de temperaturas entre o dia e a noite ultrapassa os 10°C e quando as noites são de céu limpo, já que a presença das nuvens diminui a radiação de energia para o céu. Por esta razão é conveniente que a superfície radiante seja na cobertura, porque esta tem um factor de exposição ao céu maior que as superfícies verticais (que irradiam apenas 50% em relação às superfícies horizontais [49]).

---

**Informação Complementar:**

A opção por sistemas fixos de sombreamento é sempre menos versátil que a de elementos móveis ou orientáveis, já que estes podem ser realizados em materiais e sistemas de fácil reutilização, pelo que o seu impacto ambiental é normalmente reduzido, sendo rapidamente amortizáveis em termos de balanço energético entre a energia gasta na sua produção e a energia economizada pela sua utilização.

Nos edifícios os dispositivos de sombreamento podem ter de desempenhar várias funções, como sejam: i) a protecção contra os ganhos solares, ii) o controlo do encandeamento, iii) o controlo e modelação da iluminação natural, iv) a possibilidade de obscurecimento e de ocultação, v) a garantia de privacidade, vi) a possibilidade de contacto com o exterior, entre outras.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Pedro, J.B., “Definição e Avaliação da Qualidade Arquitectónica Habitacional”, Tese de Doutoramento, FAUP, Porto, 2000.
- Mendonça, P., “Habitar Sob uma Segunda Pele”, Tese de Doutoramento, UM, Guimarães, 2005.
- Mitjá, A.; Esteve, J.; Escobar, J.J., “Estalvi d’energia en el disseny d’edificis”. Generalitat de Catalunya / Departament d’Indústria i Energia, Barcelona, 1986.
- Lanzinha, J., “Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção”. Tese de Doutoramento, UBI, Covilhã, 2006.
- FABUTE – Faculty of Architecture of Budapest University of Technology and Economics Fundamentals of Building; “Physics and Fundamentals of Solar Architecture”; 2003 [Consult. 06 Março 2005]. Disponível em <http://www.egt.bme.hu/index.htm>.



#### 4.2.2. Avaliação da Qualidade do Ambiente Interior (QAI)

Na caracterização do clima interior dos edifícios incluem-se os parâmetros ambientais relacionados, por um lado com os consumos energéticos de climatização artificial e, por outro lado as condições de conforto dos ocupantes desses edifícios. No primeiro caso, que se poderá designar de clima físico interior, a temperatura do ar, humidade relativa, iluminação, velocidade do ar, existência de odores, microorganismos ou poeiras em suspensão no ar, ruído, etc. O segundo caso, que se poderá designar de clima fisiológico, engloba vários parâmetros influentes sendo muito mais complexas as suas inter-relações, do ponto de vista do ser humano, abrange os aspectos relacionados com o conforto térmico, mas igualmente o conforto visual, o conforto acústico e a qualidade do ar interior.

De seguida, apresentam-se as fichas de avaliação e diagnóstico relativas a esta categoria, os vários princípios de concepção e respectivos indicadores de qualidade.

## FA QAI 1.1

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

## QAI 1 – Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes

## Indicador de Qualidade: QAI 1.1 – Conforto Térmico

## Objectivo:

Garantir condições de bem-estar e conforto térmico no interior do edifício, de modo a satisfazer as necessidades dos ocupantes, em função dos factores individuais e dos factores ambientais, de forma a manter o equilíbrio térmico entre o corpo humano e o interior dos edifícios.

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Temperatura do ar</b> <sup>(1)</sup>
4	A localização e distribuição dos vãos envidraçados, a organização interna dos espaços, o sistema de ventilação e a localização das fontes de aquecimento/arrefecimento (caso esteja prevista a climatização) permitem uma distribuição uniforme do calor.
1	A localização e distribuição dos vãos envidraçados, a organização interna dos espaços, o sistema de ventilação e a localização das fontes de aquecimento/arrefecimento (caso esteja prevista a climatização) não permitem uma distribuição uniforme do calor.
	<b>B – Correntes de ar</b> <sup>(2)</sup>
4	Grelhas auto-reguláveis de admissão de ar na caixa de estore ou na parte superior dos vãos envidraçados ou nas paredes exteriores na zona das fontes de calor.
3	Grelhas reguláveis de admissão de ar na caixa de estore ou na parte superior vãos envidraçados ou nas paredes exteriores na zona das fontes de calor.
2	Aberturas não reguláveis de admissão de ar na caixa de estore.
1	Janelas, portas e caixas de estore sem dispositivos para controlar as infiltrações de ar.
	<b>C – Temperatura radiante</b> <sup>(3)</sup>
4	$Y \leq 2$
3	$2 < Y \leq 3,5$
2	$3,5 < Y \leq 5$
1	$5 < Y \leq 6$
0	$Y > 6$
	<b>D – Temperatura do pavimento</b> <sup>(4)</sup>
4	Aquecimento com piso radiante com controlo independente para todos os compartimentos.
2	Aquecimento com piso radiante com controlo de temperatura por zonas.
1	Aquecimento com piso radiante com um dispositivo de controlo de temperatura geral.

(1) A localização das fontes de aquecimento/arrefecimento, a organização interna dos espaços e o sistema de ventilação permitem uma distribuição uniforme do calor. A temperatura do ar no interior dos compartimentos deve ser o mais uniforme possível, tanto na vertical como na horizontal, durante o tempo em que estão ocupados em função do tipo de ocupação, para evitar condições de desconforto, tais como, temperatura demasiado baixas ou o sobreaquecimento.

(2) Os dispositivos de admissão de ar, aberturas auto-reguláveis, serão dimensionados de acordo com as necessidades dos compartimentos que servem e deverão estar localizados de forma a não criarem descontos dos ocupantes, altura superior a 2,00 m ou com pré-aquecimento do ar, de forma a que a velocidade do ar interior não exceda os 0,2 m/s. A caixilharia deve ser ensaiada em relação à permeabilidade ao ar e nas portas e janelas exteriores devem ser aplicados de vedantes.

(3) Devem ser controladas as assimetrias de temperatura radiante de janelas ou de outras superfícies verticais e as assimetrias de temperatura radiante de superfícies horizontais (tectos quentes ou frios). As janelas devem ter dispositivos de oclusão/protecção para minimizar as perdas de calor no Inverno, principalmente durante a noite e nas janelas orientadas a Norte e para reduzir os ganhos de calor no Verão nas janelas orientadas a Este e principalmente a Oeste. A avaliação do requisito "Temperatura radiante" é expressa pela comparação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com dispositivos de oclusão/protecção ( $U_{env.}$ ) com o valor do coeficiente de transmissão térmica do elemento opaco vertical adjacente ( $U_{ext.}$ ), é efectuada pela determinação da relação  $Y = U_{env.} / U_{ext.}$ .

(4) Segundo a norma ISO 7730-2005 [159] a temperatura do pavimento deverá estar compreendida entre 19°C e 26°C.

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referente à climatização, sistemas de ventilação, características e localização das fontes de climatização e dos dispositivos de admissão de ar, caso existam, em função do tipo de ocupação e da distribuição interna dos compartimentos.

1. Do projecto do edifício deve fazer parte o projecto de ventilação com o dimensionamento e as características e a localização das aberturas de admissão de ar, passagens interiores e aberturas de exaustão.
2. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto do edifício deve constar a localização e caracterização dos dispositivos de oclusão/protecção dos vãos envidraçados e a caracterização dos tectos e dos pavimentos.
3. Dos elementos desenhados devem fazer parte desenhos de pormenor, cotados e legendados, com escala adequada contendo informação suficiente para determinar o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente vertical exterior e o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, o valor de verificação será obtido pela média ponderada dos vários tipos de vãos envidraçados e elementos da envolvente opaca vertical exterior,  $Y = [\sum (U_{env.} \cdot A_{env.}) / \sum A_{env.}] / [\sum (U_{ext.} \cdot A_{ext.}) / \sum A_{ext.}]$ .
4. Do projecto do edifício, sempre que seja previsto a aplicação de sistemas de aquecer/arrefecer, deve fazer parte o projecto de climatização com o dimensionamento e as características e a localização dos sistemas aquecimento/arrefecimento e o tipo dos dispositivos de controlo.

**Linha de Orientação:***i: Sensação Térmica do Ser Humano*

A sensação de conforto térmico do ser Humano refere-se principalmente ao estado térmico da globalidade do seu corpo, sendo este estado influenciado por dois tipos de factores [56]:

- factores individuais (dependentes do indivíduo):
  - actividade física;
  - vestuário;
  - aclimatização.
- factores ambientais:
  - temperatura do ar;
  - temperatura média radiante;
  - velocidade relativa do ar;
  - humidade relativa do ar ou pressão parcial do vapor.

Além disso, variáveis como o sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura, etc., podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa e devem ser consideradas.

*ii: Factores de Desconforto Local*

Um indivíduo pode considerar que a temperatura ambiente está agradável, mas sentir-se desconfortável em consequência, quer de uma corrente de ar, quer de calor em excessivo numa zona localizada do corpo. Situações deste tipo denominam-se de "desconforto local" e afectam essencialmente pessoas em actividade sedentária [54].

Os factores que provocam o desconforto local são:

- assimetria de temperatura radiante de superfícies verticais (paredes frias ou

- quentes, vãos envidraçados) ou horizontais (tectos quentes ou frios) ( $\Delta t_{rm}$ );
- correntes de ar ( $v_a$ ), taxa de corrente de ar ( $DR$ );
- temperatura do pavimento demasiado elevada ou baixa ( $t_p$ );
- diferenças de temperatura do ar na vertical ( $\Delta t_a$ ).

Numa situação em que um indivíduo está sentado de costas para um envidraçado numa sala devidamente aquecida e sente frio nas costas, verifica-se uma situação de desconforto localizado causado por uma assimetria de temperatura radiante. Assimetria radiante define-se como a diferença entre a temperatura radiante em dois lados opostos de uma pessoa. Os dados disponíveis referem-se somente a pessoas sentadas e estas são mais sensíveis a assimetrias radiantes provocadas por tectos quentes e paredes frias, [54,57].

Uma corrente de ar é sentida por um indivíduo quando parte do corpo está exposto a uma velocidade excessivamente elevada do ar causando um arrefecimento do corpo (perdas por convecção). A corrente de ar é uma das maiores fontes de queixas e pode ser quantificada através de um parâmetro denominado de "taxa de corrente de ar",  $DR$ , que permite estimar a percentagem de pessoas que é incomodada por uma corrente de ar. A taxa de corrente de ar pode ser calculada através da equação empírica [53,57]:

$$DR = (34 - T_a) \cdot (v_{ar} - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_{ar} \cdot T_u + 3,14)$$

em que:

$T_a$  - temperatura do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ] ( $20^{\circ}\text{C} < T_a < 26^{\circ}\text{C}$ );

$v_{ar}$  - velocidade média do ar [m/s] ( $v_{ar} < 0,5$  m/s);

$T_u$  - intensidade da turbulência local definida como sendo a razão entre o desvio padrão da velocidade e a velocidade média no local, em % ( $10\% < T_u < 60\%$ ).

O modelo anterior aplica-se a pessoas sentadas e percepcionando a corrente de ar na cabeça, pescoço e ombros (a aplicação ao nível dos braços ou pés pode levar a uma sobrestimação). O desconforto derivado de correntes de ar não é tão percepcionado por pessoas que se sentem ligeiramente quentes ou que desempenhem actividades "pesadas" [57].

### iii: Valores Admissíveis dos Factores de Desconforto Local, a Verificar:

#### a) Assimetria da temperatura radiante

A norma ISO 7730-2005, [57], recomenda que, para garantir que mais de 90% dos ocupantes não sintam desconforto, as assimetrias de temperatura radiante de janelas ou de outras superfícies verticais devem ser inferiores a 10 C.

No caso de assimetrias de temperatura radiante de superfícies horizontais, o seu valor deverá ser inferior a 5 C.

#### b) Correntes de ar, taxa de corrente de ar ( $DR$ );

A corrente de ar é uma das causas mais comuns de desconforto local. O valor limite recomendado, pela norma ISO 7730-2005, [57], para a taxa de corrente de ar,  $DR$ , é de 15%.

#### c) Diferenças de temperatura do ar na vertical

Em [57] refere-se que para actividade sedentária (1,2 met), a temperatura pode ser superior à temperatura de conforto no máximo em 3°C e a velocidade média deve ser no máximo de 0,82 m/s.

#### d) Temperatura do pavimento

Segundo a norma ISO 7730-2005, [57], a temperatura do pavimento deverá estar compreendida entre 19°C e 26°C. Se a temperatura do pavimento estiver demasiadamente elevada ou demasiadamente baixa, um indivíduo pode sentir-se desconfortável por ter os pés quentes ou frios demais. Para pessoas que usem

calçado “leve” o tipo de material de revestimento é indiferente, no entanto, para pés descalços recomenda-se o uso de revestimentos têxteis ou de madeira [57] e [60].

---

**Informação Complementar:**

As fontes de aquecimento devem ser localizadas sob os vãos envidraçados ou nas paredes da envolvente exterior de modo a permitir uma distribuição uniforme da temperatura do ar.

As aberturas de admissão de ar devem ser colocadas de forma a realizarem a admissão directa do ar exterior, podendo ser aplicadas nas janelas, nas caixas de estore ou nas paredes da envolvente exterior por de traz das fontes de aquecimento. A sua localização deve ser escolhida de maneira a que não exista a possibilidade de virem a ser obstruídas pelo mobiliário e devem ser posicionadas de forma a não serem causa de desconforto para os ocupantes, nem serem responsáveis por infiltrações de água.

No caso particular de temperaturas elevadas (estação de arrefecimento;  $T_a > 26^\circ\text{C}$ ), a velocidade do ar pode ser benéfica (nomeadamente através do controlo pessoal da abertura de janelas ou ventiladores no tecto), pois pode permitir temperaturas maiores que a temperatura de conforto.

Deve notar-se que o desconforto local pode ser mais crítico do que o desconforto global devido a um inadequado estado térmico global do corpo, uma vez que a insatisfação admissível é menor (como é caso das diferenças de temperatura do ar na vertical ou da assimetria de radiação) [59].

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Viegas, J. C., “Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios – Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.
- ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Ansi/Ashrae Standard 55-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2004.
- Matias, L., “Conforto Térmico em Ambientes Interiores, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, 2000.
- ISO, Ergonomics of the Thermal Environment. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, ISO 7730, International Organization for Standardization, Geneva, 2005.
- ASHRAE, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2005.
- Santos, C.A.P., Martins L., Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Lisboa, LNEC, 2006. ITE 50.

## FA QAI 1.2

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

## QAI 1 – Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes

## Indicador de Qualidade: QAI 1.2 – Qualidade do Ar

**Objectivo:**

Garantir condições de bem-estar e qualidade do ar no interior do edifício, de modo a satisfazer as necessidades dos ocupantes, é desejável que o ar seja percebido como fresco e agradável, isto é, não tenha impacto negativo na saúde e que estimule a actividade dos ocupantes. A qualidade do ambiente interior pode ser mantida desde que seja realizada a ventilação dos compartimentos de forma adequada e da qualidade do ar exterior. A qualidade do ar interior deve ser assegurada quer com a finalidade de evitar que a humidade e os poluentes perigosos atinjam concentrações que possam por em risco a saúde dos ocupantes, quer com a finalidade de manter um ambiente agradável.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Ventilação Natural <sup>(1)</sup></b>
4	Ventilação natural controlada – através de grelhas auto-reguláveis na fachada e assistida por condutas verticais.
3	Ventilação natural controlada – através de grelhas reguláveis na fachada e assistida por condutas verticais.
2	Ventilação natural controlada – através de aberturas na fachada.
1	Ventilação natural sem dispositivos de controlo da admissão de ar (infiltrações de ar).
	<b>B – Outras estratégias de ventilação <sup>(2)</sup></b>
4	Ventilação mecânica - Extracção mecânica (Ventilação híbrida).
3	Ventilação mecânica – Sistemas balanceados (Insuflação e extracção mecânica).
2	Ventilação mecânica - Insuflação mecânica.
1	O projecto do edifício não prevê outras estratégias de ventilação, além da ventilação natural e de um exaustor sobre o fogão na cozinha.
	<b>C – Concentrações de referência <sup>(3)</sup></b>
4	O projecto do edifício prevê o controlo das fontes de poluição do ar.
2	O projecto do edifício prevê o controlo das fontes de poluição, além de um exaustor sobre o fogão na cozinha.
1	O projecto do edifício prevê a colocação de um exaustor sobre o fogão na cozinha.
0	O projecto do edifício não prevê o controlo das fontes de poluição do ar.

(1) Os fenómenos da ventilação natural são muito variáveis no tempo e no espaço, o que dificulta o controlo das taxas de ventilação do edifício. Deste modo, podem ocorrer períodos em que os diferentes fenómenos (gradiente de temperatura e pressão do vento) agem em simultâneo, aumentando as referidas taxas ou, agem em sentidos opostos, reduzindo drasticamente a ventilação do edifício. No sentido de minorar este efeito desenvolveram-se sistemas e estratégias de controlo que permitem otimizar o recurso à ventilação natural (aberturas de admissão auto-reguláveis ou reguláveis automaticamente) embora se mantenha a sua dependência da temperatura, velocidade e direcção do vento.

(2) Quando a ventilação natural é insuficiente a renovação do ar interior pode ser complementada ou realizada por outras estratégias de ventilação, nomeadamente, extracção mecânica, a insuflação mecânica ou a combinação de ambos. Devendo privilegiar-se a extracção localizada em zonas com grande produção de humidade e/ou odores (cozinhar, instalações sanitárias).

(3) Na fase de concepção do projecto do edifício pode-se fazer o controlo das possíveis fontes de poluição no interior dos compartimentos, nomeadamente, a densidade de ocupação e equipamentos, a escolha dos materiais de revestimento, manutenção do sistema de ventilação.

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto referentes à ventilação, características e localização dos dispositivos de admissão e extracção de ar, em função do tipo de ocupação e da distribuição interna dos compartimentos.

1. O projecto deve dimensionar, caracterizar e localizar os sistemas de controlo da admissão de ar: grelhas auto-reguláveis, grelha reguláveis manualmente ou automaticamente com sensores de presença, diferenciais de pressão do ar ou sensores de concentração dos poluentes, se existirem dispositivos de extracção mecânica de ar (exaustor na cozinha) estes devem igualmente possuir dispositivos de controlo automáticos de modo a permitirem permanentemente um caudal mínimo.
2. O projecto deve dimensionar, caracterizar e localizar os sistemas de ventilação e sistemas de controlo (diferenciais de pressão do ar ou sensores de concentração dos poluentes).

**Linha de Orientação:***i: Actividades domésticas que constituem fontes de poluentes:*

De entre as actividades que constituem fontes de poluentes são de salientar [30]:

- a actividade fisiológica humana;
- o uso de tabaco;
- a combustão nos aparelhos a gás;
- a preparação de alimentos;
- a lavagem e secagem de loiça e roupa;
- a utilização das instalações sanitárias.

*ii: Critérios de qualidade do ar:*

No quadro 1 apresentam-se as concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios definidas no RSECE [2]:

**Quadro 4.32** - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios definidas no RSECE [2].

Parâmetros	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar (PM <sub>10</sub> )	0,15 mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de carbono	1800 mg/m <sup>3</sup>
Monóxido de carbono	12,5 mg/m <sup>3</sup>
Ozono	0,2 mg/m <sup>3</sup>
Formaldeído	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Compostos orgânicos voláteis totais	0,6 mg/m <sup>3</sup>
Microorganismos (bactérias e fungos)	500 unidades formadoras de colónias (UFC)
Legionella <sup>(1)</sup>	100 unidades formadoras de colónias (UFC)
Radon <sup>(2)</sup>	400 Bq/m <sup>3</sup>
(1) pesquisa obrigatória em edifícios com sistemas AVAC com produção de aerossóis;	
(2) pesquisa obrigatória em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.	

*iii: Taxas de Ventilação*

Por razões de conforto e de consumo de energia, na definição das taxas de ventilação consideram-se duas situações, uma correspondente ao caudal base e outra ao caudal máximo:

- caudal base, caudal necessário para assegurar a qualidade dos ar interior satisfatória e minimizar o risco de ocorrência de condensações, na ausência de actividades particularmente poluidoras e de sobre-ocupação dos compartimentos;

- caudal máximo, caudal de valor superior ao base que é momentaneamente imposto, principalmente para assegurar a remoção ou a diluição de poluentes gerados em algumas actividades como cozinhar, banhos nas instalações sanitárias e o funcionamento dos aparelhos de combustão.

*iv: Ventilação Natural Não Controlada (Infiltrações)*

A entrada do ar nos compartimentos efectua-se através de frinchas existentes na envolvente do edifício (caixilharias das portas e janelas). Este processo pode ser intensificado através da abertura de janelas e/ou portas. Trata-se de um processo simples mas desaconselhado uma vez que não existe qualquer tipo de controlo sobre a ventilação originando problemas quer no Inverno, quer no Verão:

- Inverno - ventilação deficiente; a não abertura das janelas pode provocar uma ventilação deficiente ou taxas de ventilação excessivas se, apesar das baixas temperaturas exteriores a abertura das janelas for efectuada, provocando correntes frias, desconforto nos ocupantes e, consequentemente, no caso de existir aquecimento aumento do consumo energético;
- Verão - neste período, o gradiente térmico é mais reduzido ocorrendo, por tal motivo, uma diminuição das taxas de ventilação e sobreaquecimento dos compartimentos.

O facto de, actualmente, existir uma melhoria no isolamento da envolvente dos edifícios, que incluem também a redução da área de frinchas, tem como consequência directa uma maior especificidade do edifício, ou seja, adverso aos fenómenos da ventilação natural.

*v: Ventilação Natural Controlada – Através de Aberturas na Fachada*

O princípio de funcionamento deste sistema de ventilação é semelhante a anterior, no entanto, os caudais de ar entram/saem do edifício através de aberturas propositadamente colocadas nas fachadas. Em consequência do aumento da qualidade da construção, que origina edifícios mais estanques, promove-se desta forma a entrada de ar no edifício através da inclusão de grelhas nas suas fachadas.

As grelhas a incluir nas fachadas podem ser de dois tipos: reguláveis e auto-reguláveis. Em ambos os casos, a abertura e o fecho dos dispositivos pode ser controlada manual ou automaticamente.

- grelhas reguláveis: este tipo de dispositivos em que a área de passagem pode ser regulada, não permite a regulação do caudal em função das condições interiores e exteriores. Ou seja, os caudais que as atravessam são totalmente dependentes da acção do vento e do gradiente de temperaturas, não sendo possível aumenta-los ou diminui-los, uma vez que se tratam de aberturas estáticas;
- grelhas auto-reguláveis: este último tipo de abertura permite a obtenção de um caudal de admissão aproximadamente constante, dentro de uma determinada gama de gradientes de pressão, e evita, totalmente, as exfiltrações de ar. São aberturas que funcionam em função do gradiente de pressão entre o interior e o exterior do edifício, fechando automaticamente sempre que o diferencial é negativo. No caso de diferenciais positivos, ajusta a área útil de passagem mantendo o caudal que a atravessa aproximadamente constante. A utilização das grelhas automáticas está fortemente associada a estratégias de ventilação com sistema de controlo automático.

*vi: Ventilação Natural Controlada – Assistida por Condutas Verticais*

Com o intuito de facilitar e incrementar o efeito da ventilação natural é comum adicionar aos dispositivos descritos (grelhas) condutas verticais. Esta técnica é frequente em habitações unifamiliares. As condutas verticais incrementam a extracção do ar do interior do edifício devido ao efeito de chaminé. Estas "chaminés" são parte integrante da construção e servem, geralmente, para remover



o ar das zonas húmidas como e o caso das cozinhas e das instalações sanitárias. Nestes casos, o ar admitido nos compartimentos principais (quartos e salas), através de aberturas existentes na fachada (grelhas, frinchas, janelas,...). Apesar de não existir um controlo dos caudais de ventilação, as aberturas e as condutas são dimensionadas de modo a garantir um caudal médio de ventilação, o que não evita a existência de situações extremas, tal como já foi referenciado.

#### *Vii: Ventilação Mecânica*

Num sistema de ventilação mecânica o gradiente de pressões é provocado pela existência de um, ou mais, ventiladores que, à custa de um consumo energético adicional, provoca uma diferença de pressões que promove a ventilação.

Neste tipo de sistemas, o controlo dos caudais de insuflação/extracção é mais eficaz do que num sistema de ventilação natural, eliminando quase na totalidade os fenómenos de ventilação provocados pela acção do vento e diferença de temperatura.

Nos edifícios podem existir três tipos de ventilação mecânica: insuflação mecânica, extracção mecânica e sistemas balanceados, que não são mais do que a combinação dos dois primeiros. Em todos eles existe um sistema de condutas, associado a um ou mais ventiladores, que, tal como já referido, promovem a circulação de ar no edifício através do gradiente de pressões que provocam, e que é proporcional aos caudais de ar em movimento.

- a) Insuflação Mecânica: neste sistema o ar é insuflado no edifício através de uma rede de condutas à qual está associado um ventilador. Desta forma o edifício é pressurizado e o ar é forçado a sair pelas frinchas, janelas ou grelhas existentes nas fachadas.

Uma das principais desvantagens deste método está associada ao controlo dos poluentes nas diferentes zonas e também do nível de humidade. Este tipo de sistema de ventilação é pouco usual nos edifícios em Portugal.

- b) Extracção Mecânica: sistema bastante difundido nos edifícios em Portugal. Neste caso, provoca-se uma depressão no interior do edifício, forçando-se a saída do ar por meios mecânicos. A localização destes sistemas é comum em zonas com grande produção de humidade e/ou odores (cozinhas e instalações sanitárias).

O facto de se criar uma depressão no edifício obriga a entrada de ar exterior através de frinchas, portas, janelas, entre outros. Para se aumentar a eficiência do sistema deve introduzir-se grelhas reguláveis nas fachadas do edifício, nomeadamente nos quartos e salas para se garantir uma melhor QAI.

- c) Sistemas Balanceados: o edifício dispõe de insuflação e extracção mecânica, totalmente independentes, tendo o sistema de insuflação, em média 90 a 95 % da capacidade do sistema de extracção provocando, deste modo, uma ligeira despressurização do edifício. O ar é insuflado nos compartimentos principal e extraído nos compartimentos de serviço, onde ocorre produção de vapor de água e odores. Nestes sistemas é possível a instalação de um recuperador de calor, que garante o pré-aquecimento do ar insuflado.

---

#### **Informação Complementar:**

Em edifícios residenciais, os sistemas de ventilação destinam-se no essencial a assegurar a qualidade do ar interior, fornecer ar novo para os aparelhos de combustão e assegurar a extracção dos produtos da combustão. Esta ventilação deve ser assegurada em condições de conforto, segurança e minimizando os consumos energéticos [69].

A admissão de ar exterior é requerida para salvaguardar a saúde dos ocupantes e tem, nomeadamente, as seguintes funções [70]:

- diluição e/ou remoção de poluentes, como por exemplo de substâncias emitidas pela mobília, materiais dos edifícios e produtos de limpeza, odores, CO<sub>2</sub> proveniente do metabolismo humano e vapor de água. A estes poluentes correspondem, normalmente, taxas de emissão baixas mas contínuas e difusas;
- diluição e/ou remoção de poluentes específicos de fontes identificadas, como por exemplo odores provenientes de instalações sanitárias, da cocção dos alimentos, do vapor de água da cocção de alimentos ou banhos, do fumo do tabaco e dos produtos da combustão. A estes poluentes correspondem, normalmente, taxas de emissão relativamente altas mas de curta duração e localização específicas;
- provisão de oxigénio para a respiração dos ocupantes;
- controlo da humidade interna;
- provisão de ar para os aparelhos de combustão.

A localização das grelhas nas fachadas dos edifícios é muito importante uma vez que pode, ou não, favorecer o mecanismo da ventilação natural. A ventilação no interior dos edifícios deve ser geral e permanente, admissão de ar exterior pelos compartimentos principais (salas, quartos e escritórios) e a evacuação pelos compartimentos de serviço (cozinha, instalações sanitárias e lavandaria), devendo privilegiar-se a extracção localizada em zonas com grande produção de humidade e/ou odores (cozinhar, instalações sanitárias).

Para garantir as condições de bem-estar e qualidade do ar no interior do edifício é fundamental assegurar a manutenção e a limpeza dos elementos do sistema de ventilação.

---

#### Referências:

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. DL 79/2006, de 04 de Abril.
- Viegas, J. C., “Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios – Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.
- ASHRAE, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Ansi/Ashrae Standard 62.1-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers”, Atlanta, USA, 2004.
- ASHRAE, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2005.
- Ferreira, P.A., “Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios – Análise Energética Resultante da Implantação de sistemas de Ventilação Inovativos”, Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 2006.
- Pinto, A., “Ventilação Mecânica de Edifícios de Habitação”, Relatório 01/2006-NCI.

## FA QAI 1.3

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

## QAI 1 – Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes

## Indicador de Qualidade: QAI 1.3 – Conforto Visual

**Objectivo:**

Garantir o conforto visual em função das necessidades de iluminação no interior dos edifícios. Uma boa iluminação do ambiente de trabalho contribui para aumentar a satisfação, melhorar a produtividade e reduzir a fadiga e os acidentes. A obtenção de um ambiente luminoso interior confortável, depende essencialmente da quantidade, da distribuição e da qualidade da luz e deve ser eficiente do ponto de vista energético.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Sistemas de iluminação</b> <sup>(1)</sup>
4	Os compartimentos têm iluminação natural para a iluminação geral e para algumas tarefas.
3	Os compartimentos têm iluminação natural para a iluminação geral.
2	A iluminação natural é complementada pela iluminação artificial durante parte do dia.
1	A iluminação natural é complementada pela iluminação artificial durante todo o dia.
0	Os compartimentos são iluminados artificialmente durante todo o tempo de ocupação.
	<b>B – Níveis de iluminância</b> <sup>(2)</sup>
4	Os níveis de Iluminâncias estão adequados às tarefas visuais a desempenhar.
1	Os níveis de Iluminâncias não são adequados às tarefas visuais a desempenhar.
	<b>C – Contraste</b> <sup>(3)</sup>
4	As reflectâncias das superfícies de revestimento respeitam os valores recomendados.
2	As reflectâncias das superfícies de revestimento não respeitam os valores recomendados para o tecto.
1	As reflectâncias das superfícies de revestimento não respeitam os valores recomendados para o tecto e para as paredes próximas de fontes de luz.
	<b>D – Encandeamento</b> <sup>(4)</sup>
4	O projecto prevê a utilização de dispositivos de oclusão/protecção exteriores móveis.
3	O projecto prevê a utilização de dispositivos de oclusão/protecção interiores móveis.
2	O projecto prevê a utilização de dispositivos de oclusão/protecção exteriores fixos.
1	O projecto não prevê a utilização de dispositivos de oclusão/protecção.

(1) A obtenção de um ambiente luminoso interior confortável, depende essencialmente da quantidade, da distribuição e da qualidade da luz nesse espaço. A distribuição da luz num determinado espaço deve ser tal que diferenças excessivas em luz e sombra sejam evitadas, pois podem ser causa de perturbações na qualidade visual dos ocupantes.

(2) Uma iluminação desadequada pode ser causa de fadiga, dores de cabeça, irritabilidade, não falando das consequências em erros e acidentes decorrentes dessa desadequada iluminação.

(3) Em termos simples, o contraste define-se como sendo a diferença entre a aparência visual de um objecto e a do seu fundo imediato. O contraste de luminâncias, ou de reflectâncias entre superfícies, é um dos aspectos mais importantes nas questões relacionadas com o conforto visual.

(4) O encandeamento é causado pela introdução de uma fonte de luz muito intensa no campo de visão. Deve evitar-se a incidência da radiação solar nos olhos dos ocupantes, directa ou indirectamente, nomeadamente, através de dispositivos de oclusão/protecção exteriores fixos (reguláveis) ou móveis ou através de dispositivos de interiores móveis.

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referentes à iluminação, características e localização das fontes de iluminação e as características do tratamento das superfícies interiores em função do tipo de tarefas a desempenhar e do tipo de ocupação.

1. Nos elementos escritos do projecto do edifício devem constar, informações para determinar as reflectâncias das superfícies interiores, as características do acabamento e a cor das superfícies interiores.
2. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto do edifício deve constar a caracterização dos dispositivos de iluminação adequados às tarefas visuais a desempenhar.
3. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto do edifício deve constar a caracterização dos dispositivos de oclusão/protecção dos vãos envidraçados e a caracterização dos tectos e dos pavimentos.

**Linha de Orientação:**

*i: Reflectâncias (R) luminosas para várias superfícies interiores.*

**Quadro 4.33** - Reflectâncias (R) luminosas de algumas superfícies [30].

<b>Materiais usados no interior</b>	<b>R (%)</b>
Papel branco	80
Aço inoxidável	40
Betão	40
Madeira clara	40
Madeira escura	10
Tijoleira	10
Ladrilhos de cortiça	20
Vidro das janelas (incolor)	15
<b>Pinturas</b>	<b>R (%)</b>
Branco	85
Creme pálido	80
Cinzento claro	70
Amarelo forte	65
Verde forte	20
Cinzento médio	45
Vermelho forte	20
Azul forte	15
Cinzento escuro	15
Castanho escuro	10
Preto	5

**Quadro 4.34** - Reflectâncias (R) luminosas recomendadas [30].

<b>Superfícies interiores</b>	<b>R (%)</b>
Tectos:	70 – 85
Paredes próximas de fontes de luz:	60 – 70
Outras paredes:	40 – 50
Mobiliário:	25 – 45
Pavimentos:	15 – 30

ii: *Iluminâncias recomendadas para zonas interiores.*

**Quadro 4.35** - Iluminâncias recomendadas para zonas interiores [30] e [74].

Domínio	Iluminâncias Recomendadas (lux)	Tipo de actividade
Iluminação geral para áreas pouco utilizadas ou com poucas exigências do ponto de vista das tarefas visuais	20 - 50	Áreas públicas com zonas circundantes "escuras".
	50 - 100	Orientação simples apenas para visitas temporárias de curta duração.
	100 - 200	Compartimentos usados em actividades não contínuas (áreas de armazenagem, vestíbulos, átrios, etc.).
Iluminação geral em zonas interiores com exigências do ponto de vista das tarefas visuais	300 - 500	Tarefas com exigências visuais limitadas (trabalho com máquinas de pouca precisão, anfiteatros, etc.).
	500 - 1000	Tarefas com exigências visuais normais (salas de aula, gabinetes, trabalho com máquinas de precisão média, etc.).
	1000 - 2000	Tarefas com exigências visuais especiais (salas de desenho, gabinetes de arquitectura, tarefas de inspecção de materiais, etc.).
Iluminação Complementar para o qualidade de tarefas visuais que exijam grande exactidão	3000 - 5000	Tarefas que exijam um qualidade visual de elevada exactidão, durante um período longo (fabrico de relógios, industria electrónica, outras actividades de precisão, etc.).
	5000 - 7500	Tarefas visuais que exijam um qualidade visual excepcionalmente exacto (micro-electrónica).
	10000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais (cirurgias).

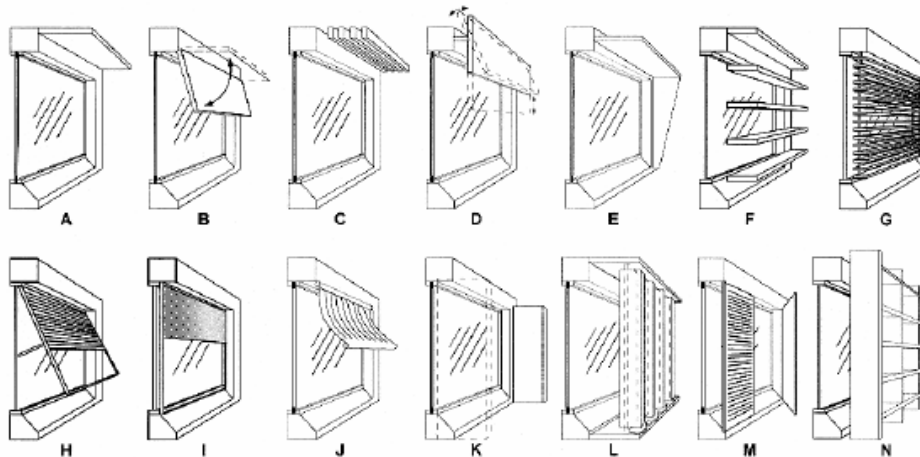
Como regra geral, de modo a conseguir-se uma adequada distribuição de luminâncias, as cores claras devem ser usadas para grandes superfícies, e cores brilhantes para as pequenas superfícies (o mobiliário, as portas, etc.).

iii: *Caracterização da capacidade de controlo e modelação da iluminação natural de alguns tipos de dispositivos de Ocultação/Protecção típicos.*

**Quadro 4.36** - Exemplo de critérios de caracterização da capacidade de controlo e modelação da iluminação natural de alguns tipos de dispositivos de Ocultação/Protecção típicos [95].

Tipo de dispositivos de Ocultação/Protecção		Modelação da iluminação natural	Controlo do encandeamento
Exteriores	Portadas opacas	0	1
	Estores exteriores de enrolar normais/projectáveis	1 / 2	1 / 2
	Estores de lamelas horizontais ajustáveis	3	3
	Palas de sombreamento fixas horizontais/verticais	0	1
Interiores	Portadas opacas	1	1
	Estores venezianos de lâminas ajustáveis	2	2
	Cortinas opacas	0	0
	Cortinas muito transparentes	1	1

Legenda: 0 – Ineficaz; 1 – Pouco Eficaz; 2 – Eficaz; 3 – Muito Eficaz



**Figura 4.8** - Exemplos de sistemas de oclusão/protecção solar exterior de vãos envidraçados [24].

---

**Informação Complementar:**

Os níveis de iluminação variam de acordo com o tipo de compartimento em questão. O dimensionamento do sistema de iluminação (natural e artificial) deverá ter em atenção os níveis de iluminâncias adequados já que um sobre-dimensionamento a este nível terá consequências ao nível dos consumos de energia para iluminação e, eventual arrefecimento. Por outro lado, o sub-dimensionamento deste sistema potenciará o aparecimento de fontes de luz adicionais, instaladas pelos utilizadores do compartimento, normalmente baseada em lâmpadas de baixa qualidade energética, terminando também por ser penalizante ao nível dos consumos de energia.

A iluminação artificial deve ser encarada como um modo de complementar a iluminação natural. Um ambiente iluminado naturalmente é, devido à maior sensação de ligação ao ambiente exterior que propicia, geralmente muito melhor aceite do que um ambiente que necessite sistematicamente de iluminação artificial. Sendo assim, a qualidade da iluminação de um ambiente interior passa, obviamente, pela optimização das condições de iluminação natural, [27], mas deve-se evitar a incidência da luz solar directa dentro dos compartimentos, para isso, o estudo da orientação do edifício deve ser feito com muito cuidado.

Investigações recentes têm vindo a demonstrar que quando a fonte de luz principal e a iluminação natural, em detrimento da iluminação artificial, os ocupantes dos edifícios têm tendência a aceitar uma maior gama de variações nos valores das iluminâncias, dentro dos parâmetros subjectivos de conforto visual [30].

A superfície de reflexão da luz interior mais importante é o tecto. Inclinar o plano do tecto para a fonte da luz natural aumenta a luz que é reflectida desta superfície. Em compartimentos pequenos a parede do fundo é a seguir a superfície mais importante porque está directamente de frente para a janela. Esta superfície deve também ter um revestimento de reflectância elevada. As paredes laterais seguidas pelo pavimento têm menos impacto na reflexão da luz natural no compartimento.

---

**Referências:**

- Sistema de Certificação Energética, DL 78/2006, de 04 de Abril.
- Santos, A.J., "A Iluminação Natural e A Iluminação Artificial - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, LNEC, 2000.
- IEA (2000). Daylight in Buildings: A Source Book on Daylighting Systems and Components.
- EN 12664:2002, "Lighting of work places – Part 1: Indoor work places". Brussels, Comité Européen de Normalisation.
- EN 12665:2002, "Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements". Brussels, Comité Européen de Normalisation.
- Santos, A.J., "Desenvolvimento de uma Metodologia de Caracterização das Condições de Iluminação Natural nos Edifícios Baseada na Avaliação (In Situ)". Lisboa, LNEC/FCUL, 2002. Dissertação de Mestrado.
- Commission Internationale de L'eclairage (CIE) – "Guide on Interior Lighting". CIE Publication N.º 29 (TC-4.1), 1975.
- Commission Internationale de L'eclairage (CIE) – "Guide on Interior Electric Lighting". CIE Publication N.º 29/2, 1986.
- Commission Internationale de L'eclairage (CIE) - International Lighting Vocabulary, 4th Ed. Paris: IEC/CIE, 1987.
- Santos, A.J., "Critérios para a Caracterização das Condições de Conforto Visual nos Edifícios". Aplicação a Sistemas Integrados de avaliação, LNEC, QIC2006.

## FA QAI 1.4

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

## QAI 1 – Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes

## Indicador de Qualidade: QAI 1.4 – Conforto Acústico

**Objectivo:**

Pretende-se com este indicador de qualidade um nível conforto acústico adequado nas zonas do edifício onde se exerçam actividades humanas que requeiram concentração e sossego (quartos e zonas de estar dos fogos).

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – <math>D_{2m,n,w}^{(1)}</math></b>
<b>4</b>	O valor obtido é no mínimo 3 dB superior ao limite regulamentar.
<b>1</b>	Satisfaz as condições regulamentares.
<b>0</b>	Não satisfaz as condições regulamentares.
	<b>B – <math>D_{n,w}^{(2)}</math></b>
<b>4</b>	O valor obtido é no mínimo 3 dB superior ao limite regulamentar.
<b>1</b>	Satisfaz as condições regulamentares.
<b>0</b>	Não satisfaz as condições regulamentares.
	<b>C – <math>L'_{n,w}^{(3)}</math></b>
<b>4</b>	O valor obtido é no mínimo 3 dB inferior ao limite regulamentar.
<b>1</b>	Satisfaz as condições regulamentares.
<b>0</b>	Não satisfaz as condições regulamentares.
	<b>D – <math>L_{Ar}^{(4)}</math></b>
<b>4</b>	O valor obtido é no mínimo 3 dB superior ao limite regulamentar.
<b>1</b>	Satisfaz as condições regulamentares.
<b>0</b>	Não satisfaz as condições regulamentares.

(1) O Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{2m,n,w}$ , esse limite é de 33 dB em zonas mistas e de 28 dB em zonas sensíveis.

(2) O Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{n,w}$  elementos de separação entre os compartimentos/locais de emissão e as zonas onde se exercem actividades que requeiram concentração e sossego (quartos e zonas de estar dos fogos).

(3) O Índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{n,w}$ , proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e as zonas onde se exercem actividades que requeiram concentração e sossego (quartos e zonas de estar dos fogos).

(4) O nível de avaliação de um ruído derivado de equipamentos colectivos e com sistemas de utilização de sistemas de ventilação mecânica,  $L_{Ar}$ . Para o caso de funcionamento intermitente, ou seja, a maior parte dos equipamentos, esse limite é de 35 dB(A) e 30 dB(A), respectivamente, no caso de equipamentos com funcionamento intermitente e funcionamento contínuo.

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente do projecto de condicionamento acústico/verificação dos requisitos acústicos do edifício e a classificação como zona sensível ou zona mista.

1. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto do edifício deve constar a caracterização pormenorizada dos elementos das partes opacas e envidraçadas, dos dispositivos de admissão de ar e as condições de vedação dos envidraçados e das caixas de estore, para determinar o valor o Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{2m,n,w}$ , esse limite é de 33 dB em zonas mistas e de 28 dB em zonas sensíveis.
2. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto do edifício deve constar a caracterização pormenorizada dos elementos de separação entre os compartimentos/locais de emissão e as zonas onde se exercem actividades que requeiram concentração e sossego (quartos e zonas de estar dos fogos), para determinar o valor o Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{n,w}$ , para comparar as condições regulamentares do RRAE [89] indicadas no quadro 4.37 da linha de orientação i.
3. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto do edifício deve constar a caracterização pormenorizada dos pavimentos de separação entre os compartimentos/locais de emissão e as zonas onde se exercem actividades que requeiram concentração e sossego (quartos e zonas de estar dos fogos), para determinar o valor o Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, normalizado,  $L'_{n,w}$ :  $L'_{n,w} \leq 60$  dB entre outros fogos ou locais de circulação comuns do edifício e  $L'_{n,w} \leq 50$  dB entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão.
4. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto do edifício deve constar a caracterização pormenorizada dos equipamentos colectivos e o tratamento das superfícies dos compartimentos onde estão instalados, para determinar o nível de avaliação de um ruído derivado de,  $L_{Ar}$ . Para o caso de funcionamento intermitente esse limite é de 35 dB(A) e 30 dB(A) no caso de funcionamento contínuo.

**Linha de Orientação:**

*i: Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado,  $D_{n,w}$ .*

**Quadro 4.37** - Condições regulamentar a satisfazer para o  $D_{n,w}$  [89], para edifícios habitacionais e mistos.

Compartimento / local de emissão	$D_{n,w}$ (dB)
Compartimentos de um fogo (edifício ou fracção autónoma) adjacente	$\geq 50$
Local de circulação comum do edifício	$\geq 48$
Local de circulação comum vertical, quando o edifício seja servido por ascensores	$\geq 40$
Garagem de estacionamento automóvel	$\geq 50$
Locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão	$\geq 50$

**Informação Complementar:**

A implantação de um novo edifício deve ter em consideração o nível sonoro do ruído do ambiente do local por forma a definir o qualidade da fachada no sentido de limitar o ruído no interior do edifício.

A implantação de um novo edifício deve ter em consideração o nível sonoro do ruído do ambiente do local por forma a definir o qualidade da fachada no sentido de limitar o ruído no interior do edifício. O ruído de tráfego é um grande responsável pelo ambiente sonoro, pelo que as medidas possíveis de minimização nos edifícios



podem ter lugar antes e após a implantação do edifício. A aplicação de medidas antes da implantação do edifício destina-se a diminuir a exposição do edifício ao ruído (para a implantação do edifício recomenda-se que o maior lado fique paralelo à via).

No caso de não existir ainda classificação da zona onde se localiza o edifício, deverá considerar-se como zona mista.

A constituição corrente das zonas opacas da envolvente vertical asseguram, na maioria dos casos, um isolamento adequado, é na transmissão sonora através das zonas envidraçadas que o problema se coloca.

Entre edifícios (habitações distintas) é imperioso o tratamento acústico, na medida em que lida com o domínio da privacidade a que todos têm direito.

A proliferação de equipamentos no interior dos edifícios contribui para o aumento da probabilidade de desconforto acústico.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Regulamento Geral do Ruído. DL 09/2007, de 17 de Janeiro.
- Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). DL 129/02, de 11 de Maio.
- CEN, Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings. Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustic, prEN 15 251, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2006.
- Patrício, J., “Isolamento Sonoro de Elementos de Compartimentação e Aspectos de Incomodidade - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.
- Domingues, O., “Ruído Ambiente - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.

## FA QAI 2.1

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

## QAI 2 – Sistemas de Controlo e Gestão

---

Indicador de Qualidade: **QAI 2.1 – Sistemas de Controlo e Gestão**


---

**Objectivo:**

Instalar sistemas de controlo automáticos para garantir condições de QAI de forma reduzir o consumo de energia, mas permitindo algum controlo das condições interiores pelos ocupantes.

---

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Controlo dos Sistemas de Iluminação <sup>(1)</sup></b>
<b>4</b>	O controlo é realizado por sensores de presença e reguladores de iluminação, por sistemas automáticos, permitindo a regulação pelos ocupantes.
<b>2</b>	O controlo é realizado por sensores de presença e reguladores de iluminação, por sistemas automáticos.
<b>1</b>	O controlo é realizado manualmente pelos ocupantes.
	<b>B – Controlo da Incidência da Radiação Solar <sup>(2)</sup></b>
<b>4</b>	O projecto prevê a utilização de dispositivos de regulação automática
<b>3</b>	O projecto prevê a utilização de dispositivos de regulação manuais.
<b>2</b>	O projecto prevê a utilização de dispositivos de regulação só no quadrante Sul.
<b>1</b>	O projecto não prevê a utilização de dispositivos de protecção/occlusão.
	<b>C – Controlo dos níveis de renovação de ar <sup>(3)</sup></b>
<b>4</b>	O projecto do edifício prevê a utilização de sistemas de controlo de admissão/extracção.
<b>3</b>	O projecto do edifício prevê a utilização de sistemas de controlo de admissão.
<b>2</b>	O projecto do edifício prevê a utilização de sistemas de controlo de extracção.
<b>1</b>	O projecto do edifício não prevê a utilização de sistemas de controlo.

(1) Os sistemas automáticos ou manuais de controlo e gestão da iluminação permitem adaptar a instalação às necessidades reais dos ocupantes, sendo elemento fundamental na gestão do binómio iluminação natural “versos” iluminação artificial. O controlo automático, dever ser feito em função dos níveis de iluminação (iluminâncias) e das condições de utilização dos compartimentos, através da utilização de sensores de presença ou de regulação dos níveis de iluminação.

(2) A utilização de protecções solares nos vãos envidraçados expostos à radiação solar contribui para reduzir a incidência da radiação solar no interior do edifício, evitando o encadeamento dos ocupantes e o sobreaquecimento principalmente no Verão. As protecções reguláveis (manobráveis) têm um melhor desempenho, permitem regular a entrada da radiação solar e da iluminação natural e as perdas de calor durante a noite.

(3) Os fenómenos da ventilação natural são muito variáveis no tempo e no espaço, o que dificulta o controlo das taxas de ventilação do edifício. Deste modo, podem ocorrer períodos em que os diferentes fenómenos (gradiente de temperatura e pressão do vento) agem em simultâneo, aumentando as referidas taxas ou, agem em sentidos opostos, reduzindo drasticamente a ventilação do edifício. No sentido de minorar este efeito desenvolveram-se sistemas e estratégias de controlo que permitem otimizar o recurso à ventilação natural, embora se mantenha a sua dependência da temperatura, velocidade e direcção do vento. Podem ser utilizadas grelhas reguláveis automáticas com sensores de presença, de pressão ou concentrações de CO<sub>2</sub>.

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referentes à iluminação, características e localização dos pontos de luz, em função do tipo de utilização e da interligação entre os dois sistemas de iluminação, aos sistemas de protecção solares e sistemas de gestão da renovação de ar.

1. O projecto de iluminação deve permitir uma iluminação uniforme em conformidade com às necessidades reais dos ocupantes, para isso deve ser controlada por sistemas de controlo mistos automáticos e manuais.
2. Nos elementos escritos e desenhados do projecto devem constar as caracterizadas das protecções nos vãos envidraçados, principalmente dos que estão expostos à radiação solar. As protecções reguláveis (manobráveis) podem ser reguladas automaticamente, manualmente ou mistas.
3. Nos elementos escritos e desenhados do projecto devem constar as caracterizadas das estratégias para a ventilação, tipo de grelhas de admissão e tipo de sistema de controlo, em função das necessidades dos ocupantes e de acordo com o tipo de utilização dos compartimentos. No dimensionamento do sistema de ventilação deve evitar-se que a regulação do caudal das grelhas de admissão pelos ocupantes conduza a variações de caudal significativas e não deve ser permitida a obstrução total.

**Linha de Orientação:***i: Controlo da Iluminação*

O controlo da iluminação pode ser feito em função dos níveis de iluminação natural ou em função das condições de utilização, de forma automática ou manual.

**Quadro 4.38** - Variáveis a controlar, condições de projecto necessárias e tipo de controlo possíveis [27].

Variáveis a controlar	Condições necessárias	Tipo de Controlo
Iluminação Natural	Zonamento de acordo com as condições de iluminação natural	- Sensores crepusculares - Interruptores horários (com capacidade de programação anual)
Condições de Utilização	Zonamento de acordo com as condições de utilização	- Sensores de presença - Interruptores temporizados

**Quadro 4.39** - Tipos de controlo possíveis para cada tipo de compartimento [27].

Tipo de Espaço	Variáveis a controlar	
	Iluminação Natural	Condições de Utilização
Zonas Comuns - Ocupação intermitente - Ocupação permanente	Interruptores horários Interruptores horários	- Sensores de presença; - Controlo temporizado; - Interruptores horários (adequação ao horário de funcionamento).
Zonas de Trabalho	Sensores crepusculares	- Interruptores horários (adequação ao horário de funcionamento); - Interruptores individuais de fácil acesso.

**Informação Complementar:**

A distribuição da luz num determinado espaço deve ser tal que diferenças excessivas em luz e sombra sejam evitadas pois podem ser causa de perturbações no desempenho visual dos ocupantes. Também os vãos envidraçados e os dispositivos

de iluminação artificial devem ser localizados de modo a que o encandeamento seja minimizado. Deve ainda ser prestada particular atenção a qualidade da luz pois tanto a sua composição espectral como a sua constância temporal e espacial devem ser adequadas as tarefas visuais. A análise do conforto visual em edifícios, e geralmente efectuada mediante a avaliação de determinados parâmetros e grandezas, como sejam as luminâncias, as reflectâncias, o contraste e o encandeamento [30].

A iluminação artificial deve ser encarada como um modo de complementar a iluminação natural. Um ambiente iluminado naturalmente é, devido à maior sensação de ligação ao ambiente exterior que propicia, geralmente muito melhor aceite do que um ambiente que necessite sistematicamente de iluminação artificial. Sendo assim, a qualidade da iluminação de um ambiente interior passa, obviamente, pela optimização das condições de iluminação natural, [27], mas deve-se evitar a incidência da luz solar directa dentro dos compartimentos, para isso, o estudo da orientação do edifício deve ser feito com muito cuidado.

Para aumentar a eficiência dos sistemas de ventilação natural e reduzir as perdas de energia com eles relacionadas deve-se recorrer a utilização de sistemas integrando sensores de presença e de diferenciais de pressão do ar, de modo a que com o funcionamento de actuadores que intervêm na secção útil das aberturas auto-reguláveis, se reduzam para metade os caudais de ventilação, quando os compartimentos não estiverem em funcionamento, com excepção da cozinha nos períodos de funcionamento do esquentador.

---

#### Referências:

- Santos, António J.; “A Iluminação Natural - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.
- Viegas, J. C., “Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios – Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.
- ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Ansi/Ashrae Standard 55-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2004.
- Matias, L., “Conforto Térmico em Ambientes Interiores, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, 2000.
- Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto – Fundação Gomes Teixeira, “Projecto REDENE. Rede de Edifícios Energeticamente Eficientes. Conceitos e Orientações”, 2000.
- ISO, Ergonomics of the Thermal Environment. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, ISO 7730, International Organization for Standardization, Geneva, 2005.
- CEN, Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings. Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustic, prEN 15 251, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2006.
- ASHRAE, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2005.
- Pinto, A., “Ventilação Mecânica de Edifícios de Habitação”, Relatório 01/2006-NCI.

#### 4.2.3. Avaliação do Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)

O consumo de energia no sector dos edifícios representa cerca de 17,8% do consumo final total do país, sendo cerca de 9,1% associado ao uso residencial e 8,7% aos serviços, o que equivale no total ao consumo de 3,2 Mtep (milhões de toneladas de equivalente de petróleo) [81].

O consumo de energia nos edifícios residenciais distribui-se aproximadamente da seguinte forma: 50% para as cozinhas e produção de águas quentes sanitárias (AQS), 25% para o aquecimento e arrefecimento e os restantes 25% para a iluminação e equipamentos (electrodomésticos) [81].

A combustão de combustíveis é responsável pela emissão de gases tóxicos como, por exemplo, compostos orgânicos voláteis (COV): dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e monóxido de carbono (CO); compostos nitrogenados: óxido nítrico (NO) e o dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ), designados vulgarmente por  $\text{NO}_x$  e compostos sulfurados: óxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  e  $\text{SO}_4$ ). Todos estes gases possuem efeitos extremamente perniciosos para o meio ambiente e para os ecossistemas; os óxidos de enxofre ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) juntamente com o  $\text{NO}_x$  ( $\text{HNO}_3$ ) são responsáveis pela formação das chuvas ácidas, o  $\text{CO}_2$  é um gás de efeito estufa (GEE) e a sua produção em excesso é responsável pelas alterações climáticas, o CO reduz a capacidade de captação de  $\text{O}_2$  pelos seres vivos, o que origina hipóxia/anóxia, podendo originar problemas ao nível do sistema nervoso central ou mesmo a morte.

De seguida, apresentam-se as fichas de avaliação e diagnóstico relativas a esta categoria, os vários princípios de concepção e respectivos indicadores de qualidade.

## FA IAE 1.1

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

## IAE 1 – Eficiência Energética da Concepção do Edifício

## Indicador de Qualidade: IAE 1.1 – Necessidades Anuais Globais de Energia

## Objectivo:

A concepção do edifício deverá favorecer a conservação da energia de modo a reduzir as das necessidades anuais globais de energia útil para climatização e para produção de água quente sanitária de forma a minimizar as emissões anuais de gases de efeito de estufa.

## Avaliação:

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Nic<sup>(1)</sup></b>
4	$i \leq 0,5$
3	$0,5 < i \leq 0,75$
2	$0,75 < i \leq 0,90$
1	$0,90 < i \leq 1,0$
0	$i > 1,0$
	<b>B – Nvc<sup>(2)</sup></b>
4	$v \leq 0,25$
3	$0,25 < v \leq 0,50$
2	$0,50 < v \leq 0,75$
1	$0,75 < v \leq 1,0$
0	$v > 1,0$
	<b>C – Nac<sup>(3)</sup></b>
4	$a \leq 0,25$
3	$0,25 < a \leq 0,50$
2	$0,50 < a \leq 0,75$
1	$0,75 < a \leq 1,0$
0	$a > 1,0$
	<b>D – Ntc<sup>(4)</sup></b>
4	$t \leq 0,25$
3	$0,25 < t \leq 0,50$
2	$0,50 < t \leq 0,75$
1	$0,75 < t \leq 1,0$
0	$t > 1,0$

(1) A avaliação do requisito *Nic* é expressa pela comparação da necessidade de energia útil para aquecimento (*Nic* [kW/m<sup>2</sup>.ano]) estimadas para o edifício ou fracção autónoma com a necessidade nominal de energia útil para aquecimento máxima admissíveis (*Ni* [kW/m<sup>2</sup>.ano]) obtida em função dos Graus-Dias no local e do seu factor de acordo com o ponto 1 do artigo 15.º do RCCTE [1], é efectuada pela determinação da relação  $i = Nic / Ni$ .

(2) A avaliação do requisito *Nvc* é expressa pela comparação da necessidade de energia útil para arrefecimento (*Nvc* [kW/m<sup>2</sup>.ano]) estimadas para o edifício ou fracção autónoma com a necessidade nominal de energia útil para arrefecimento máxima admissíveis (*Nv* [kW/m<sup>2</sup>.ano]) obtida em função da zona climática do local de acordo com o ponto 2 do artigo 15.º do RCCTE [1], é efectuada pela determinação da relação  $v = Nvc / Nv$ .

(3) A avaliação do requisito *Nac* é expressa pela comparação da necessidade de energia útil para preparação das águas quentes sanitárias (*Nac* [kW/m<sup>2</sup>.ano]) estimadas para o edifício ou fracção autónoma com a necessidade nominal de energia útil para preparação das águas quentes sanitárias máxima admissíveis (*Na* [kW/m<sup>2</sup>.ano]) obtida de acordo com o ponto 3 do artigo 15.º do RCCTE [1], é efectuada pela determinação da relação  $a = Nac / Na$ .

(4) A avaliação do requisito *Ntc* é expressa pela comparação da necessidade de energia primária para climatização e preparação das águas quentes sanitárias (*Ntc* [kgep/m<sup>2</sup>.ano]) estimadas para o edifício ou fracção autónoma com a necessidade nominal de energia primária para climatização e preparação das águas quentes sanitárias máxima admissíveis (*Nt* [kgep/m<sup>2</sup>.ano]) obtida de acordo com o ponto 5 do artigo 15.º do RCCTE [1], é efectuada pela determinação da relação  $t = Ntc / Nt$ .

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade, nomeadamente o projecto da Demonstração da Conformidade Térmica do edifício ou da fracção autónoma de com o RCCTE [1].

1. Nos elementos constantes dos elementos escritos do projecto do edifício ou da fracção autónoma devem constar as folhas de cálculo e as fichas para licenciamento ou autorização devidamente preenchidas.
2. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto o projecto da Demonstração da Conformidade Térmica do edifício ou da fracção autónoma com o RCCTE deve constar a caracterização do sistema de preparação de águas quente sanitárias.
3. Nos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto o projecto da Demonstração da Conformidade Térmica do edifício ou da fracção autónoma com o RCCTE deve constar quais são fontes de energia seleccionadas para se poder fazer a conversão da energia útil para a energia primária.

---

**Linha de Orientação:***i: Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>.*

As emissões de CO<sub>2</sub> equivalente traduzem a quantidade anual estimada de gases de efeito de estufa que podem ser libertados em resultado da conversão de uma quantidade de energia primária igual às respectivas necessidades anuais globais estimadas para o edifício ou fracção autónoma, usando o factor de conversão de 0,025 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por kgep. Por exemplo, uma necessidade anual global estimada em 5 kgep/m<sup>2</sup>.ano equivale a uma quantidade anual estimada de CO<sub>2</sub> igual a 0,125 ton/m<sup>2</sup>.ano.

---

**Informação Complementar:**

Para o cálculo da contribuição de sistemas solares de preparação de águas quentes sanitárias ( $E_{solar}$ ) o deve ser utilizado o programa SOLTERM do INETI. A contribuição de sistemas solares só pode ser contabilizada, para efeitos de aplicação do RCCTE, se os sistemas ou equipamentos forem certificados de acordo com as normas e legislação em vigor e se houver a garantia de manutenção do sistema em funcionamento eficiente durante um período mínimo de seis anos após a instalação.

A contribuição de quaisquer outras formas de energia renováveis ( $E_{ren}$ ) (solar fotovoltaica, biomassa, eólica, geotérmica, etc.) para preparação de águas quentes sanitárias, como de quaisquer formas de recuperação de calor, de equipamentos ou fluidos residuais, deve ser calculada com base num método devidamente justificado e reconhecido e aceite pela entidade licenciadora.

Para otimizar a eficiência de conversão dos sistemas de preparação das preparação águas quentes sanitárias ( $\eta_a$ ) deve-se isolar com pelo menos 10 mm de isolamento térmico as redes de distribuição de água quente no interior da fracção autónoma.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. DL 79/2006, de 04 de Abril.
- Sistema de Certificação Energética, DL 78/2006, de 04 de Abril.
- Agencia para a Energia, [http:// www.adene.pt](http://www.adene.pt).

## FA IAE 2.1

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

## IAE 2 – Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos

## Indicador de Qualidade: IAE 2.1 – Sistemas Mecânicos de Climatização

**Objectivo:**

Utilizar sistemas mecânicos para condicionamento das condições interiores só quando se verificar ser de todo impossível a manutenção de condições de conforto adequadas à utilização dos compartimentos por meios naturais. É então importante limitar a contribuição energética dos sistemas Mecânicos de Climatização, meios artificiais de transferência de calor, nomeadamente à convecção forçada de fluidos por meio de bombas ou ventiladores, que podem ser accionados manual ou automaticamente.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Condições de dimensionamento</b> <sup>(1)</sup>
4	O dimensionamento foi elaborado tendo em consideração as necessidades reais dos ocupantes em função das características e do tipo de utilização dos compartimentos.
2	O dimensionamento foi elaborado em relação às necessidades do edifício como um todo.
1	O projecto não prevê o dimensionamento do sistema de climatização.
	<b>B – Selecção das fontes de energia térmica</b> <sup>(2)</sup>
4	Energias renováveis ou energias com baixas emissões de CO <sub>2</sub> .
3	Electricidade produzida por energias renováveis ou energias com baixas emissões de CO <sub>2</sub> .
2	Bombas de calor alimentadas a electricidade ou a gás natural
1	Electricidade ou com combustíveis líquidos.
	<b>C – Distribuição eficiente da energia térmica</b> <sup>(3)</sup>
4	O controlo é feito ao nível do compartimento, automático por sensores e manual.
3	O controlo é feito ao nível do compartimento, manual pelos ocupantes.
2	O controlo é centralizado e automático.
1	O controlo é centralizado manual.
	<b>D – Plano de Manutenção</b> <sup>(4)</sup>
4	Do projecto de climatização faz parte um plano de manutenção e inspecção.
3	O projecto de climatização não refere nada sobre a manutenção.
1	O projecto de climatização não refere nada sobre a manutenção.

(1) Deverá haver a preocupação de procurar os equipamentos e as combinações de soluções que possibilitem a obtenção das condições de conforto térmico (temperatura do ar e humidade relativa) adequadas com maior eficiência energética em função das condições ambientais de projecto (condições exteriores e interiores de utilização). O dimensionamento deverá ser elaborado, tendo em consideração as propriedades térmicas do projecto do edifício (envolvente, ganhos solares e isolamento, e a utilização dos ganhos internos).

(2) A selecção das fontes de energia para um edifício deve ser feita tendo em consideração as características de funcionamento (aquecimento ou arrefecimento) e o tipo de energias disponíveis na zona.

(3) A selecção de estratégia de distribuição de energia eléctrica terá sempre de ser efectuada tendo em atenção as necessidades dos compartimentos (por água ou por ar).

(4) Na concepção dos sistemas de climatização devem seleccionar-se materiais e componentes duráveis e prever-se o acesso a estes para a sua limpeza, manutenção e eventual substituição em caso de avaria.



**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referentes à climatização, características e localização das fontes de climatização, em função das características térmicas e do tipo de ocupação e da distribuição interna dos compartimentos, caso esta esteja prevista.

1. Do projecto do edifício deve fazer parte o dimensionamento dos sistemas de climatização com as características e a localização de todos os elementos (compartimento para a caldeira e depósito de combustível (caso seja necessário), caldeira, termoacumulador, radiadores ou ventiloconvectores, isolamento da rede de distribuição, sistema de controlo, etc.) e a especificação das fontes de energia térmica e a forma de distribuição.
2. Se o projecto do edifício não prever a instalação de um sistema de climatização este Indicador de qualidade não terá que ser verificado, e a ponderação atribuída a este indicadores será distribuída de acordo com o ponto 4.3 “Critérios de Ponderação”. Mas, caso esteja prevista a pré-instalação de um sistema de climatização deve ser elaborado o projecto de climatização.

---

**Linha de Orientação:***i: Localização dos Radiadores ou ventiloconvectores*

A localização dos radiadores ou dos ventiloconvectores é muito importante para o aquecimento do ambiente interior, devendo ser dada preferência à instalação junto da parede exterior e na zona situada por baixo das janelas e de aberturas de admissão de ar.

---

**Informação Complementar:**

Na concepção bioclimática de edifícios pode recorrer-se a meios artificiais de transferência, nomeadamente à convecção forçada de fluidos por meio de bombas ou ventiladores. Embora a definição de sistema passivo seja aquele em que toda a transferência de energia se processe dum modo natural, admitem-se pequenas contribuições energéticas estranhas ao sistema tendentes à melhoria dos seus resultados, necessárias, por exemplo, ao accionamento de dispositivos de controlo, de sombreamento ou de isolamento nocturno. Contudo, para limitar a contribuição energética destes sistemas auxiliares, os quais podem ser accionados manual ou automaticamente, pode-se admitir que um sistema passivo é aquele em que a contribuição de energia auxiliar não excede 2% da energia útil captada pelo edifício.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. DL 79/2006, de 04 de Abril.
- Sistema de Certificação Energética, DL 78/2006, de 04 de Abril.
- Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto – Fundação Gomes Teixeira, “Projecto REDENE. Rede de Edifícios Energeticamente Eficientes. Conceitos e Orientações”, 2000.
- ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Ansi/Ashrae Standard 55-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2004.
- Programa E4, “Eficiência Energética e Energias Endógenas”, Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001 de 27 de Setembro.

## FA IAE 2.2

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

## IAE 2 – Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos

## Indicador de Qualidade: IAE 2.2 – Sistemas de Ventilação

**Objectivo:**

É a ventilação de um edifício que permite garantir a qualidade do ar interior (QAI), fornece ar novo para os aparelhos de combustão e assegura a extracção dos produtos da combustão, assegurando, as condições de conforto, segurança e minimizando os consumos energéticos do mesmo. A ventilação também tem por finalidade o controlo da humidade do ar interior de forma a minimizar o risco de ocorrência de condensações e o consequente desenvolvimento de fungos, bolores e microorganismos.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Condições de Dimensionamento <sup>(1)</sup></b>
4	O projecto de ventilação prevê a ventilação geral e permanente em função do tipo de ocupação e a ventilação localizada e só quando os espaços estão ocupados.
2	O projecto de ventilação prevê a ventilação localizada e só quando os espaços estão ocupados.
1	O projecto de ventilação não está em conformidade com a NP 1037-1.
	<b>B – Consumo de energia pelos ventiladores e sistemas de controlo <sup>(2)</sup></b>
4	O projecto prevê a utilização da ventilação natural em conformidade com a NP 1037-1.
3	O projecto prevê a utilização de sistemas híbridos de ventilação em função das necessidades efectivas de cada compartimento.
1	O projecto prevê a utilização de sistemas híbridos de ventilação, mas não apresenta a caracterização do sistema de controlo.
	<b>C – Plano de manutenção <sup>(3)</sup></b>
4	Do projecto de ventilação fazem parte as condições e as tarefas de manutenção.
2	Do projecto de ventilação fazem parte as tarefas de manutenção.
1	Do projecto de ventilação não fazem parte as condições e as tarefas de manutenção.

(1) Os caudais de ventilação devem ser os suficientes para promover a admissão de ar novo para a respiração humana, para a diluição de poluentes gerados pelas fontes interiores para o controlo da humidade interior e para o ar de combustão aparelhos de queima.

(2) O RCCTE e o RSECE incentivam a utilização de sistemas de ventilação que minimizem os consumos de energia associados às trocas de calor e ao consumo de energia nos ventiladores e dos sistemas de controlo. Os sistemas híbridos de ventilação, admissão por aberturas auto-reguláveis nas fachadas dos compartimentos principais e exaustão por ventiladores nos compartimentos de serviço, controlados por sensores de presença ou de concentração de poluentes.

(3) Na concepção dos sistemas de climatização devem seleccionar-se materiais e componentes duráveis e prever-se o acesso a estes para a sua limpeza, manutenção e eventual substituição em caso de avaria.

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referentes à ventilação, características dos equipamentos de admissão e exaustão de ar, em função do tipo de ocupação e da interligação entre os compartimentos principais e os compartimentos de serviço.

1. Do projecto do edifício deve fazer parte o projecto de ventilação com as características e a localização das aberturas de admissão e de exaustão de ar.
2. Do projecto de ventilação também devem fazer parte as características e a localização dos sistemas mecânicos e o respectivo sistema de controlo.
3. Do projecto de ventilação também devem fazer parte as condições e as tarefas de manutenção.

---

**Linha de Orientação:***i: Ventilação Geral e Permanente*

Para que a ventilação do edifício seja geral e permanente, os sistemas de ventilação do edifício devem considerar a admissão de ar novo nos compartimentos principais, o escoamento desse ar para os compartimentos de serviço e a extracção do ar em todos os compartimentos de serviço e devem também garantir um caudal base.

*ii: Tarefas de manutenção*

As tarefas de manutenção a realizar por profissionais qualificados, podem ser feitas anualmente ou de x em x anos, por exemplo [69]:

- anualmente:
  - limpeza da caixa de ventilação;
  - verificação de:
    - tambores;
    - ligações eléctricas, funcionamento dos alarmes de segurança;
    - caudais evacuados;
    - estado das grelhas de extracção e demais componentes da instalação;
    - etc.;
- todos os 5 anos:
  - controlo e regulação global da instalação.

---

**Informação Complementar:**

O RCCTE e o RSECE incentivam a utilização de sistemas de ventilação que minimizem os consumos de energia associados às trocas de calor e ao consumo de energia nos ventiladores.

O sistema de ventilação deve ser concebido e dimensionado de forma a assegurar o escoamento dos caudais base e máximos em condições de conforto acústico compatíveis com a regulamentação sobre o ruído em vigor.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. DL 79/2006, de 04 de Abril.
- LNEC, Ventilação Mecânica de Edifícios de Habitação, NCI, Relatório 01/2006, 2006.

## FA IAE 2.3

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

## IAE 2 – Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos

## Indicador de Qualidade: IAE 2.3 – Sistemas de Iluminação

**Objectivo:**

No projecto de iluminação deve: garantir que o nível de iluminação seja adequado ao tipo de tarefa que se irá desenvolver ter em conta a criação de um ambiente visual confortável; permitindo a criação de várias zonas distintas de acordo com o tipo de actividade de cada uma dessas áreas e deve ser energeticamente eficiente, minimizando eventuais impactos energéticos negativos. Para tal é fundamental definir níveis de iluminação, tipo de lâmpadas e luminárias e sistemas de controlo mais adequados a cada compartimento.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Sistemas de iluminação combinados <sup>(1)</sup></b>
<b>4</b>	Iluminação artificial combinada com a iluminação natural, com dispositivo de controlo automáticos.
<b>2</b>	Iluminação artificial combinada com a iluminação natural, sem dispositivo de controlo automáticos.
<b>1</b>	Iluminação artificial combinada com a iluminação natural, sem dispositivo de controlo.
	<b>B – Dispositivos de iluminação <sup>(2)</sup></b>
<b>4</b>	Utilização de lâmpadas fluorescentes compactas - LFC
<b>3</b>	Utilização de lâmpadas fluorescentes tubulares com balastro electrónico.
<b>2</b>	Utilização de lâmpadas fluorescentes tubulares com balastro convencional.
<b>1</b>	Utilização de lâmpadas de halogéneo.
<b>0</b>	Utilização de lâmpadas incandescentes.
	<b>C – Dispositivos de controlo <sup>(3)</sup></b>
<b>4</b>	Controlo automático da iluminação em função dos níveis de iluminação natural e das condições de utilização.
<b>3</b>	Controlo automático da iluminação em função das condições de utilização.
<b>2</b>	Controlo manual da iluminação, pontos de luz com controlo individual.
<b>1</b>	Controlo manual da iluminação, dispositivo de controlo para todos os pontos de luz.

(1) O dimensionamento do sistema de iluminação deverá ter em atenção os níveis de iluminação adequados, combinado a ventilação natural e a iluminação artificial, um sobre-dimensionamento e a não consideração da iluminação natural disponível, terá consequências ao nível dos consumos de energia para iluminação e, eventualmente, arrefecimento.

(2) Para a generalidade das zonas interiores do edifício devem: utilizar-se lâmpadas fluorescentes, tubulares ou compactas. Para além de vantagens energéticas significativas em relação às lâmpadas incandescentes convencionais, importa sublinhar a sua muito maior longevidade, que se reflecte num menor grau de exigência no que diz respeito à manutenção e a utilização de balastros electrónicos em vez dos balastros convencionais, com benefícios muito significativos, ao nível dos custos de manutenção e da qualidade de iluminação, pois os balastros convencionais são responsáveis pelo chamado efeito de "trepidação" que os balastros electrónicos evitam devido ao facto de funcionarem a alta-frequência.

(3) O controlo da iluminação pode ser feito em função dos níveis de iluminação natural ou em função das condições de utilização, de forma automática ou manual. Os sistemas automáticos de controlo da iluminação permitem adaptar a instalação às necessidades reais dos espaços, sendo peça fundamental na gestão do binómio iluminação natural vs iluminação artificial, ver FA QAI 1.3 "Conforto Visual" e FA QAI 1.5 "Sistemas de Controlo e Gestão".

**Modo de Avaliação:**

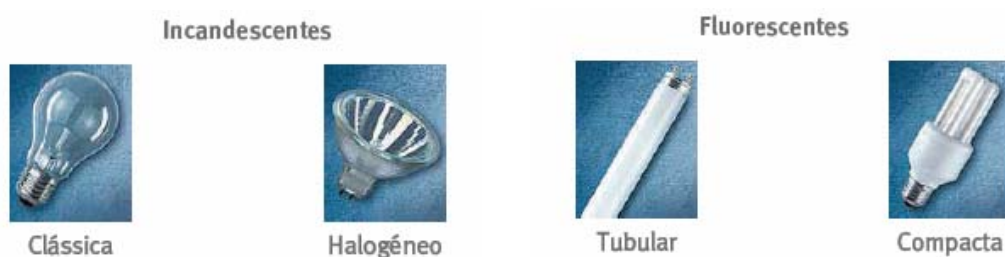
Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referentes à iluminação, características e localização dos circuitos e dos dispositivos de iluminação, em função dos níveis de iluminação natural e das condições de utilização.

1. Do projecto do edifício deve fazer parte o projecto de iluminação com as características e a localização das lâmpadas e do tipo de balastro.
2. Do projecto de iluminação deve conter as características e a localização dos sistemas de controlo, ver FA QIA 2.1 "Sistemas de Controlo e Gestão".

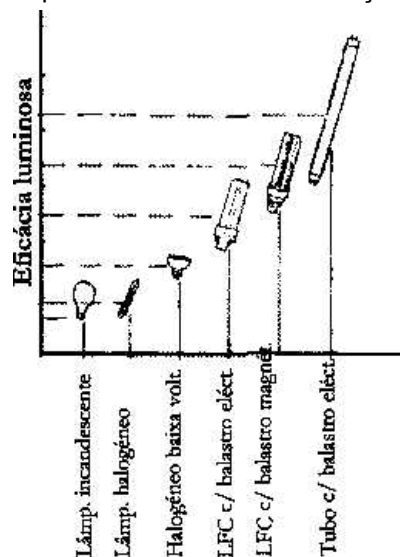
**Linha de Orientação:***i: Tipos de Lâmpadas Utilizadas na Iluminação Artificial dos Edifícios*

A iluminação eléctrica no interior dos edifícios pode ser conseguida através de lâmpadas incandescentes, de halogéneo, de halogéneo de baixa voltagem, fluorescentes tubulares e fluorescentes compactas, com consumos energéticos distintos para níveis finais de desempenho exactamente iguais (figuras 4.9 e 4.10).

A eficácia luminosa das lâmpadas, muitas vezes designada por "rendimento luminoso" ( $\eta$ ), é caracterizada pela razão entre o fluxo luminoso (em lúmen) produzido e a energia eléctrica (em Watt) consumida pela lâmpada.



**Figura 4.9** - Tipos de lâmpadas utilizadas na iluminação artificial dos edifícios [85].



**Figura 4.10** - Comparação da eficiência luminosa dos diferentes tipos de Lâmpadas [7] e [84].

As lâmpadas incandescentes são o tipo de lâmpadas mais utilizado na iluminação artificial interior. Este tipo de lâmpadas é o mais barato, embora seja o menos eficiente e possua menor duração. Da energia que consomem, só 5% a 10% se transforma em energia luminosa, o que se traduz em custos de funcionamento mais elevados. Toda a restante energia se transforma em calor.

As lâmpadas de halogéneo são também um tipo de lâmpadas incandescentes. Estas são mais caras do que as primeiras, possuindo no entanto maior durabilidade (cerca de 2000 horas). Existem lâmpadas que trabalham em corrente normal (220-240 V) enquanto que outras trabalham em baixa tensão (é preciso usar um transformador para reduzir a tensão da rede). Estas últimas têm uma eficácia cerca de 15% superior às outras. O seu rendimento luminoso é na ordem dos 15 lm/W.

As lâmpadas fluorescentes compactas - LFC - podem possuir balastro electrónico ou balastro magnético (convencional). As que possuem balastro electrónico são mais eficientes do que as que possuem balastro convencional. Dependendo do tipo, as mais eficientes podem ter uma eficácia da ordem de 60 lm/W. Começam a ser bastante comuns na iluminação interior.

As lâmpadas fluorescentes tubulares são muito utilizadas na iluminação interior de edifícios de serviços e indústria. As lâmpadas fluorescentes tubulares, tal como as anteriores, precisam dum arrancador para funcionar. A maioria destas lâmpadas pode ser usada com balastro convencional ou electrónico. As que usam balastro electrónico são mais eficientes. A maioria é tubular simples (tem a forma dum tubo direito) embora existam lâmpadas circulares e em forma de "U". As últimas têm um diâmetro de 30 mm ou 38 mm e são as menos eficientes. A sua eficácia situa-se na gama de valores de 20 a 80 lm/W.

---

#### **Informação Complementar:**

Um dos objectivos de qualquer estratégia energeticamente eficiente de aproveitamento da iluminação natural nos edifícios deverá ser a diminuição dos consumos energéticos em energia eléctrica de iluminação. Por outras palavras os sistemas de fenestração deverão ser projectados e dimensionados de modo a poderem proporcionar as necessidades de iluminação nos espaços interiores durante a maior parte dos períodos de utilização dos edifícios, devendo os sistemas de iluminação artificial (fontes de iluminação, luminárias e sistemas de controlo) ser projectados de modo a complementarem a iluminação natural quando esta, por si só, não permite proporcionar a iluminação necessária.

Os principais parâmetros com influência na eficiência dos sistemas de iluminação artificial são: i) potência (Watt) dos equipamentos (lâmpadas); ii) período de operação (horas) dos equipamentos; iii) eficácia luminosa das fontes de iluminação (lúmen/Watt); iv) densidade de potência luminosa instalada (Watt/m<sup>2</sup>) e v) o tipo de dispositivo de controlo.

O tipo de iluminação artificial e em particular os sistemas de controlos associados podem desempenhar um papel-chave na economia em energia eléctrica de iluminação. A opção de controlo mais eficaz irá depender: i) do tipo de edifício; ii) do tipo de espaço (individual, partilhado, etc.); iii) dos padrões de ocupação desse espaço (contínuo, temporário, ocasional, etc.) e iv) desse espaço ser ou não eficazmente iluminado pela luz natural.

O tipo de iluminação mais eficiente é a iluminação natural. Os edifícios devem ser concebidos de modo a que todos os compartimentos possuam iluminação natural, que pode ser conseguida através de janelas, palas reflectores, clarabóias e tubos solares. O estudo dessas zonas para a entrada de luz natural deve ser realizado em conjunto com o projecto de características de comportamento térmico dos edifícios, pois essas zonas devem permitir a entrada de luz solar (natural) suficiente sem que com isso se comprometa o comportamento térmico dos edifícios.

O tipo de lâmpada deve ser compatível com a utilização do espaço. As lâmpadas fluorescentes devem ser aplicadas quando se necessite de iluminação artificial por longos períodos de tempo, como por exemplo, em salas de estar e sobre a banca da cozinha. De modo a que este tipo de lâmpadas possua um tempo de vida mais dilatado, a maior parte delas necessita cerca de um minuto para atingirem o

máximo brilho, logo não são adequadas para espaços onde se necessite de luz de imediato. Em compartimentos pouco utilizados ou utilizados por períodos curtos, como por exemplo, instalações sanitárias, despensas, lavandarias, as lâmpadas mais adequadas são as incandescentes.

Prever a existência de vários circuitos de iluminação em cada espaço, comandados por interruptores independentes. A existência de vários circuitos de iluminação independentes permite o controlo da quantidade de lâmpadas acesas num determinado momento. Utilizar um único interruptor para controlar todas as lâmpadas de um compartimento de elevadas dimensões é uma solução de iluminação ineficiente.

Embora, de um modo geral, os ocupantes dos edifícios valorizem bastante as boas condições de iluminação natural e de contacto visual com o exterior, algumas das suas atitudes podem contrariar estes desejos e expectativas. Em particular durante os períodos de quentes existe uma forte correlação entre a sensação de conforto térmico e a actuação sobre os dispositivos de protecção solar (quando reguláveis pelos ocupantes) sendo frequente deparar com situações de níveis de iluminação natural insuficientes e ausência de contacto visual com o exterior (com o consequente consumo suplementar de energia eléctrica para iluminação) na tentativa de minorar os efeitos de desconforto térmico. Uma das razões para este facto é a falta de versatilidade e eficácia da grande maioria dos dispositivos de sombreamento.

Utilizar interruptores "inteligentes" em certos compartimentos e em espaços exteriores. A utilização de interruptores de sensor de movimento é adequada em locais utilizados com pouca frequência e por curtos períodos de tempo, ou onde se preveja que exista grande probabilidade das lâmpadas ficarem acesas por esquecimento. No entanto, é necessário não esquecer que este tipo de interruptores consome continuamente uma certa quantidade de energia, que pode ir até 10 W em alguns casos.

---

#### Referências:

- Santos, António J., "A Iluminação Natural e A Iluminação Artificial - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, LNEC, 2000.
- Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto – Fundação Gomes Teixeira, "Projecto REDENE. Rede de Edifícios Energeticamente Eficientes. Conceitos e Orientações", 2000.
- Santos, A.J., "Critérios para a Caracterização das Condições de Conforto Visual nos Edifícios". Aplicação a Sistemas Integrados de avaliação, LNEC, QIC2006.
- EN 12664:2002, "Lighting of work places – Part 1: Indoor work places". Brussels, Comité Européen de Normalisation.

## FA IAE 2.4

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

## IAE 2 – Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos

## Indicador de Qualidade: IAE 2.4 – Energias Renováveis

**Objectivo:**

Incentivar a utilização de energias renováveis ou energias com baixas emissões de CO<sub>2</sub>, para reduzir a poluição atmosférica e ou mesmo tempo proporcionar as condições de conforto dos ocupantes.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
<b>A – Sistema solar térmico para AQS <sup>(1)</sup></b>	
4	O projecto prevê a instalação de painéis solares fornecendo entre 75% a 100% das necessidades anuais.
3	O projecto prevê a instalação de painéis solares fornecendo entre 50% a 75% das necessidades anuais.
2	O projecto prevê a instalação de painéis solares fornecendo 25% a 52% das necessidades anuais.
1	O projecto prevê a instalação de painéis solares fornecendo menos de 25% das necessidades anuais.
0	O projecto não prevê a instalação de painéis solares para AQS.
<b>B – Sistema solar fotovoltaico <sup>(2)</sup></b>	
4	O projecto prevê a instalação de painéis fotovoltaicos fornecendo entre 75% a 100% das necessidades.
3	O projecto prevê a instalação de painéis fotovoltaicos fornecendo 50% a 75% das necessidades.
2	O projecto prevê a instalação de painéis fotovoltaicos fornecendo 25% a 50% das necessidades.
1	O projecto prevê a instalação de painéis fotovoltaicos fornecendo menos de 25% das necessidades.
0	O projecto não prevê a instalação de painéis solares fotovoltaicos.
<b>C – Biomassa, eólica, geotérmica, mini-hidrogeradores <sup>(3)</sup></b>	
4	O projecto prevê a instalação de duas destas formas de energia.
3	O projecto prevê a instalação de uma destas formas de energia.
1	O projecto não prevê a instalação de qualquer uma destas formas de energia.
<b>D – Sistema de recuperação de calor <sup>(4)</sup></b>	
4	O projecto prevê a instalação de sistemas de recuperação de calor.
1	O projecto não prevê a instalação de sistemas de recuperação de calor.

(1) O RCCTE obriga à instalação de sistemas de colectores solares para a preparação de águas quentes sanitária (AQS), sempre que haja uma exposição solar adequada, na base de 1 m<sup>2</sup> de colector por ocupante convencional previsto.

(2) O consumo de energia eléctrica convencional nos edifícios pode ainda ser reduzido se se aplicarem sistemas que permitam a produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis, os painéis solares fotovoltaicos são constituídos por módulos que convertem directamente a energia solar em electricidade.

(3) A contribuição das formas de energias renováveis ou com baixas emissões de CO<sub>2</sub> para satisfazer as necessidades dos ocupantes é benéfica para este e para o meio ambiente.

(4) Nos edifícios podem ser utilizados sistemas de recuperação de calor para aquecimento ar de emissão.



**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referentes à utilização de energias renováveis ou energias com baixas emissões de CO<sub>2</sub>, características e localização dos sistemas solares activos, estudados em função das necessidades do edifício.

1. Do projecto do edifício deve fazer parte um estudo com as características e a localização dos sistemas solares activos e outras fontes de energia com baixas emissões de CO<sub>2</sub> existentes na região (biomassa, eólica, geotérmica, mini-hidrogeradores, etc.).
2. Do projecto do edifício deve fazer parte um estudo com as características dos sistemas de recuperação de calor.

---

**Linha de Orientação:**

*i: Definição de energias renováveis e energias com baixa emissão de CO<sub>2</sub> existentes no local*

Podem ser consideradas como tecnologias de energias renováveis sem produção de CO<sub>2</sub>, as seguintes:

Solar:

- sistemas solares para aquecimento de água;
- sistemas solares de produção de electricidade (fotovoltaico);

Vento:

- micro-turbinas eólicas;

Água:

- micro-hidrogeradores;

Solo:

- sistemas geotérmicos;

Outros:

- células de hidrogénio produzidas a partir de energias renováveis;
- sistemas de recuperação alimentadas a partir de energias renováveis.

Podem ser consideradas como tecnologias de energias com baixas emissões de CO<sub>2</sub>, as seguintes:

Biomassa:

- recuperadores de calor;
- caldeiras a lenha;
- rede de aquecimento a lenha;

Bombas de calor:

- sistemas de recuperação de calor.

---

**Informação Complementar:**

Segundo o RCCTE, sempre que as condições locais o permitam, a instalação de sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água quente sanitária, na base de 1 m<sup>2</sup> por ocupante convencional previsto, é obrigatória.

O aquecimento de água é responsável em Portugal por aproximadamente 50% do total de consumos energético nos edifícios, contribuindo expressivamente para as emissões de CO<sub>2</sub>. Instalando o sistema de aquecimento de água mais eficiente é apropriado, tendo em conta o número de utilizadores e os padrões de utilização, é possível diminuir o consumo energético, com as vantagens adicionais de redução dos custos em energia e diminuição da emissão de gases de efeito de estufa, sem contudo comprometer o nível de conforto desejado. A maior parte da água quente e

utilizada nas instalações sanitárias, seguindo-se a cozinha como principal destino da água quente.

Para a selecção de um sistema de aproveitamento solar é muito importante o estudo do clima local. A escolha da inclinação e orientação das superfícies colectoras também é dependente do local, assim como do objectivo final do sistema. Em Portugal, no Verão, o sol apresenta-se mais alto, e assim a radiação solar incide quase na perpendicular. No Inverno o sol apresenta-se mais baixo, como tal a radiação solar incide com pouca inclinação. Em teoria os colectores deveriam estar orientados consoante a latitude, assim como a estação do ano. Este facto é ultrapassado com facilidade para o caso da latitude, mas para as estações do ano já poderá ser problemático. Assim, para Portugal, os colectores deverão estar orientados a Sul  $\pm 15^\circ$ , mas também é necessário jogar com a inclinação. A inclinação tem de ser escolhida "caso a caso", pois depende da finalidade e época de utilização dos colectores, tendo que se chegar a valores de compromisso.

Durante os dias nublados e principalmente durante o Inverno, ou quando a necessidade de água quente ultrapassa a sua produção, o fornecimento de água quente é garantido através de um sistema de aquecimento auxiliar. A maior parte dos painéis solares vem equipada com sistema de aquecimento auxiliar eléctrico ou a gás que entra em fundamento sempre que a energia solar não satisfaça as necessidades.

Quando se prevê a produção de electricidade por fontes renováveis ou por fontes local com baixa emissão de CO<sub>2</sub> nos edifícios, a electricidade excedente pode ser injectada na rede eléctrica, e isso deve ser considerado no balanço do consumo do edifício.

As turbinas eólicas, também conhecidas por averiguadores, transformam a energia cinética do vento em energia mecânica e consequentemente em energia eléctrica. Existem vários tipos de aerogeradores, que variam na forma, o eixo e no tamanho. O mais comum é o de turbina de eixo horizontal com pás, que é similar a hélice de um avião. Os aerogeradores não são apropriados a zonas urbanas, pois a turbina tem de ser montada numa torre e produz algum ruído no seu funcionamento.

Os micro-hidrogetadores transformam a energia mecânica da água em movimento em energia eléctrica. Com uma adequada fonte de água, os micro-hidrogeradores são uma fonte de energia mais fiável do que os geradores solares ou do que as micro-turbinas eólicas, pois o rendimento destes é menos dependente das condições climáticas.

---

#### Referências:

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. DL 79/2006, de 04 de Abril.
- Sistema de Certificação Energética, DL 78/2006, de 04 de Abril.
- EcoHomes 2006, "The environmental rating for homes". [Consult. 16 Setembro 2006]. Disponível em <http://www.ecohomes.org>
- ADENE / INETI, "Forum Energias Renováveis em Portugal - Relatório Síntese". [Consult. 03 Janeiro 2004]. Disponível em [http://www.igm.pt/edicoes\\_online/diversos/energias\\_renov/indice.htm](http://www.igm.pt/edicoes_online/diversos/energias_renov/indice.htm).

## FA IAE 2.5

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

## IAE 2 – Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos

Indicador de Qualidade: IAE 2.5 – Equipamentos/Electrodomésticos

**Objectivo:**

Incentivar a projectar com equipamentos eléctricos, nomeadamente, para aquecimento, arrefecimento, renovação de ar, iluminação e preparação das águas quentes sanitária ou a compra electrodomésticos, nomeadamente, frigoríficos, combinados, congeladores, máquinas de lavar roupa e louça, etc., eficientes em energia, assim reduzindo as emissões do CO<sub>2</sub> do edifício.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Certificação dos equipamentos</b> <sup>(1)</sup>
4	Os equipamentos têm classe energética A+ ou informação sobre os consumos de energia.
3	Os equipamentos têm classe energética A ou informação sobre os consumos de energia.
2	Os equipamentos têm classe energética B ou informação sobre os consumos de energia.
1	Os equipamentos têm classe energética C ou informação sobre os consumos de energia.
0	Os equipamentos têm classe energética D ou inferior ou equipamento sem informação sobre os consumos de energia.
	<b>B – Modo de funcionamento</b> <sup>(2)</sup>
4	Os equipamentos quando não estão a funcionar são automaticamente desligados da rede.
2	Os equipamentos quando não estão a funcionar continuam desligados da rede eléctrica.
0	Os equipamentos quando não estão a funcionar ficam em modo <i>stand-by</i> .
	<b>C – Reciclagem dos equipamentos</b> <sup>(3)</sup>
4	100% dos componentes dos equipamentos podem ser reciclados.
3	90% dos componentes dos equipamentos podem ser reciclados.
2	80% dos componentes dos equipamentos podem ser reciclados.
1	60% dos componentes dos equipamentos podem ser reciclados.
0	50% dos componentes dos equipamentos podem ser reciclados.

(1) Os equipamentos utilizados nos edifícios, mais propriamente os electrodomésticos, nomeadamente, os frigoríficos, combinados, congeladores, as máquinas de lavar e secar roupa, as máquinas de lavar louça e os equipamentos informáticos são responsáveis por uma elevada percentagem do consumo global de electricidade nos edifícios. De modo a que o consumidor, na compra dos electrodomésticos, tenha maior informação sobre o consumo energético ao longo da sua vida foi criada, através da Directiva 92/75/CEE do Conselho, de 22 de Setembro de 1992, a etiquetagem energética dos electrodomésticos. Os equipamentos são classificados em sete classes energéticas diferentes (Classe A a G), em função da relação do seu consumo energético com a média dos consumos energéticos dos equipamentos do mesmo tipo.

(2) Os equipamentos eléctricos consomem energia eléctrica quando colocados em modo de repouso (normalmente designado por modo *stand-by*), ou mesmo quando se encontram desligados. Este desperdício de energia é devido fundamentalmente às características de funcionamento que lhes estão inerentes, o que provoca que existe uma potência absorvida quando aparentemente não estão a desempenhar qualquer função.

(3) Os equipamentos no fim do seu ciclo de vida, todos os seus componentes devem ser reciclados para reduzir os desperdícios com efeitos negativos para o meio ambiente.

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referentes aos equipamentos, características do consumo de energia eléctrica em função do modo de funcionamento.

1. Nos elementos constantes dos elementos escritos do projecto do edifício deve constar a caracterização dos equipamentos eléctricos em relação ao consumo de energia.
2. Nos elementos constantes dos equipamentos eléctricos devem constar informações sobre o tratamento a dar aos equipamentos no fim de vida.

**Linha de Orientação:***i: Classe energética dos electrodomésticos*

Exemplo da Classe Energética de uma máquina de lavar roupa, figura 4.11 e quadro 4.40.

**Quadro 4.40** - Classes energéticas dos electrodomésticos (exemplo para uma máquina de lavar roupa).

Classe Energética (Avaliação)	Consumo de Energia (kWh/kg)	
<b>A</b>	< 0,19	<b>Baixo consumo</b>
<b>B</b>	0,19 – 0,23	
<b>C</b>	0,23 – 0,27	<b>Consumo médio</b>
<b>D</b>	0,27 – 0,31	
<b>E</b>	0,31 – 0,35	
<b>F</b>	0,35 – 0,39	<b>Alto consumo</b>
<b>G</b>	>0,39	



**Figura 4.11** - Etiqueta energética de electrodomésticos (exemplo para uma máquina de lavar roupa) [85].

**Informação Complementar:**

A etiqueta energética começou por ser obrigatória nos grandes electrodomésticos (frigoríficos, máquinas de lavar e secar roupa), tendo sido alargada em Janeiro de 1998 às lâmpadas e aos balastros para lâmpadas fluorescentes e, em Maio de 2002 aos fornos eléctricos. É de todo conveniente que a curto prazo a obrigatoriedade da etiqueta energética seja alargada a outros equipamentos com consumo energético significativo, como sejam os equipamentos para climatização (aquecedores, ventiladores), fogões, computadores pessoais, televisores, aparelhos hi-fi, entre outros, como forma de incentivar os consumidores a adquirir equipamentos que em termos de custo inicial são mais onerosos, mas que em termos globais, durante o seu ciclo de vida (custos de aquisição e funcionamento), acabam por acarretar menores custos, para além de contribuírem para a resolução de um problema a escala global, através da redução das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera [85] e [86].

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. DL 79/2006, de 04 de Abril.
- DGGE/IP-3E, Eficiência Energética em Equipamentos e Sistemas Eléctricos no Sector Residencial, Lisboa, 2004. Disponível em <http://www.p3e-portugal.com>.

## FA IAE 3.1

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

## IAE 3 – Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção

## Indicador de Qualidade: IAE 3.1 – Materiais de Construção

**Objectivo:**

A escolha correcta dos materiais de construção para uma determinada função deve ser realizada de forma a evitar ou minimizar as manifestações patológicas dos elementos de construção, que devem ser devidamente analisados na fase de concepção, aumentando deste modo a sua durabilidade e reduzindo os custos de reparação e a produção de resíduos. Os materiais de construção, quer os mais clássicos quer os mais inovadores, para serem aplicados devem ser certificados e homologados por entidades reconhecidas.

**Avaliação:**

Níveis	Requisito e Critérios de Avaliação
	<b>A – Escolha dos Materiais de Construção <sup>(1)</sup></b>
<b>4</b>	Na elaboração do projecto teve-se em consideração estratégias para reduzir os impactos produzidos pelos materiais de construção. Utilização de materiais certificados.
<b>1</b>	Na elaboração do projecto não se teve em consideração estratégias para reduzir os impactos produzidos pelos materiais de construção.
<b>0</b>	Aplicação de matérias com muita energia incorporada no seu ciclo de vida.
	<b>B – Reciclagem dos Materiais <sup>(2)</sup></b>
<b>4</b>	Todos os materiais aplicados podem ser reciclados e prevê-se a reutilização de materiais.
<b>2</b>	Todos os materiais aplicados podem ser reciclados e não se prevê a reutilização de materiais.
<b>0</b>	Aplicação de materiais cuja recuperação e reutilização é difícil.
	<b>C – Novas Tecnologias <sup>(3)</sup></b>
<b>4</b>	O projecto prevê a utilização de técnicas inovadoras, devidamente caracterizadas, implantadas no mercado e a instaladas por técnicos especializados.
<b>2</b>	O projecto prevê a utilização de técnicas inovadoras, devidamente caracterizadas, implantadas no mercado e a instaladas por técnicos não especializados.
<b>1</b>	O projecto não prevê a utilização de tecnologias inovadoras.

(1) Os materiais de construção devem ser escolhidos de acordo com a sua aplicação em função da sua durabilidade, potencial de reutilização, custo de reparação e a necessidade de manutenção.

(2) A selecção dos materiais deve-se basear no seu potencial de reutilização e reciclagem. O conhecimento da potencialidade de reutilização e reciclagem de um material é bastante importante na gestão racional dos recursos e produtos de um edifício que apresenta como objectivos a redução do impacto das construções sobre o meio natural e sempre que possível procurar renovar, restaurar e melhorar o meio ambiente.

(3) A evolução no domínio dos materiais e processos de construção tem vindo a levar ao desenvolvimento de materiais compósitos, destacando-se pela sua importância os materiais de matriz polimérica. Estes materiais, relativamente aos tradicionais, apresentam uma série de vantagens, destacando-se a maior resistência, e consequente diminuição do peso e do volume dos componentes da construção, facilidade de aplicação, durabilidade e simplicidade de manutenção, entre outras, permitindo assim obter ganhos de produtividade e de competitividade de forma a proporcionar uma maior valia à organização da construção. Por outro lado, a utilização deste tipo de soluções é pouco desejável, é difícil a separação dos seus constituintes no final da sua vida útil, para que seja possível a sua reciclagem.

**Modo de Avaliação:**

Verificação dos elementos escritos e desenhados do projecto de especialidade referentes à selecção, características dos materiais de construção, em função do tipo de aplicação/reutilização e do impacte sobre o meio ambiente.

1. Dos elementos escritos do projecto, nomeadamente, na memória descritiva e justificativa deve referir as condições técnicas do matérias a aplicar e as condições de recepção em obra.
2. Dos elementos escritos do projecto deve referir-se que na selecção dos materiais de construção teve-se em conta, sempre que possível, a utilização dos materiais da região, e a possibilidade de incorporar materiais reciclados.

---

**Linha de Orientação:***i: Redução dos Impactos Produzidos na Utilização dos Materiais de Construção*

A equipa de projecto, deverá adoptar uma série de estratégias de modo a seleccionar os materiais que vais utilizar nas suas construções. Para além dos critérios arquitectónicos comuns (estética), a selecção deverá ainda compreender os seguintes critérios [7]:

- energia incorporada no material. Deve-se ter em conta o custo energético relacionado com a energia incorporada no material durante a totalidade do seu ciclo de vida;
- impacte ecológico incorporado no material. Os materiais possuem impacte no meio ambiente como consequência da sua extracção, produção e transporte até à obra;
- potencial de reutilização e reciclagem dos materiais, como consequência do desgaste a que estão sujeitos durante o seu ciclo de vida;
- a toxidade do material para os seres humanos e ecossistemas;
- os custos económicos associados ao ciclo de vida dos materiais (custo inicial, custo de manutenção e custo de demolição/desmantelamento).

*ii: Reciclagem dos Materiais de Construção*

A maior parte dos materiais de construção pode ser reciclada. Todos os dias surgem novas soluções para reciclar os metais, plásticos, vidro, madeira, betão e materiais cerâmicos, devido às investigações que se vão desenvolvendo neste domínio. O betão e os produtos cerâmicos são exemplos de materiais cuja recuperação e reutilização é difícil enquanto que os metais, depois de separados por tipo, possuem elevado potencial de reciclagem.

---

**Informação Complementar:**

Para se realizar as construções, o Homem retira os materiais de variadas fontes que o rodeiam, estes materiais são posteriormente processados de modo a constituírem as envolventes que protegerão o Homem dos elementos climáticos e de outros organismos hostis. É indiscutível que qualquer actividade construtiva comporta a utilização, redistribuição e concentração de alguns recursos energéticos ou material da Terra numa determinada área específica, alterando a ecologia da biosfera e desequilibrando o ecossistema local. A construção de edifícios é actualmente responsável pelo consumo de 25% da madeira e 40% dos agregados (pedra, britas e areias) que se verifica em todo o mundo [87].

Nos últimos anos, com o aumento do ritmo de construção, tornou-se necessário encontrar novas técnicas e processos de construtivos. Por outro lado, acompanhando o grande volume de obra, os prazos para a sua execução diminuíram. Torna-se indispensável que os técnicos envolvidos nestes processos possuam conhecimentos científicos, de natureza física e económica, que lhes permitam conceber edifícios que

satisfaçam as exigências dos ocupantes, desempenhando com eficácia as funções para as quais são projectados.

---

**Referências:**

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- Moreira da Costa, J., “Métodos de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação”, Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1995.
- Mateus, R.; Bragança L., “Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção”, PROMETEU, Edições Ecopy, Porto, 2006.
- Ngowi, A., “Competing wiht Environmenal Friendly Construction Pratics” – Technical Article; Cost Engineering – The International Journal of Cost Estimation, Cost/Schedule Control, and Project Management, AACEI, 2000.



### 4.3. Critérios de Ponderação

Tendo sido desenvolvidos todos os Requisitos e Critérios de Avaliação, foi necessário definir em seguida a importância relativa de cada um dos indicadores de qualidade na avaliação global, no quadro 5.41 é apresentada uma síntese quantitativa dos indicadores de qualidade e dos requisitos e critérios de avaliação desenvolvidos.

O Método de Avaliação foi desenvolvido com vista a poder ser utilizado em processos de decisão relacionados com o conforto e a eficiência energética nos edifícios. Por este motivo, pode ser utilizado por actores com diferentes objectivos e em avaliações de diferentes tipos de edifícios.

Procurou-se desenvolver um método de avaliação que ao mesmo tempo permita uma avaliação individual de cada Indicador de qualidade, como já foi referido anteriormente, e forneça um nível global de qualidade para o projecto. Sendo a principal intenção informar os elementos da equipa de projecto, a ponderação proposta não é imperativa, permitindo-lhes uma valorização da importância relativa das diversas condicionantes de projecto de acordo com a sua experiência pessoal.

Deste modo, o método de avaliação permite obter valores parcelares que permitirão aferir da maior ou menor homogeneidade quantitativa das estratégias ou soluções de projecto propostas para os vários indicadores de qualidades propostos e, por outro lado, traduzir essa qualidade num nível de qualidade para cada categoria proposta e num nível global de qualidade.

Sendo, assim, propôs-se a ponderação que se apresenta nos quadros 4.42 ao 4.54.

**Quadro 5.41** – síntese quantitativa dos indicadores de qualidade e dos requisitos e critérios de avaliação desenvolvidos.

Objectivo Principal	Qualidade Térmica de Edifícios		
Categoria	Princípio de Concepção	Indicador de Qualidade	Requisito e Critérios de Avaliação
Concepção Bioclimática de Edifícios (CBE)	Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento	5	20
	Armazenamento Térmico	1	4
	Conservação da Energia	7	29
	Distribuição de Calor	2	6
Qualidade do Ambiente Interior (QAI)	Saúde e Bem-Estar dos Ocupantes	4	15
	Sistemas de Controlo e Gestão	1	3
Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)	Eficiência Energética da Concepção do Edifício	1	3
	Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos	5	16
	Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção	1	3

**Quadro 4.42 - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Concepção Bioclimática dos Edifícios.**

CBE	Concepção Bioclimática dos Edifícios			
CBE 1	Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento			
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício	Nível	Pond.	N . P
A	Caracterização do Clima		40	
B	Caracterização do espaço Urbano		30	
C	Caracterização do Lote		30	
$\Sigma N . P$				
				$\Sigma N . P / 100$
CBE 1.2	Implantação do Edifício	Nível	Pond.	N . P
A	Orientação do Edifício		40	
B	Sombreamento		30	
C	Protecção da radiação solar e a exposição às brisas frescas no Verão		10	
D	Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício		20	
$\Sigma N . P$				
				$\Sigma N . P / 100$
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados	Nível	Pond.	N . P
A	Distribuição dos vãos envidraçados verticais		35	
B	Razão área de envidraçado / área útil do compartimento ( $A_p$ )		20	
C	Factor solar do vidro ( $g_{\perp v}$ )		15	
D	Factor solar do vão envidraçado ( $g_{\perp}$ )		20	
E	Factor de obstrução ( $F_s$ ) no Inverno		10	
$\Sigma N . P$				
				$\Sigma N . P / 100$
CBE 1.4	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	Nível	Pond.	N . P
A	Características estruturais das paredes exteriores		40	
B	Ventilação das coberturas		15	
C	Cor da superfície exterior da envolvente opaca exterior		30	
D	Protecção das superfícies exteriores da envolvente com vegetação		15	
$\Sigma N . P$				
				$\Sigma N . P / 100$
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente	Nível	Pond.	N . P
A	Orientação do sistema especial de captação		40	
B	Constituição do sistema especial de captação		30	
C	Dispositivos de circulação de ar		10	
D	Dispositivos de protecção da radiação solar no Verão		20	
$\Sigma N . P$				
				$\Sigma N . P / 100$

**Quadro 4.43** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

CBE 2		Armazenamento Térmico		
CBE 2.1	Inércia Térmica	Nível	Pond.	N . P
<b>A</b>	Massa superficial útil ( $M_{si}$ ) do elemento construtivo		30	
<b>B</b>	Resistência térmica do revestimento superficial ( $R$ )		10	
<b>C</b>	Distribuição da massa superficial útil em função da orientação dos compartimentos		30	
<b>D</b>	Inércia térmica interior ( $I_i$ )		30	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>

**Quadro 4.44** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE 3</b>		<b>Conservação da Energia</b>		
<b>CBE 3.1</b>	<b>Forma do Edifício</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Factor de forma		60	
<b>B</b>	Tipo e orientação da cobertura		15	
<b>C</b>	Utilização de espaços tampão		25	
<b>Σ N . P</b>				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 3.2</b>	<b>Iluminação Natural em Edifícios</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Factor de Luz do dia Médio (FLDM)		50	
<b>B</b>	Vista do céu		20	
<b>C</b>	Critério da limitação da profundidade		30	
<b>Σ N . P</b>				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 3.3</b>	<b>Organização Interna dos Espaços</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Distribuição da área útil de pavimento		40	
<b>B</b>	Zonamento térmico		40	
<b>C</b>	Troca de calor por circulação do ar na vertical e na horizontal		20	
<b>Σ N . P</b>				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 3.4</b>	<b>Concepção da Envolvente Opaca Vertical</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Isolamento térmico		50	
<b>B</b>	Compatibilidade parede / estrutura		15	
<b>C</b>	Controlo da permeabilidade ao vapor		15	
<b>D</b>	Aptidão à utilização		10	
<b>E</b>	Parede em contacto com o solo		10	
<b>Σ N . P</b>				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 3.5</b>	<b>Concepção da Envolvente Opaca Horizontal</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Isolamento térmico		40	
<b>B</b>	Estanquidade das ligações da cobertura com elementos salientes		20	
<b>C</b>	Controlo da permeabilidade ao vapor		20	
<b>D</b>	Aptidão à utilização		10	
<b>E</b>	Pavimento em contacto com o solo		10	
<b>Σ N . P</b>				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 3.6</b>	<b>Concepção das Portas e Janelas</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Isolamento térmico		50	
<b>B</b>	Permeabilidade ao ar das caixilharias		20	
<b>C</b>	Estanquidade à água		15	
<b>D</b>	Resistência às solicitações do vento		15	
<b>Σ N . P</b>				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 3.7</b>	<b>Tratamento das Pontes Térmicas</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Isolamento térmico das pontes térmicas planas		30	
<b>B</b>	Tratamento das pontes térmicas lineares		30	
<b>C</b>	Ligação da fachada com vãos envidraçados		20	
<b>D</b>	Pormenores construtivos		20	
<b>Σ N . P</b>				<b>Σ N . P / 100</b>

**Quadro 4.45 - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)**

CBE 4		Distribuição de Calor		
CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção	Nível	Pond.	N . P
A	Ventilação Natural		30	
B	Taxa de renovação nominal		50	
C	Sistemas de refrigeração passiva		20	
Σ N . P				
CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação	Nível	Pond.	N . P
A	Dispositivos de protecção		30	
B	Sistemas de sombreamento		50	
C	Refrigeração por radiação nocturna		20	
Σ N . P				

**Quadro 4.46** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>			
<b>CBE 1</b>	<b>Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício		30	
CBE 1.2	Implantação do Edifício		25	
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados		20	
CBE 1.4	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior		15	
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente		10	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 2</b>	<b>Armazenamento Térmico</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
CBE 2.1	Inércia Térmica Interior		100	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 3</b>	<b>Conservação da Energia e Protecção do Vento</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
CBE 3.1	Forma do Edifício		10	
CBE 3.2	Iluminação Natural em Edifícios		10	
CBE 3.3	Organização Interna dos Espaços		10	
CBE 3.4	Concepção da Envolvente Opaca Vertical		20	
CBE 3.5	Concepção da Envolvente Opaca Horizontal		20	
CBE 3.6	Concepção das Portas e Janelas		20	
CBE 3.7	Tratamento das Pontes Térmicas		10	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>CBE 4</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção		70	
CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação		30	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>

**Quadro 4.47** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>			
<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
CBE 1	Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento		30	
CBE 2	Armazenamento Térmico		15	
CBE 3	Conservação da Energia e Protecção do Vento		40	
CBE 4	Distribuição de calor		15	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>

**Quadro 4.48** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**.

<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>			
<b>QIA 1</b>	<b>Saúde e bem-estar dos ocupantes</b>			
<b>QIA 1.1</b>	<b>Conforto Térmico</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Temperatura do ar		30	
<b>B</b>	Correntes de ar		30	
<b>C</b>	Temperatura radiante		25	
<b>D</b>	Temperatura do pavimento		15	
<b>Σ N . P</b>				
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>QIA 1.2</b>	<b>Qualidade do Ar</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Ventilação Natural		50	
<b>B</b>	Outras estratégias de Ventilação		30	
<b>C</b>	Concentrações de referência		20	
<b>Σ N . P</b>				
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>QIA 1.3</b>	<b>Conforto Visual</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Sistemas de iluminação		30	
<b>B</b>	Níveis de iluminância		30	
<b>C</b>	Contraste		20	
<b>D</b>	Encandeamento		20	
<b>Σ N . P</b>				
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>QIA 1.4</b>	<b>Conforto Acústico</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	$D_{2m,n,w}$		30	
<b>B</b>	$D_{n,w}$		30	
<b>C</b>	$L'_{n,w}$		20	
<b>D</b>	$L_{Ar}$		20	
<b>Σ N . P</b>				
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>QIA 2</b>	<b>Sistemas de Controlo e Gestão</b>			
<b>QIA 2.1</b>	<b>Sistemas de Controlo e Gestão</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Controlo dos Sistemas de iluminação		35	
<b>B</b>	Controlo da incidência da radiação solar		30	
<b>C</b>	Controlo dos níveis de renovação de ar		35	
<b>Σ N . P</b>				
				<b>Σ N . P / 100</b>

**Quadro 4.49** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**. (Cont.)

<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>			
<b>QIA 1</b>	<b>Saúde e bem-estar dos ocupantes</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 1.1	Conforto Térmico		40	
QIA 1.2	Qualidade do Ar		30	
QIA 1.3	Conforto Visual		20	
QIA 1.4	Conforto Acústico		10	
<b>Σ N . P</b>				
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>QIA 2</b>	<b>Sistemas de Controlo e Gestão</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão		100	
<b>Σ N . P</b>				
				<b>Σ N . P / 100</b>

**Quadro 4.50** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**. (Cont.)

<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>			
<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 1	Saúde e bem-estar dos ocupantes		70	
QIA 2	Sistemas de Controlo e Gestão		30	
<b>Σ N . P</b>				
				<b>Σ N . P / 100</b>



**Quadro 4.51 - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria Impacto Ambiental dos Edifícios.**

<b>IAE</b>	<b>Impacto Ambiental dos Edifícios</b>			
<b>IEA 1</b>	<b>Eficiência Energética da Concepção do Edifício</b>			
IEA 1.1	<b>Necessidades Anuais Globais de Energia</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
A	Nic		35	
B	Nvc		30	
C	Nac		20	
D	Ntc		15	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>IEA 2</b>	<b>Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos</b>			
IEA 2.1	<b>Sistemas Mecânicos de Climatização</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
A	Condições de Dimensionamento		40	
B	Seleção das Fontes de Energia Térmica		30	
C	Distribuição eficiente de ar e energia térmica nos compartimentos		20	
D	Plano de Manutenção		10	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
IEA 2.2	<b>Sistemas de Ventilação</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
A	Condições de Dimensionamento		50	
B	Consumo de energia pelos ventiladores e sistemas de controlo		30	
C	Plano de Manutenção		20	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
IEA 2.3	<b>Sistemas de Iluminação</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
A	Sistemas de Iluminação Combinados		50	
B	Dispositivos de Iluminação		30	
C	Dispositivos de controlo		20	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
IEA 2.4	<b>Energias Renováveis</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
A	Sistema solar térmico para AQS		40	
B	Sistema solar fotovoltaico		20	
C	Biomassa, eólica, geotérmica, mini-hidrogeradores		50	
D	Sistema de recuperação de calor		10	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
IEA 2.5	<b>Equipamentos</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
A	Certificação dos Equipamentos		40	
B	Modo de funcionamento		30	
C	Reciclagem dos equipamentos		30	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>
<b>IEA 3</b>	<b>Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção</b>			
IEA 3.1	<b>Materiais de Construção</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
A	Escolha dos materiais de construção		50	
B	Reciclagem dos materiais		30	
C	Novas tecnologias		20	
			<b>Σ N . P</b>	
				<b>Σ N . P / 100</b>

**Quadro 4.52** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios**. (Cont.)

IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios			
IEA 1	Eficiência Energética da Concepção do Edifício	Nível	Pond.	N . P
IEA 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia		100	
$\Sigma N . P$				
IEA 2	Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos	Nível	Pond.	N . P
IEA 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização		35	
IEA 2.2	Sistemas de Ventilação		15	
IEA 2.3	Sistemas de Iluminação		20	
IEA 2.4	Energias Renováveis		20	
IEA 2.5	Equipamentos/Electrodomésticos		10	
$\Sigma N . P$				
IEA 3	Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção	Nível	Pond.	N . P
IEA 3.1	Materiais de Construção		100	
$\Sigma N . P$				

 $\Sigma N . P / 100$  $\Sigma N . P / 100$  $\Sigma N . P / 100$ **Quadro 4.53** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios**. (Cont.)

IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios			
IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios	Nível	Pond.	N . P
IEA 1	Eficiência Energética da Concepção do Edifício		60	
IEA 2	Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos		30	
IEA 3	Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção		10	
$\Sigma N . P$				

 $\Sigma N . P / 100$ **Quadro 4.54** - Quadro de apresentação dos resultados de aplicação do Método de Avaliação da Qualidade Térmica dos Edifícios desenvolvido, Nível de Qualidade Térmica.





	Qualidade Térmica de Edifícios			
	Qualidade Térmica de Edifícios	Nível	Pond.	N . P
CBE	Concepção Bioclimática dos Edifícios		70	
QIA	Qualidade do Ambiente Interior		10	
IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios		20	
$\Sigma N . P$				
Nível de Qualidade Térmica				

 $\Sigma N . P / 100$

#### 4.4. Desempenho do Edifício

Após a análise do projecto do edifício de acordo com as fichas de avaliação obtém-se o Nível Global de Qualidade Térmica do Edifício, com o qual vamos obter o Desempenho do Edifício, tendo em consideração a relação apresentada no quadro 4.55, em que os valores indicam o intervalo, considera-se que o valor superior está incluído e o valor inferior não, que corresponde ao valor do Desempenho do Edifício.

**Quadro 4.55** - Desempenho Energético do Edifício em função do Nível Global de Qualidade Térmica do Edifício.

Nível de Qualidade Térmica (NQT)	Desempenho do Edifício	
$0 < \text{NQT} \leq 1$	<i>Insuficiente</i>	
$1 < \text{NQT} \leq 2,5$	<i>Suficiente</i>	
$2,5 < \text{NQT} \leq 3,5$	<i>Bom</i>	
$3,5 < \text{NQT} \leq 4$	<i>Muito Bom</i>	



## **CAPÍTULO V**

### **APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO**

## 5. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

### 5.1. Aplicação do Método de Avaliação

### 5.2. Edifício Unifamiliar (moradia)

#### 5.2.1. Elementos Desenhados

#### 5.2.2. Elementos Escritos e Medições

#### 5.2.3. Caracterização Térmica do Edifício

#### 5.2.4. Nível de Qualidade da Moradia

##### 5.2.4.1. Conceção Bioclimática dos Edifícios (CBE)

##### 5.2.4.2. Qualidade do Ambiente Interior Conceção (QIA)

##### 5.2.4.3. Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)

##### 5.2.4.4. Nível de Qualidade Térmica

##### 5.2.4.5. Desempenho do Edifício

##### 5.2.4.6. Representação do Perfil de Qualidade

### 5.3. Edifício Multifamiliar (pisos intermédios de um bloco de apartamentos)

#### 5.3.1. Elementos Desenhados

#### 5.3.2. Elementos Escritos e Medições

#### 5.3.3. Caracterização Térmica do Edifício

#### 5.3.4. Nível de Qualidade para os pisos intermédios ( piso 2 e 3)

##### 5.3.4.1. Conceção Bioclimática dos Edifícios (CBE)

##### 5.3.4.2. Qualidade do Ambiente Interior Conceção (QIA)

##### 5.3.4.3. Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)

##### 5.3.4.4. Nível de Qualidade Térmica

##### 5.3.4.5. Desempenho do Edifício

##### 5.3.4.6. Representação do Perfil de Qualidade

### 5.4. Análise dos Resultados Obtidos

### 5.5. Comentários à Aplicação do Método de Avaliação

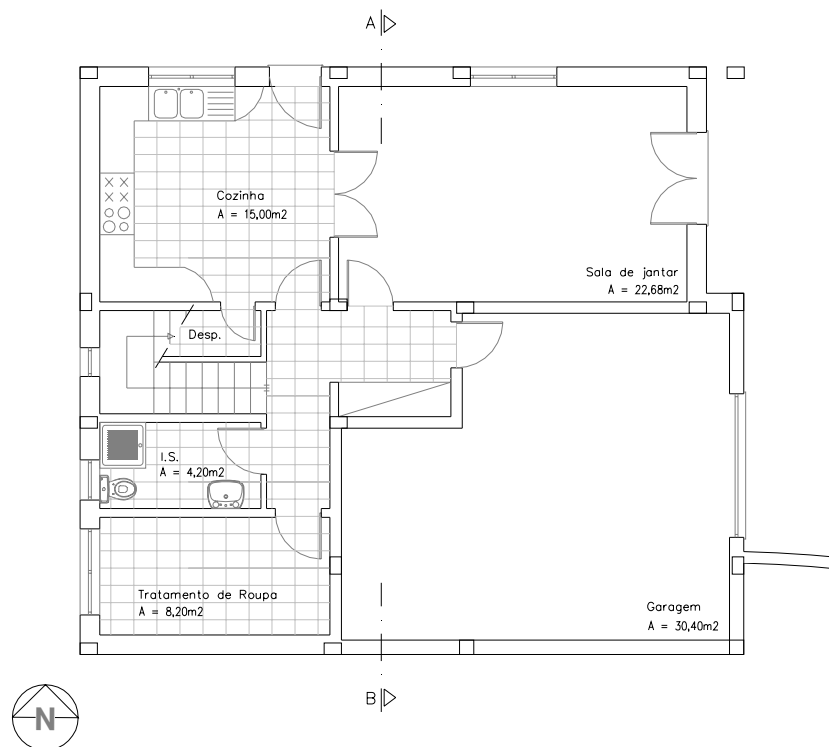
## 5. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

### 5.1. Aplicação do Método de Avaliação

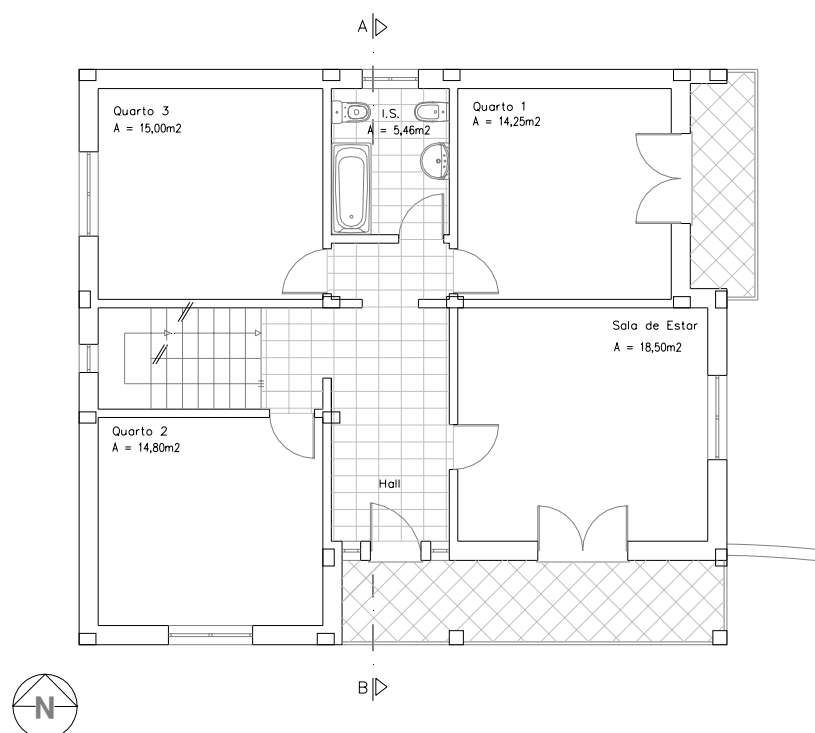
Com o objectivo de validar a metodologia de avaliação da qualidade térmica de edifícios proposta, vamos fazer a sua aplicação ao projecto de duas tipologias diferentes de edifícios de habitação, a um edifício unifamiliar (moradia) e a um edifício multifamiliar (pisos intermédios de um bloco de apartamentos), são sintetizados os elementos escritos e desenhados no projecto de arquitectura (plantas, alçados, cortes e desenhos de pormenor) e no estudo do comportamento térmico (caracterização térmica do edifício). À medida que preenchemos os quadros de ponderação das fichas de avaliação para as diferentes categorias, caso seja importante, vamos justificar o nível e qualidade obtido. Por fim obtermos o **Nível de Qualidade Térmica** e o **Desempenho do Edifício** e apresentamos o respectivo **Perfil de Qualidade**.

### 5.2. Edifício Unifamiliar (moradia)

#### 5.2.1. Elementos Desenhados



**Figura 5.1 - Planta do Rés-do-Chão**

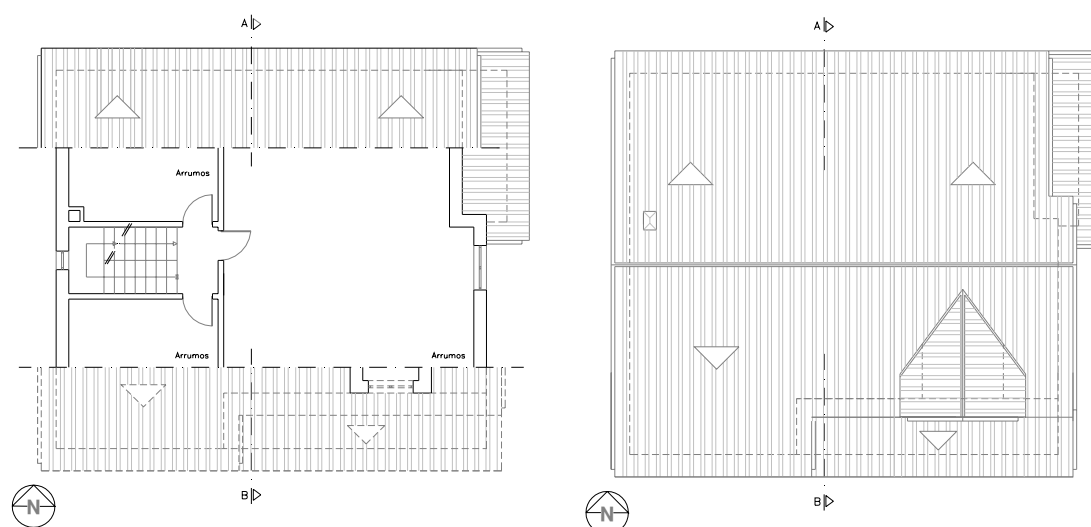


**Figura 5.2 - Planta do 1.º Andar**



**Figura 5.3 - Corte AB.**

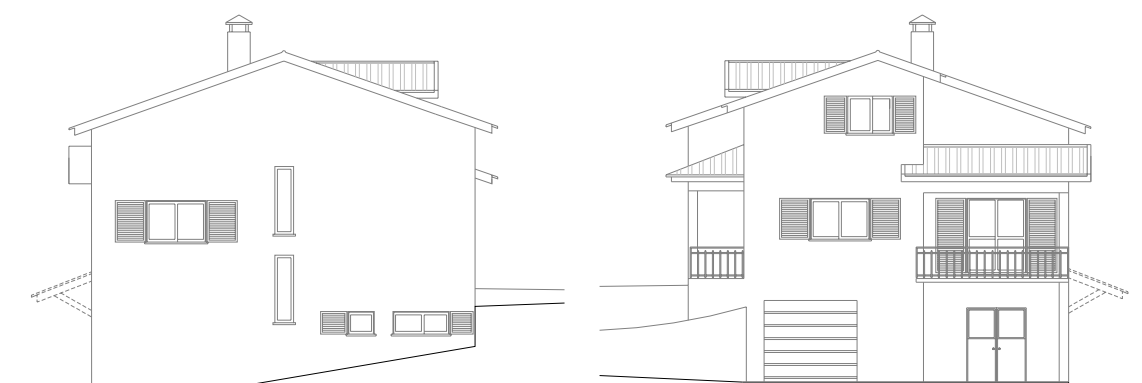




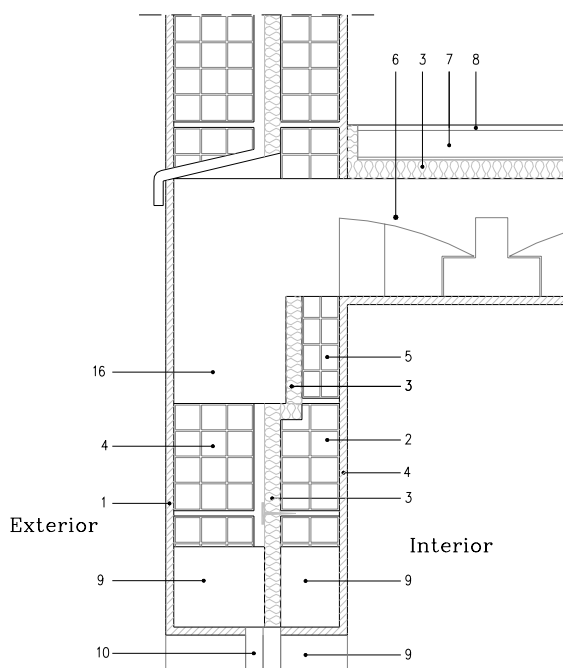
**Figura 5.4** - Planta do Sótão (à esquerda) e Planta da Cobertura (à direita).



**Figura 5.5** - Alçado Principal (à esquerda) e Alçado Posterior (à direita).



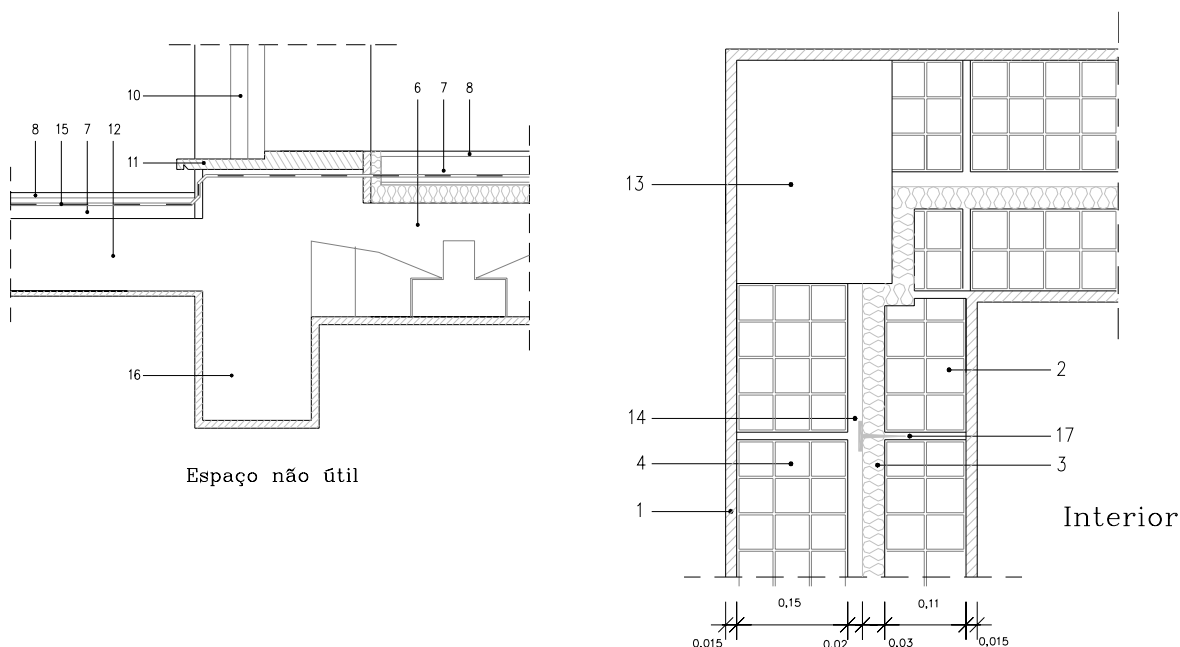
**Figura 5.6** - Alçados Lateral Esquerdo (à esquerda) e Alçado Lateral Direito (à direita.)



Legenda das figuras 5.7 e 5.8:

- 1 - revestimento das paredes
- 2 - alvenaria int. tijolo 0,11 m
- 3 - isolante térmico
- 4 - alvenaria ext. tijolo 0,15 m
- 5 - alvenaria tijolo 0,07 m
- 6 - laje de betão
- 7 - betonilha de regularização
- 8 - revestimento dos pavimentos
- 9 - caixa de estores
- 10 - caixilharia
- 11 - soleira
- 12 - laje da varanda
- 13 - pilar
- 14 - caixa de ar
- 15 - impermeabilização da varanda
- 16 - viga
- 17 - elemento de fixação

**Figura 5.7** - Ligação da fachada com pavimento intermédio e com torsa (corte vertical).



**Figura 5.8** - Ligação da fachada com a varanda em corte vertical (à esquerda) e ligação entre duas paredes, em planta (à direita).

### 5.2.2. Elementos Escritos e Medições

Moradia unifamiliar, com 3 quartos, localizada em zona urbana, constituída por: Rés-do-Chão (garagem e habitação), 1.º Andar (habitação) e Sótão (arrumos), construída no concelho de Leiria a 5 km do mar e a uma altitude de 35 m. A composição dos elementos é a seguinte:

- cobertura inclinada, sobre a caixa de escadas, cobertura em telha cerâmica, com isolamento contínuo em poliestireno extrudido com 0,04 m em placas fixado pontualmente com parafusos às vigotas pré-esforçadas = 7,52 m<sup>2</sup>;
- tecto do 1.º Andar, estucado, sob desvão fortemente ventilado, em laje aligeirada com blocos de betão leve, com 0,15 m de espessura e com 0,06 m de poliestireno extrudido = 82,40 m<sup>2</sup>;
- pavimento do 1.º Andar confinando com Rés-do-Chão (espaço não útil) constituído por uma laje aligeirada com blocos de betão leve, com 0,15 m de espessura e com 0,03 m de “esferovite” = 23,45 m<sup>2</sup>;
- pavimento do 1.º Andar confinando com Rés-do-Chão (espaço útil), com aplicação de 0,01 m de parquet de madeira, 0,05 m de betonilha, folha de separação, 0,04 m de aglomerado negro de cortiça e laje aligeirada com blocos de betão leve, com 0,15 m de espessura;
- pavimento do Rés-do-Chão (espaço útil) em contacto com o solo à profundidade de 2,30 m com comprimento linear = 4,50 m e 0,20 m acima da cota do terreno exterior com comprimento linear = 13,50 m;
- parede dupla de fachada constituída por: pano exterior em bloco de betão leve com 0,15 m rebocado e pintado de amarelo, isolamento térmico preenchendo parcialmente a caixa-de-ar com 0,03 m de poliestireno moldado e pano interior de bloco de betão leve com 0,11 m estanhado e pintado de branco (19,50 m<sup>2</sup> a S, 33,75 m<sup>2</sup> a N, 26,95 m<sup>2</sup> a E, a W 48,80 m<sup>2</sup> e comprimento linear em contacto com o solo = 4,50 m);
- parede divisória confinando com garagem no Rés-do-Chão constituída por blocos de betão leve com 0,20 m e revestida na face exterior com 0,015 m de reboco e na face interior com 0,015 m de estuque projectado pintado a branco = 41,86 m<sup>2</sup>;
- vãos envidraçados em caixilharia de madeira, não é classificada em relação à permeabilidade ao ar, sem quadriculas, vidro duplo (incolor + incolor: 5 + 5 mm) com 12 mm de espessura na lâmina de ar e portadas exteriores de madeira de cor média (dispositivos de oclusão nocturna com permeabilidade ao ar baixa) e cortinas interiores muito transparentes de cor clara (1,65 m<sup>2</sup> a S, 5,10 m<sup>2</sup> a N, 5,05 m<sup>2</sup> a E e 2,05 m<sup>2</sup> a W);
- portada de sacada envidraçada na fachada Sul (Alçado Principal), com 2,00 x 1,70 m<sup>2</sup> obstruída na horizontal pelo telheiro e na vertical pela existência de uma parede saliente, em caixilharia de madeira, não é classificada em relação à

permeabilidade ao ar, sem quadriculas, vidro duplo (incolor + incolor: 5 + 5 mm) com 12 mm de espessura na lâmina de ar e portadas exteriores de madeira de cor média (dispositivos de oclusão nocturna com permeabilidade ao ar baixa) e cortinas interiores muito transparentes de cor clara;

- vãos envidraçados em caixilharia de madeira, não é classificada em relação à permeabilidade ao ar, sem quadriculas, vidro duplo (reflectante incolor + incolor: 5 + 5 mm) com 12 mm de espessura na lâmina de ar sem dispositivos de oclusão nocturna (1,20 m<sup>2</sup> a S, 1,25 m<sup>2</sup> a E e 2,00 m<sup>2</sup> a W);
- área útil do Rés-do-Chão = 54,78 m<sup>2</sup>, área útil do 1.º Andar = 84,00 m<sup>2</sup>, pé-direito igual a 2,70 m no Rés-do-Chão e 2,50 m no 1.º Andar;
- a área da garagem em contacto com o exterior é igual a 30,85 m<sup>2</sup>;
- o projecto de ventilação não prevê a existência de dispositivos de admissão de ar nas paredes de fachada nem a aplicação de vedantes nas portas e janelas exteriores, o exaustor na cozinha será o único dispositivo de extracção mecânica que a moradia dispõe, pelo que se pode concluir que a moradia só tem ventilação natural e que não satisfaz a NP 1037-1;
- sistema de aquecimento com caldeira a gasóleo, não é apresentado o projecto de dimensionamento;
- sistema de arrefecimento com máquina frigorífica (ciclo de compressão), não é apresentado o projecto de dimensionamento;
- sistema para AQS com termoacumulador eléctrico com menos de 50 mm de isolamento térmico (a contribuição dos sistemas solares para AQS é igual a 1600 kWh/ano);
- correcção das pontes térmicas planas pelo interior com 0,03 cm de poliestireno extrudido e com tijolo de 7 cm no talão das vigas e pilares, na torsa dos vãos envidraçados existe continuidade entre o isolante térmico (0,03 cm de poliestireno extrudido) e a caixilharia;
- consideram-se as seguintes pontes térmicas lineares:
  - Ligação da fachada com os pavimentos térreos = 13,50 m;
  - Ligação da fachada com os pavimentos = 12,50 m;
  - Ligação da fachada com pavimentos intermédios = 15,95 m;
  - Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço = 27,95 m;
  - Ligação da fachada com varanda = 12,50 m;
  - Ligação de duas paredes verticais = 28,50 m;
  - Ligação da fachada com caixa de estore = 0 m;
  - Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril = 55,65 m.

### 5.2.3. Caracterização Térmica do Edifício

No quadro 5.1, representa-se a caracterização térmica do edifício unifamiliar e do quadro 5.2 ao 5.5 faz-se o cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%), a verificação do critério profundidade e indicam-se os índices para a verificação do conforto acústico, por compartimento. No quadro 5.6 apresenta-se um resumo da distribuição da área das paredes exteriores, da área dos vãos envidraçados, da área dos compartimentos e da massa superficial útil de acordo com a sua orientação.

**Quadro 5.1 - Caracterização Térmica do Edifício ou Fracção Autónoma, adaptado de [1].**

Caracterização Térmica do Edifício ou Fracção Autónoma																			
Dados Relativos à Localização e à Tipologia do Edifício																			
Concelho: Leiria			Zona Urbana: Construído em zona urbana				Tipologia:		Moradia com 2 pisos				T3						
Zona Climática: I 2 V 1			Altitude: 35 m		Faixa litoral: 5 Km			Alterações: S I 1 V 1											
Graus-Dias: 1500 °C.dia			Duração Aquecimento: 6,0 Meses				Temp. exterior de projecto: 31 °C												
Levantamento Dimensional e Parâmetros Térmicos																			
Elemento da Envolvente Exterior		Áreas (m²) por Orientação									U (W/m².°C)			g		α			
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Elem.	Ref.	Máx.	I	V				
Paredes		1	33,75		26,95		19,50		48,80		127,72	0,51	0,70	1,80			0,4		
Vãos Envidraçados (especificar o tipo de protecção e o factor solar e Factor de obstrução de Inverno)		1	5,10		5,05		1,65		2,05		13,85	2,32	4,30		0,63	0,26			
		2					3,40				3,40	2,32	4,30		0,63	0,26			
		3			1,25		1,20		2,00		4,45	3,00	4,30		0,52	0,52			
		Fs	0,41		0,41		0,27		0,41		21,70	Aenv. (m²)							
		1	Caixilharia madeira, vidro duplo (inc.+inc:5+5 mm),12 mm lâmina de ar, portadas ext. de madeira de cor média.																
		2	Caixilharia madeira, vidro duplo (inc.+inc:5+5 mm),12 mm lâmina de ar, portadas ext. de madeira de cor média.																
		3	Caixilharia madeira, vidro duplo (reflectante inc.+inc:5+5 mm),12 mm lâmina de ar, sem protecção.																
Coberturas		Tipo de cobertura							Área (m²)	α	U (W/m².°C)								
											Elem.	Ref.	Máx.						
		Terraço																	
		Desvão não-ventilado																	
		Desvão ventilado							82,40	0,4	0,77	0,50	1,25						
		Inclinadas							7,52	0,4	0,50	0,50	1,25						
Pavimento																			
Pontes Térmicas Planas (*) Existência de pormenor construtivo (S/N)		Tipo de ponte térmica plana							(*)	Upont.	Ucor.	2Ucor.	Umáx.						
		Talão de viga							S	7,20	0,76	0,51	1,02	1,80					
		Pilar							S	2,20	0,76	0,51	1,02	1,80					
		Caixa de estore							S	3,20	0,86	0,51	1,02	1,80					
Elemento da Envolvente Interior		Tipo de espaço não útil							Au (m²)	Ai (m²)	τ	U (W/m².°C)							
												Elem.	Ref.	Máx.					
Parede		Garagem privada							30,85	41,86	0,50	1,16	1,40	2,00					
Cobertura																			
Pavimento		Garagem privada							30,85	23,45	0,80	0,76	1,00	1,65					
Vão Envidraçado																			
Elementos em contacto com o Solo		Diferença de nível (Z) e a existência de isolante térmico							Comp. (m)		Ψ (W/m.°C)		(*)						
Pavimentos		1	Profundidade de - 2,30 m, sem isolante térmico							4,50		0,50							
		2	Profundidade de 0,20 m, sem isolante térmico							13,50		2,50							
Paredes		1	Profundidade de - 2,30 m, sem isolante térmico							4,50		0,80							
Pontes Térmicas (*) Existência de pormenor construtivo (S/N)		Ligação da fachada com	Pavimento térreo							13,50		0,68		S					
			Pavimento intermédio							15,95		0,30		S					
			Pavimento sobre locais não aquecidos ou exteriores							12,50		0,50		S					
			Cobertura inclinada ou terraço							27,95		0,50		S					
			Varanda							12,50		0,30		S					
			Caixa de estore																
			Peitoril/padieira/ombreira							55,65		0,20		S					
				Ligação entre duas paredes							28,50		0,20		S				
Índices e parâmetros complementares																			
Ap (m²)	Aenv./Ap (%)	T.Ren (RPH)	FF	It	Esolar (%)	Necessidades Nominais de Energia Útil (kWh/m².ano) e a razão de Nc/N (%)													
						Nic	Ni	%	Nv	Nv	%	Na	Na	%	Ntc	Nt	%		
138,78	15,60	0,90	0,78	F	52,35	79,33	79,47	99,83	2,38	16,00	14,76	16,00	34,09	46,94	4,94	5,47	90,17		

**Quadro 5.2** - Cálculo da inércia térmica interior ( $I_i$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, adaptado de [1].

Elemento de construção					$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	Factor de correção (r)	$M_{si} r S_i$ (kg)
<b>Compartimento 1:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env}/A_{pav}$ (%)
Sala de Jantar no Rés-do-Chão		22,68	2,70		1,65		N	7,30
					1,25		E	5,50
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior				140	23,56		3298
	Paredes da envolvente interior				140	16,34		2288
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados				150	22,68		3402
EL3	Paredes interiores				140	10,13		1418
	Pavimentos interiores				125	22,68		2835
<b>Total</b>		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	2,90		$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	95,39	$M_{si} r S_i$ =	13241
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
1,79	L (m)	3,75	W (m)	6,05	h (m)	2,00	Resultado	2,50 ok
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$	33	$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$
<b>Compartimento 2:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env}/A_{pav}$ (%)
Cozinha no Rés-do-Chão		15,00	2,70		1,65		N	16,00
					1,00		N	5,33
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior				140	17,68		2475
	Paredes da envolvente interior							
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados				150	15,00		2250
EL3	Paredes interiores				140	20,93		2930
	Pavimentos interiores				125	15,00		1875
<b>Total</b>		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	2,65		$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	68,61	$M_{si} r S_i$ =	9530
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
2,26	L (m)	3,75	W (m)	4,00	h (m)	2,00	Resultado	2,81 ok
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$
<b>Compartimento 3:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env}/A_{pav}$ (%)
Inst. Sanitárias do Rés-do-Chão		4,20	2,70		0,40		W	9,52
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior				140	3,63		508
	Paredes da envolvente interior				140	7,56		1050
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados				150	4,20		630
EL3	Paredes interiores				140	11,61		1625
	Pavimentos interiores				125	4,20		525
<b>Total</b>		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	0,40		$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	31,20	$M_{si} r S_i$ =	4347
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
0,77	L (m)	2,80	W (m)	1,50	h (m)	2,00	Resultado	3,27 ok
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$

**Quadro 5.3** - Cálculo da inércia térmica interior ( $I_i$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, adaptado de [1]. (Cont.)

Elemento de construção					$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	Factor de correção (r)	$M_{si} r S_i$ (kg)
<b>Compartimento 4:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env.}/A_{pav.}$ (%)
Corredor e Escadas do Rés-do-Chão		12,90	2,70		1,00		W	7,75
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior				140	2,86		400
	Paredes da envolvente interior				140	17,96		2514
EL2	Paredes enterradas				140	1,05		147
	Pavimentos enterrados				150	12,90		1935
EL3	Paredes interiores				140	28,76		4026
	Pavimentos interiores				125	7,70		963
<b>Total</b>		$A_{env.} (m^2) =$	1,00		$S_i (m^2) =$	71,23	$M_{si} r S_i =$	9986
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
0,84	L (m)	4,50	W (m)	1,80	h (m)	2,00	Resultado	3,80 ko
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$
<b>Compartimento 5:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env.}/A_{pav.}$ (%)
Hall e Escadas do 1.º Andar		16,19	2,50		1,00		W	6,20
					1,20		S	7,40
EL1	Laje de tecto				5	7,20	0,50	18
	Laje de pavimento				80	4,45		356
	Paredes da envolvente exterior				140	8,30		1162
	Paredes da envolvente interior							
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores				140	42,25		5915
	Pavimentos interiores				80	11,74		915
<b>Total</b>		$A_{env.} (m^2) =$	2,20		$S_i (m^2) =$	73,94	$M_{si} r S_i =$	8408
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
1,75	L (m)	5,20	W (m)	2,00	h (m)	2,10	Resultado	5,08 ko
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$
<b>Compartimento 6:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env.}/A_{pav.}$ (%)
Sala do estar no 1.º Andar		18,50	2,50		3,40		S	18,40
					1,65		E	8,92
EL1	Laje de tecto				140	18,50		2590
	Laje de pavimento				80	18,50		1480
	Paredes da envolvente exterior				140	16,45		2303
	Paredes da envolvente interior							
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores				140	21,50		3010
	Pavimentos interiores							
<b>Total</b>		$A_{env.} (m^2) =$	5,05		$S_i (m^2) =$	74,95	$M_{si} r S_i =$	9383
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
3,83	L (m)	4,45	W (m)	4,15	h (m)	2,00	Resultado	3,30 ok
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$	33	$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$



**Quadro 5.4** - Cálculo da inércia térmica interior ( $I_i$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, adaptado de [1]. (Cont.)

Elemento de construção					$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	Factor de correção (r)	$M_{si} r S_i$ (kg)
Compartimento 7:		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )	Orientação		Aenv./Apav. (%)	
Quarto 1 do 1.º Andar		14,25	2,50	3,40	E		23,86	
EL1	Laje de tecto			140	14,25	1995		
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior			140	15,45	2163		
	Paredes da envolvente interior							
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores			140	18,88	2643		
	Pavimentos interiores			80	14,25	1140		
Total		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	3,40	$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	62,83	$M_{si} r S_i$ =		7941
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
3,11	L (m)	3,75	W (m)	3,75	h (m)	2,00	Resultado	2,88 ok
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$	33	$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$
Compartimento 8:		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )	Orientação		Aenv./Apav. (%)	
Quarto 2 do 1.º Andar		14,60	2,50	1,65	S		11,30	
EL1	Laje de tecto			140	14,60	2044		
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior			140	17,60	2464		
	Paredes da envolvente interior							
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores			140	19,25	2695		
	Pavimentos interiores			80	14,60	1168		
Total		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	1,65	$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	66,05	$M_{si} r S_i$ =		8371
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
1,48	L (m)	3,75	W (m)	4,00	h (m)	2,00	Resultado	2,81 ok
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$	33	$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$
Compartimento 9:		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )	Orientação		Aenv./Apav. (%)	
Quarto 3 do 1.º Andar		15,00	2,50	1,65	W		11,00	
EL1	Laje de tecto			140	15,00	2100		
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior			140	17,73	2482		
	Paredes da envolvente interior							
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores			140	19,38	2713		
	Pavimentos interiores			80	15,00	1360		
Total		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	1,65	$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	67,11	$M_{si} r S_i$ =		8495
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
1,46	L (m)	4,00	W (m)	3,70	h (m)	2,00	Resultado	3,08 V
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$	33	$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$

**Quadro 5.5** - Cálculo da inércia térmica interior ( $I_t$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, adaptado de [1]. (Cont.)

Elemento de construção						$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	Factor de correção (r)	$M_{si} \times S_i$ (kg)		
Compartimento 10:		Apavimento (m <sup>2</sup> )		Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	Aenv./Apav. (%)		
Inst. Sanitárias do 1.º Andar		5,46		2,50		0,80		N	14,65		
EL1	Laje de tecto					140	5,46		764		
	Laje de pavimento										
	Paredes da envolvente exterior					140	4,45		623		
	Paredes da envolvente interior										
EL2	Paredes enterradas										
	Pavimentos enterrados										
EL3	Paredes interiores					140	24,00		3360		
	Pavimentos interiores					80	5,46		437		
Total		Aenv. (m <sup>2</sup> )=		0,80		$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =		39,37	$M_{si} \times S_i$ =	5184	
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>									
1,21		L (m)	2,60	W (m)	2,10	h (m)	2,00	Resultado		2,54	V
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$			$D_{n,w}$			$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$	

<b>Massa Superficial útil Total por m<sup>2</sup></b>	<b>84887</b>	<b>Inércia Térmica (It) <sup>(3)</sup></b>	<b>Forte</b>
---	--------------	--	--------------

- (1) Para o cálculo do Factor de Luz do Dia Médio - FDLM (%) utilizou-se a expressão definida na *linha de orientação i* da FA CBE 3.2 “Iluminação Natural dos edifícios”,  $[FDLM (\%) = (A_{env.} \times 45,5) / (A_s \times 0,75)]$ , considerando a reflectância média das superfícies ( $R$ ) igual a 0,5 para o somatório das superfícies.
- (2) Para a verificação do critério profundidade utilizou-se a expressão definida FA CBE 3.2 “Iluminação Natural dos edifícios”  $[L/W + L/h \leq 2 / (1 - R)]$ , em que: L representa a profundidade do compartimento, W representa a largura, h a altura do limite superior da janela e  $R$  representa a reflectância média das superfícies, considerando  $R$  igual a 0,5  $[L/W + L/h \leq 4]$ .
- (3) A classe de inércia térmica ( $It$ ) é igual à Massa Superficial Útil Total a dividir pela Área Útil de Pavimento ( $A_p$ ).
- (4) Para a área da superfície interior tem que se contabilizar duas vezes (tecto + pavimento).

**Quadro 5.6** - Resumo da distribuição da área das paredes exteriores, da área dos vãos envidraçados, da área dos compartimentos e da massa superficial útil de acordo com a sua orientação.

Elementos em Análise		Orientação							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Paredes exteriores (Área Total = 127,72 m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	36,82		36,68		29,38		24,84	
	%	27,68		27,58		22,08		18,68	
Vãos envidraçados (Área Total = 21,70 m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	5,10		6,30		6,25		4,05	
	%	23,250		29,30		28,80		18,66	
Área dos compartimentos <sup>(1)</sup> (Área útil de pavimento = 138,78 m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	33,36		30,07		35,89		39,46	
	%	24,04		21,67		25,86		28,43	
Massa Superficial Útil <sup>(1)</sup> (Massa Superficial útil total = 84887 kg)	(kg)	22248		16714		19275		26650	
	%	26,21		19,69		22,71		31,39	

- (1) Área útil e a massa superficial dos compartimentos em relação à localização dos vãos envidraçados. Se um compartimento for servido por vãos envidraçados com orientações diferentes a área do mesmo será distribuída em função da área envidraçada em cada orientação.

## 5.2.4. Nível de Qualidade da Moradia

## 5.2.4.1. Concepção Bioclimática dos Edifícios (CBE)

**Quadro 5.7** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**.

CBE		Concepção Bioclimática dos Edifícios			
CBE 1		Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento			
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício	Nível	Pond.	N . P	
A	Caracterização do Clima	2	40	80	
B	Caracterização do espaço Urbano	2	30	60	
C	Caracterização do Lote	4	30	120	$\Sigma N . P / 100$
Por norma a caracterização do clima é só feita de acordo com o RCCTE				$\Sigma N . P$	260
					2,60
CBE 1.2	Implantação do Edifício	Nível	Pond.	N . P	
A	Orientação do Edifício	4 (2)	40	180	
B	Sombreamento	1	30	30	( $\theta = 45^\circ$ )
C	Protecção da radiação solar e a exposição às brisas frescas no Verão	2	10	20	
D	Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício	4	20	80	(Exp. 1)
A vegetação existente deve estar representada no levantamento topográfico e na planta de implantação ou no projecto de arranjos exteriores. O requisito B vai limitar o nível obtido para o requisito A, passa de 4 para 2.				$\Sigma N . P$	210
					2,10
					$\Sigma N . P / 100$
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados	Nível	Pond.	N . P	
A	Distribuição dos vãos envidraçados verticais	2	35	70	(Aenv.S=28,8%)
B	Razão área de envidraçado / área útil do compartimento ( $A_p$ )	4	20	80	(Aenv./ $A_p$ =15,6)
C	Factor solar do vidro ( $g_{\perp v}$ )	4	15	60	( $g_{\perp v}$ =0,61)
D	Factor solar do vão envidraçado ( $g_{\perp}$ )	2	20	40	( $g_{\perp}$ =0,31)
E	Factor de obstrução ( $F_s$ ) no Inverno	3	10	30	( $F_s$ = 0,32)
				$\Sigma N . P$	280
					2,80
					$\Sigma N . P / 100$
CBE 1.4	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	Nível	Pond.	N . P	
A	Características estruturais das paredes exteriores	4	40	160	
B	Ventilação das coberturas	4	20	80	
C	Cor da superfície exterior da envolvente opaca exterior	4	25	100	
D	Protecção das superfícies exteriores da envolvente com vegetação	1	15	15	$\Sigma N . P / 100$
Não se prevê a utilização de protecção das superfícies exterior da envolvente com vegetação				$\Sigma N . P$	355
					3,55
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente	Nível	Pond.	N . P	
A	Orientação do sistema especial de captação		40		
B	Constituição do sistema especial de captação		30		
C	Dispositivos de circulação de ar		10		
D	Dispositivos de protecção da radiação solar no Verão		20		$\Sigma N . P / 100$
Não se prevê a utilização de elementos especiais da envolvente				$\Sigma N . P$	0,00

**Quadro 5.8** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE 2</b>		<b>Armazenamento Térmico</b>			
<b>CBE 2.1</b>	<b>Inércia Térmica</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	(kg/m <sup>2</sup> )
<b>A</b>	Massa superficial útil ( $M_{si}$ ) do elemento construtivo	2	<b>30</b>	60	EL1≈ 140 EL2≈ 140 EL3≈ 100
<b>B</b>	Resistência térmica do revestimento superficial ( $R$ )	4 (2)	<b>10</b>	20	
<b>C</b>	Relação massa superficial útil e orientação dos compartimentos	2	<b>30</b>	60	(E/W=51,1%)
<b>D</b>	Inércia térmica interior ( $I_t$ )	4	<b>30</b>	120	(Forte)
Como o requisito C condiciona o nível qualidade obtido pelos requisitos A e B o nível de desempenho para estes requisitos será <b>2</b> .				<b>Σ N . P</b>	<b>260</b>
					<b>2,60</b>

**Quadro 5.9 - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)**

<b>CBE 3</b>		<b>Conservação da Energia</b>			
<b>CBE 3.1</b>	<b>Forma do Edifício</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Factor de forma	3	<b>60</b>	180	(FF=0,78)
<b>B</b>	Tipo e orientação da cobertura	4	<b>15</b>	60	
<b>C</b>	Utilização de espaços tampão	2	<b>25</b>	50	( $\tau=0,61$ )
<b><math>\Sigma</math> N . P</b>				<b>290</b>	<b>2,90</b>
<b>CBE 3.2</b>	<b>Iluminação Natural em Edifícios</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Factor de Luz do dia Médio (FLDM)	3	<b>50</b>	150	(FLMM=2,33%)
<b>B</b>	Vista do céu	4	<b>20</b>	80	
<b>C</b>	Critério da limitação da profundidade	4	<b>30</b>	120	<b><math>\Sigma</math> N . P / 100</b>
<b><math>\Sigma</math> N . P</b>				<b>350</b>	<b>3,50</b>
<b>CBE 3.3</b>	<b>Organização Interna dos Espaços</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Distribuição da área útil de pavimento	2	<b>40</b>	80	(Sul=25,86%)
<b>B</b>	Zonamento térmico	3	<b>40</b>	120	
<b>C</b>	Troca de calor por circulação do ar na vertical e na horizontal	4	<b>20</b>	80	<b><math>\Sigma</math> N . P / 100</b>
<b><math>\Sigma</math> N . P</b>				<b>280</b>	<b>2,80</b>
<b>CBE 3.4</b>	<b>Concepção da Envolvente Opaca Vertical</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Isolamento térmico	2	<b>50</b>	100	(X=0,75)
<b>B</b>	Compatibilidade parede / estrutura	4	<b>15</b>	100	
<b>C</b>	Controlo da permeabilidade ao vapor	4	<b>15</b>	20	
<b>D</b>	Aptidão à utilização	4	<b>10</b>	20	<b><math>\Sigma</math> N . P / 100</b>
<b>E</b>	Parede em contacto com o solo	4	<b>10</b>	60	
<b><math>\Sigma</math> N . P</b>				<b>300</b>	<b>3,00</b>
<b>CBE 3.5</b>	<b>Concepção da Envolvente Opaca Horizontal</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Isolamento térmico	0	<b>40</b>	0	(X=1,34)
<b>B</b>	Estanquidade das ligações da cobertura com elementos salientes	4	<b>20</b>	80	
<b>C</b>	Controlo da permeabilidade ao vapor	4	<b>20</b>	80	
<b>D</b>	Aptidão à utilização	4	<b>10</b>	40	
<b>E</b>	Pavimento em contacto com o solo	1	<b>10</b>	10	<b><math>\Sigma</math> N . P / 100</b>
<b><math>\Sigma</math> N . P</b>				<b>210</b>	<b>2,10</b>
Não se prevê a colocação de isolante térmico nos elementos em contacto com o solo.					
<b>CBE 3.6</b>	<b>Concepção das Portas e Janelas</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Isolamento térmico	3	<b>50</b>	150	(X=0,57)
<b>B</b>	Permeabilidade ao ar das caixilharias	1	<b>20</b>	20	
<b>C</b>	Estanquidade à água	1	<b>15</b>	15	
<b>D</b>	Resistência às solicitações do vento	1	<b>15</b>	15	<b><math>\Sigma</math> N . P / 100</b>
<b><math>\Sigma</math> N . P</b>				<b>200</b>	<b>2,00</b>
O projecto não prevê ensaios para a caixilharia a aplicar.					
<b>CBE 3.7</b>	<b>Tratamento das Pontes Térmicas</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Isolamento térmico das pontes térmicas planas	2	<b>30</b>	60	( $U_{pont}=0,79$ W/m <sup>2</sup> .°C)
<b>B</b>	Tratamento das pontes térmicas lineares	3	<b>30</b>	90	( $\Psi=0,33$ )
<b>C</b>	Ligação da fachada com vãos envidraçados	4	<b>20</b>	80	
<b>D</b>	Pormenores construtivos	3	<b>20</b>	60	<b><math>\Sigma</math> N . P / 100</b>
<b><math>\Sigma</math> N . P</b>				<b>290</b>	<b>2,90</b>
Isolamento térmico na caixa-de-ar, com tratamento das pontes térmicas pelo interior.					

**Quadro 5.10** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE 4</b>		<b>Distribuição</b>		
CBE 4.1	<b>Trocas de Calor por Convecção</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Ventilação Natural	1	<b>30</b>	30
<b>B</b>	Taxa de renovação nominal	2	<b>50</b>	100
<b>C</b>	Sistemas de refrigeração passiva	4	<b>20</b>	80
O projecto prevê como sistema de refrigeração passiva a abertura das janelas durante a noite no Verão.				<b>Σ N . P</b>
				<b>210</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>2,10</b>
CBE 4.2	<b>Trocas de Calor por Radiação</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Dispositivos de protecção	4	<b>30</b>	120
<b>B</b>	Sistemas de sombreamento	4	<b>50</b>	200
<b>C</b>	Refrigeração por radiação nocturna	0	<b>20</b>	0
Não se prevê a utilização de refrigeração por radiação nocturna.				<b>Σ N . P</b>
				<b>320</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>3,20</b>

**Quadro 5.11** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>				
<b>CBE 1</b>	<b>Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício	2,60	<b>30</b>	78,0	
CBE 1.2	Implantação do Edifício	2,10	<b>25</b>	52,5	
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados	2,80	<b>20</b>	56,0	
CBE 1.4	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	3,55	<b>15</b>	53,25	
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente	0,00	<b>10</b>	0,0	<b>Σ N . P / 100</b>
<b>Σ N . P</b>				<b>239,75</b>	<b>2,40</b>
<b>CBE 2</b>	<b>Armazenamento Térmico</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 2.1	Inércia Térmica Interior	2,60	<b>100</b>	260,0	
<b>Σ N . P</b>				<b>260</b>	<b>2,60</b>
<b>CBE 3</b>	<b>Conservação da Energia</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 3.1	Forma do Edifício	2,90	<b>10</b>	29,0	
CBE 3.2	Iluminação Natural em Edifícios	3,50	<b>10</b>	35,0	
CBE 3.3	Organização Interna dos Espaços	2,80	<b>10</b>	28,0	
CBE 3.4	Concepção da Envolvente Opaca Vertical	3,00	<b>20</b>	60,0	
CBE 3.5	Concepção da Envolvente Opaca Horizontal	2,10	<b>20</b>	42,0	
CBE 3.6	Concepção das Portas e Janelas	2,20	<b>20</b>	40,0	
CBE 3.7	Tratamento das Pontes Térmicas	2,90	<b>10</b>	29,0	<b>Σ N . P / 100</b>
<b>Σ N . P</b>				<b>263,0</b>	<b>2,63</b>
<b>CBE 4</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção	2,10	<b>70</b>	147,0	
CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação	3,20	<b>30</b>	96,0	<b>Σ N . P / 100</b>
<b>Σ N . P</b>				<b>243</b>	<b>2,43</b>

**Quadro 5.12** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>				
<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 1	Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento	2,40	<b>30</b>	71,9	
CBE 2	Armazenamento Térmico	2,60	<b>15</b>	39,0	
CBE 3	Conservação da Energia	2,63	<b>40</b>	105,2	
CBE 4	Distribuição	2,43	<b>15</b>	36,5	<b>Σ N . P / 100</b>
<b>Σ N . P</b>				<b>252,6</b>	<b>2,53</b>

## 5.2.4.2. Qualidade do Ambiente Interior Concepção (QIA)

**Quadro 5.13** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**.

QIA		Qualidade do Ambiente Interior		
QIA 1		Saúde e bem-estar dos ocupantes		
QIA 1.1	Conforto Térmico	Nível	Pond.	N . P
A	Temperatura do ar	4	30 (35)	140
B	Correntes de ar	1	30 (50)	35
C	Temperatura radiante	2	25 (30)	60
D	Temperatura do pavimento		15	
(*) Como não se prevê o aquecimento por piso radiante, a ponderação do requisito D é repartida por A, B e D.				
Σ N . P				235
				(Y=4,82)
				Σ N . P / 100
				2,35
QIA 1.2	Qualidade do Ar	Nível	Pond.	N . P
A	Ventilação Natural	1	50	50
B	Outras estratégias de Ventilação	1	30	30
C	Concentrações de referência	1	20	20
Σ N . P				100
				Σ N . P / 100
				1,00
QIA 1.3	Conforto Visual	Nível	Pond.	N . P
A	Sistemas de Iluminação	4	30	120
B	Níveis de iluminância	4	30	120
C	Contraste	4	20	80
D	Encandeamento	4	20	80
Σ N . P				400
				Σ N . P / 100
				4,00
QIA 1.4	Conforto Acústico	Nível	Pond.	N . P
A	D <sub>2m,n,w</sub>	1	30	30
B	D <sub>n,w</sub>		30	
C	L´ <sub>n,w</sub>		20	
D	L <sub>Ar</sub>		20	
A regulamentação para as moradias só prevê a verificação dos elementos em contacto com o exterior, o nível de desempenho será igual a 1.				
Σ N . P				30
				(D <sub>n,w</sub> =33dB)
				Σ N . P / 100
				(1,00)
QIA 2		Sistemas de Controlo e Gestão		
QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão	Nível	Pond.	N . P
A	Controlo dos Sistemas de iluminação	1	35	35
B	Controlo da incidência da radiação solar	4	30	120
C	Controlo dos níveis de renovação de ar	1	35	35
Σ N . P				190
				Σ N . P / 100
				1,90



**Quadro 5.14** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**. (Cont.)

<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>			
<b>QIA 1</b>	<b>Saúde e bem-estar dos ocupantes</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 1.1	Conforto Térmico	2,35	<b>40</b>	94,0
QIA 1.2	Qualidade do Ar	1,00	<b>30</b>	30,0
QIA 1.3	Conforto Visual	4,00	<b>20</b>	80,0
QIA 1.4	Conforto Acústico	1,00	<b>10</b>	10,0
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>214,0</b>
				<b>2,14</b>
<b>QIA 2</b>	<b>Sistemas de Controlo e Gestão</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão	1,90	<b>100</b>	190,0
				<b>Σ N . P</b>
				<b>190,0</b>
				<b>1,90</b>

**Quadro 5.15** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**. (Cont.)

<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>			
<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 1	Saúde e bem-estar dos ocupantes	2,14	<b>70</b>	149,8
QIA 2	Sistemas de Controlo e Gestão	1,90	<b>30</b>	57
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>206,8</b>
				<b>2,07</b>

## 5.2.4.3. Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)

**Quadro 5.16** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios**.

IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios			
IEA 1	Eficiência Energética da Concepção do Edifício			
IEA 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia	Nível	Pond.	N . P
A	Nic	1	35	35
B	Nvc	4	30	120
C	Nac	3	20	60
D	Ntc	1	15	15
Σ N . P				230
				2,30
IEA 2	Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos			
IEA 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização	Nível	Pond.	N . P
A	Condições de Dimensionamento		40	
B	Seleção das Fontes de Energia Térmica		30	
C	Distribuição eficiente de ar e energia térmica nos compartimentos		20	
D	Plano de Manutenção		10	
Σ N . P / 100				0,00
Não se prevê a utilização de climatização				
IEA 2.2	Sistemas de Ventilação	Nível	Pond.	N . P
A	Condições de Dimensionamento		50	
B	Consumo de energia pelos ventiladores e sistemas de controlo		30	
C	Plano de Manutenção		20	
Σ N . P / 100				0,00
Não se prevê o controlo da ventilação, excepto o exaustor na cozinha				
IEA 2.3	Sistemas de Iluminação	Nível	Pond.	N . P
A	Sistemas de Iluminação Combinados	2	50	100
B	Dispositivos de Iluminação	1	30	30
C	Dispositivos de controlo	1	20	20
Regra geral no projecto não estão definidos os dispositivos de iluminação e de controlo				
Σ N . P				150
				1,50
IEA 2.4	Energias Renováveis	Nível	Pond.	N . P
A	Sistema solar térmico para AQS	3	40	120
B	Sistema solar fotovoltaico		20	
C	Biomassa, eólica, geotérmica, mini-hidrogeradores		50	
D	Sistema de recuperação de calor		10	
O projecto só prevê a utilização de energias renováveis para AQS				
Σ N . P				120
				1,20
IEA 2.5	Equipamentos/Electrodomésticos	Nível	Pond.	N . P
A	Certificação dos Equipamentos	3	40	120
B	Modo de funcionamento	2	30	60
C	Reciclagem dos equipamentos	2	30	60
Por norma na fase de projecto não se prevê qual o tipo de equipamento a utilizar				
Σ N . P				240
				2,40
IEA 3	Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção			
IEA 3.1	Materiais de Construção	Nível	Pond.	N . P
A	Escolha dos materiais de construção	1	50	50
B	Reciclagem dos materiais	2	30	60
C	Novas tecnologias	1	20	20
Σ N . P				130
				1,30

**Quadro 5.17** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios**. (Cont.)

IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios			
IEA 1	<b>Eficiência Energética da Concepção do Edifício</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
IEA 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia	2,30	100	230
<b>Σ N . P</b>				<b>230</b>
IEA 2	<b>Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
IEA 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização	0,00	35	0,0
IEA 2.2	Sistemas de Ventilação	0,00	15	0,0
IEA 2.3	Sistemas de Iluminação	1,50	20 (36,7)	55,05
IEA 2.4	Energias Renováveis	1,20	20 (36,7)	44,04
IEA 2.5	Equipamentos e Electrodomésticos	2,40	10 (26,7)	64,08
(*) A ponderação dos Indicadores de Qualidade IEA 2.1 e IEA 2.2 é repartida pelos restantes Indicadores de Qualidade.				
<b>Σ N . P</b>				<b>163,17</b>
IEA 3	<b>Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
IEA 3.1	Materiais de Construção	1,30	100	130
<b>Σ N . P</b>				<b>130,0</b>

**Σ N . P / 100****2,30****Σ N . P / 100****1,63****Σ N . P / 100****1,30****Quadro 5.18** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios**. (Cont.)

IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios			
IAE	<b>Impacto Ambiental dos Edifícios</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
IEA 1	Eficiência Energética da Concepção do Edifício	2,30	60	138,0
IEA 2	Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos	1,63	30	49,0
IEA 3	Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção	1,30	10	13,0
<b>Σ N . P</b>				<b>200</b>

**Σ N . P / 100****2,00**

## 5.2.4.4. Nível de Qualidade Térmica

**Quadro 5.19** - Quadro de apresentação dos resultados de aplicação do Método de Avaliação da Qualidade Térmica dos Edifícios desenvolvido, Nível de Qualidade Térmica.





Qualidade Térmica de Edifícios				
	Qualidade Térmica de Edifícios	Nível	Pond.	N . P
<b>CBE</b>	Concepção Bioclimática dos Edifícios	2,53	<b>70</b>	176,8
<b>QIA</b>	Qualidade do Ambiente Interior	2,07	<b>10</b>	20,7
<b>IAE</b>	Impacto Ambiental dos Edifícios	2,30	<b>20</b>	40,0
<b>Σ N . P</b>				<b>237,5</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>2,4</b>

<b>Nível de Qualidade Térmica</b>	<b>2,4</b>
-----------------------------------	------------

## 5.2.4.5. Desempenho do Edifício

**Quadro 5.20** - Desempenho Energético do Edifício em função do Nível de Qualidade Térmica.

Nível de Qualidade Térmica (NQT)	Desempenho do Edifício	
<b>0 &lt; NQT ≤ 1</b>	<b>Insuficiente</b>	
<b>1 &lt; NQT ≤ 2,5</b>	<b>Suficiente</b>	
<b>2,5 &lt; NQT ≤ 3,5</b>	<b>Bom</b>	
<b>3,5 &lt; NQT ≤ 4</b>	<b>Muito Bom</b>	

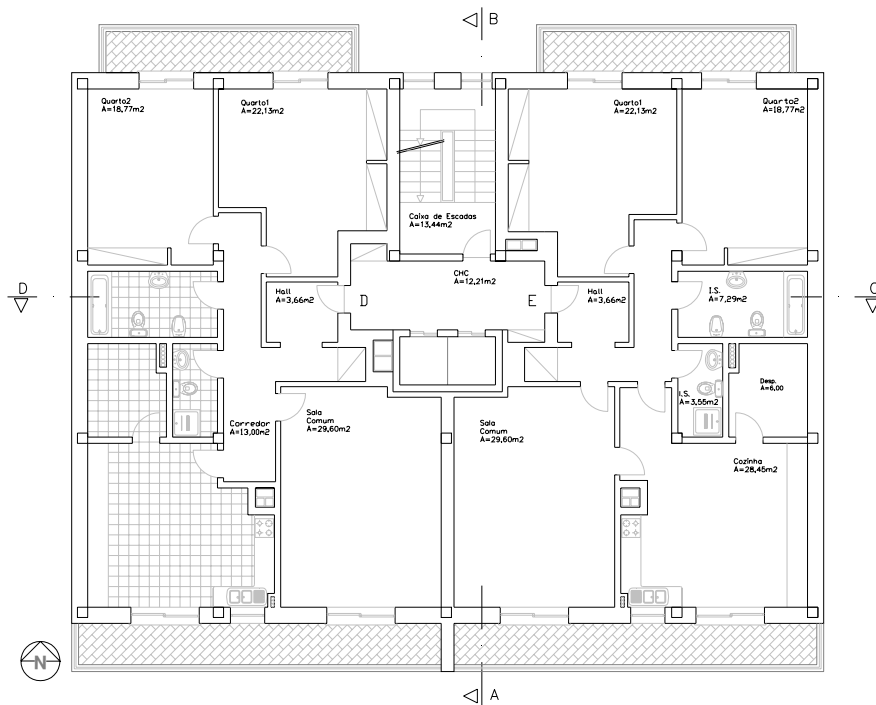
## 5.2.4.6. Representação do Perfil de Qualidade

**Quadro 5.21** - Representação do Perfil de Qualidade do Edifício Unifamiliar (Moradia).

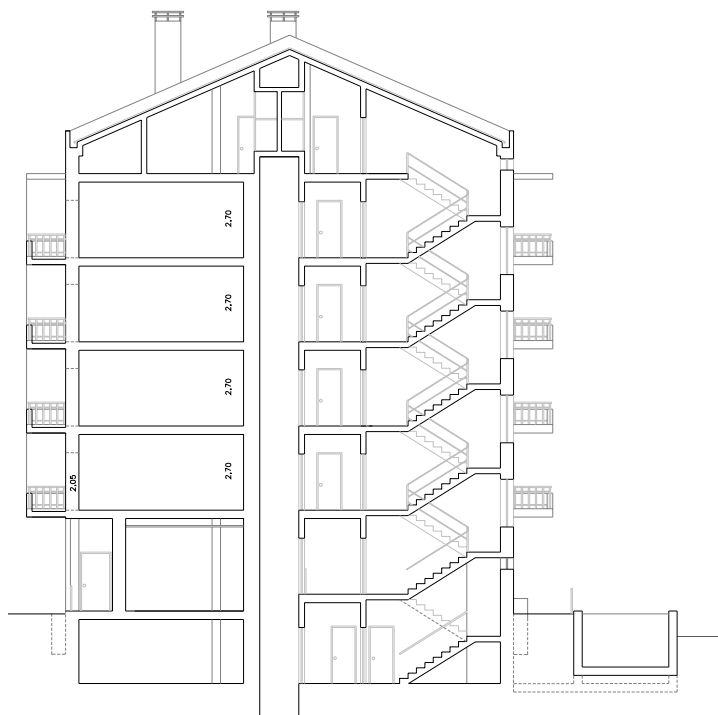
Ficha de Avaliação	Indicador de Qualidade	Nível Qualidade				
		0	1	2	3	4
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício			△		
CBE 1.2	Implantação do Edifício			△		
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados			△		
CBE 1.4	Paredes Exteriores e Cobertura				△	
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envoltente					
CBE 2.1	Inércia Térmica			△		
CBE 3.1	Forma do Edifício			△		
CBE 3.2	Iluminação Natural				△	
CBE 3.3	Organização Interna dos Espaços			△		
CBE 3.4	Concepção da Envoltente Opaca Vertical				△	
CBE 3.5	Concepção da Envoltente Opaca Horizontal			△		
CBE 3.6	Concepção das Portas e Janelas			△		
CBE 3.7	Tratamento das Pontes Térmicas			△		
CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção			△		
CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação				△	
<b>Nível de Qualidade – Concepção Bioclimática de Edifícios</b>				△		
QIA 1.1	Conforto Térmico			☺		
QIA 1.2	Qualidade do Ar		☺			
QIA 1.3	Conforto Visual					☺
QIA 1.4	Conforto Acústico		☺			
QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão		☺			
<b>Nível de Qualidade – Qualidade do Ambiente Interior</b>				☺		
IAE 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia			☀		
IAE 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização					
IAE 2.2	Sistemas de Ventilação					
IAE 2.3	Sistemas de Iluminação		☀			
IAE 2.4	Energias Renováveis		☀			
IAE 2.5	Equipamentos/Electrodomésticos			☀		
IAE 3.1	Materiais de Construção		☀			
<b>Nível de Qualidade – Impacto Ambiental dos Edifícios</b>				☀		
<b>Qualidade Térmica do Edifício – Desempenho do Edifício</b>		👤				

### 5.3. Edifício Multifamiliar (Bloco de Apartamentos)

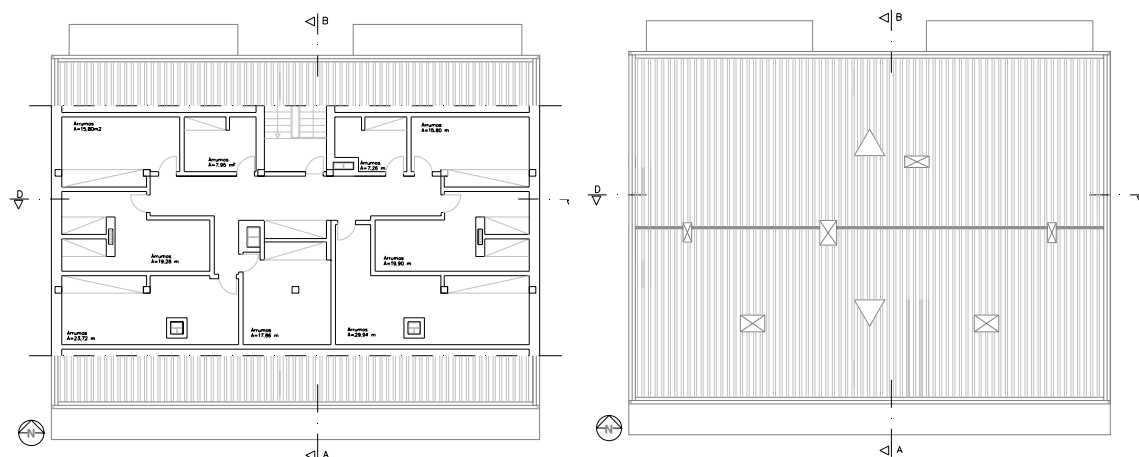
#### 5.3.1. Elementos Desenhados



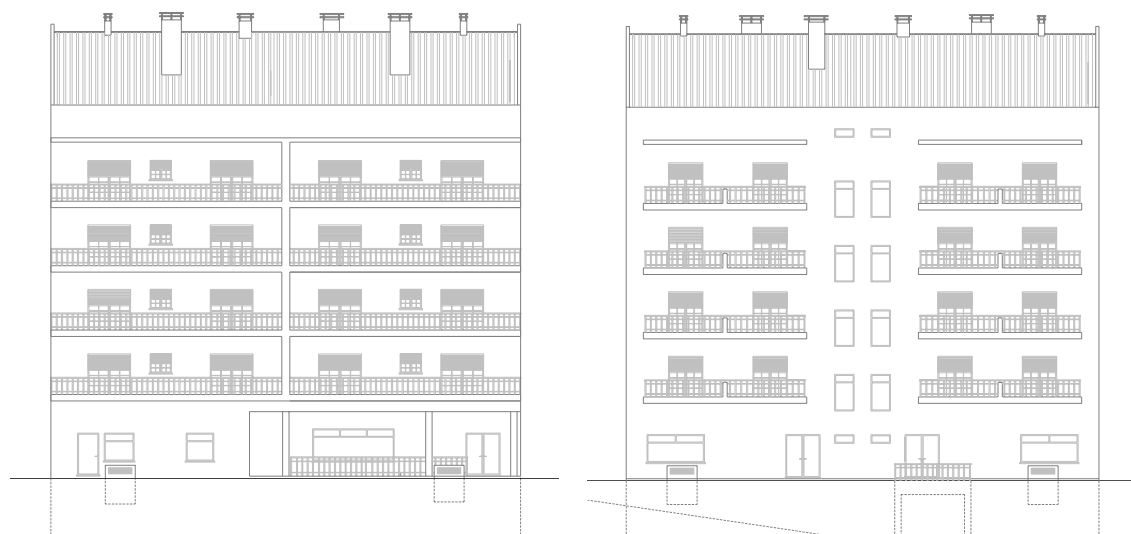
**Figura 5.9 - Planta do Piso Tipo.**



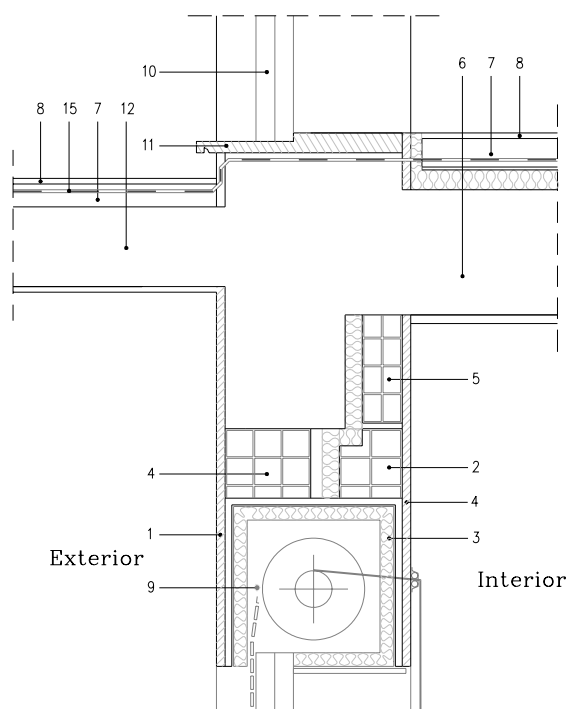
**Figura 5.10 - Corte AB**



**Figura 5.11** - Planta do Sótão (à esquerda) e Planta de Cobertura (à direita).



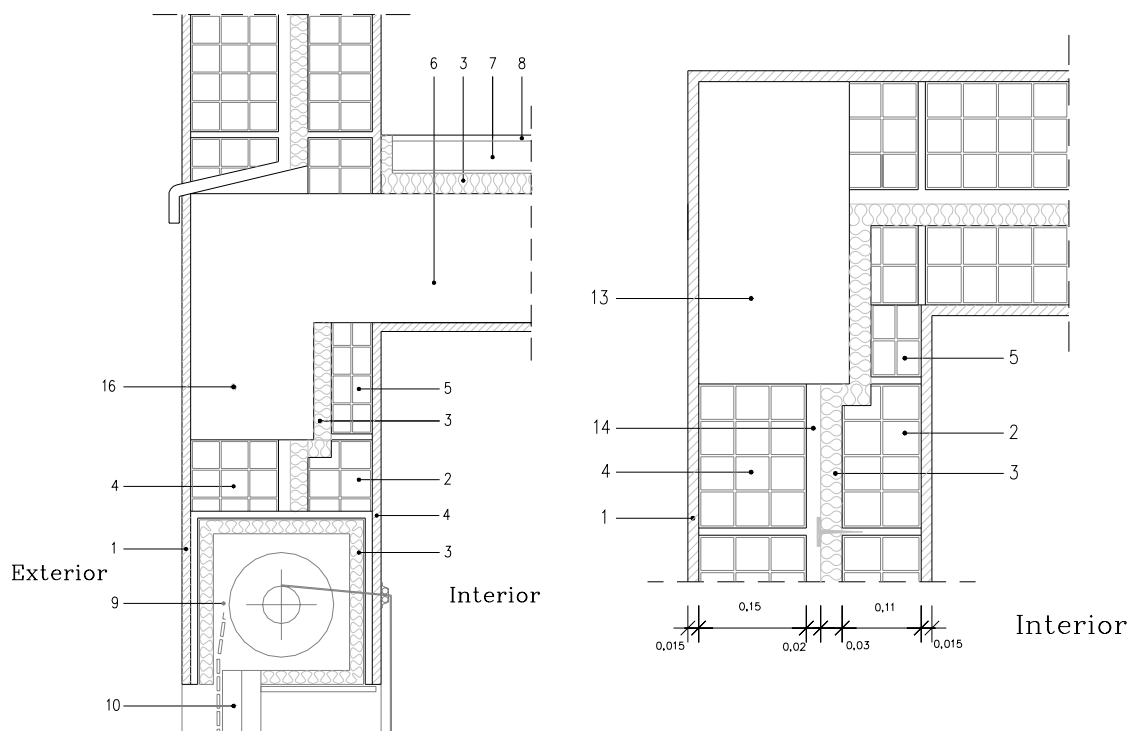
**Figura 5.12** - Alçado Principal (à esquerda) e Alçado Posterior (à direita).



Legenda das figuras 5.13 e 5.14:

- 1 - revestimento das paredes
- 2 - alvenaria int. tijolo 0,11 m
- 3 - isolante térmico
- 4 - alvenaria ext. tijolo 0,15 m
- 5 - alvenaria tijolo 0,07 m
- 6 - laje de betão
- 7 - betonilha de regularização
- 8 - revestimento dos pavimentos
- 9 - caixa de estores
- 10 - caixilharia
- 11 - soleira
- 12 - laje da varanda
- 13 - pilar
- 14 - caixa de ar
- 15 - impermeabilização da varanda
- 16 - viga
- 17 - elemento de fixação

**Figura 5.13** - Ligação da fachada com a varanda e com a caixa de estore (corte vertical).



**Figura 5.14** - Ligação da fachada com pavimento intermédio e com a caixa de estore, em corte vertical (à esquerda) e ligação entre duas paredes, em planta (à direita).



### 5.3.2. Elementos Escritos e Medições

Edifício Multifamiliar (bloco de apartamentos), localizado no concelho do Porto (zona climática I<sub>2</sub>-V<sub>1</sub> Norte) a 10 km do mar e a uma altitude de 45 m, constituído por 6 pisos (-1 a 4) o piso -1 para estacionamento, o piso 0 para comércio e os restantes pisos para habitação, constituído por 2 apartamentos/fracções autónomas por piso de tipologia T2, com a fachada principal orientada a Sul, construído na periferia da zona urbana. A composição dos elementos é a seguinte:

- tecto do apartamento, estucado, sob desvão fracamente ventilado, constituído por laje em betão com 0,22 m de espessura, isolada na face superior com 0,06 m de manta de lã de rocha = 132,10 m<sup>2</sup>;
- pavimento intermédio com aplicação de 0,01 m de parquet de madeira, 0,04 m de betonilha, folha de separação, 0,04 m de aglomerado negro de cortiça e laje maciça de betão com 0,22 m de espessura;
- pavimento entre a fracção autónoma e o piso 0 comércio (espaço não útil) com aplicação de 0,01 m de parquet de madeira, 0,05 m de betonilha, folha de separação, 0,04 m de aglomerado negro de cortiça e laje maciça de betão com 0,26 m de espessura = 132,10 m<sup>2</sup>;
- parede dupla de fachada constituída por: pano exterior em alvenaria de tijolo furado normal com 0,15 m, rebocada e pintada em amarelo, com 0,05 m de caixa-de-ar não ventilada preenchida parcialmente com 0,03 m de poliestireno expandido moldado e pano interior de em alvenaria de tijolo furado normal com 0,11 m, estanhado e pintado de branco (18,32 m<sup>2</sup> a S, 16,45 m<sup>2</sup> a N e 39,20 m<sup>2</sup> confinando com edifício a Oeste);
- parede entre a fracção autónoma e zonas de circulação (espaço não aquecido) constituída por um pano de betão com 0,20 m e um pano de tijolo com 0,11 m, estanhado e pintado de branco pelo interior, com espessura total de 0,34 m (13,50 m<sup>2</sup> na caixa de escadas e 12,45 m<sup>2</sup> na circulação horizontal comum);
- vãos envidraçados de correr com caixilharia de alumínio, de classe 3 em relação à permeabilidade ao ar, sem quadriculas, vidro duplo (incolor + incolor: 6 + 4 mm) com 6 mm de espessura na lâmina de ar, estores exteriores (dispositivos de oclusão nocturna com permeabilidade ao ar baixa) e cortinas interiores muito transparentes de cor clara (9,10 m<sup>2</sup> a S e 6,56 m<sup>2</sup> a N);
- área útil de pavimento da fracção autónoma = 132,10 m<sup>2</sup>, pé-direito igual a 2,70 m;
- as áreas das zonas de circulação é igual a 12,21 m<sup>2</sup> no corredor sem aberturas directas para o exterior e 13,44 m<sup>2</sup> na caixa de escadas com aberturas permanentes para o exterior inferiores a 0,05 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>;
- o projecto de ventilação prevê a aplicação de grelhas auto-reguláveis na fachada e a existência de condutas e a aplicação de vedantes nas portas e janelas exteriores, a entrada e a saída de ar nas instalações sanitárias é feita de forma natural, o

exaustor na cozinha será o único dispositivo de extracção mecânica que os apartamentos dispõem, pelo que se pode concluir que os apartamentos só têm ventilação natural e que não satisfazem a NP 1037-1;

- sistema de aquecimento com resistência eléctrica, não é apresentado o projecto de dimensionamento;
- sistema de arrefecimento com máquina frigorífica (ciclo de compressão), não é apresentado o projecto de dimensionamento;
- sistema para aquecimento de AQS com termoacumulador eléctrico com menos de 50 mm de isolamento térmico (a contribuição dos sistemas solares para aquecimento de AQS é igual a 1500 kWh/ano);
- para a correcção das pontes térmicas planas ver desenhos de pormenor;
- consideram-se as seguintes pontes térmicas lineares:
  - Ligação da fachada com os pavimentos térreos = 0 m;
  - Ligação da fachada com os pavimentos = 24,25 m;
  - Ligação da fachada com pavimentos intermédios = 40,70 m;
  - Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço = 0 m;
  - Ligação da fachada com varanda = 17,95 m;
  - Ligação de duas paredes verticais = 10,80 m;
  - Ligação da fachada com caixa de estore = 8,20 m;
  - Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril = 24,60 m;

### 5.3.3. Caracterização Térmica do Edifício

No quadro 5.22, representa-se a caracterização térmica das fracções autónomas do edifício multifamiliar e do quadro 5.23 ao 5.25 faz-se o cálculo da inércia térmica interior ( $It$ ), do FDLM (%), a verificação do critério profundidade e indicam-se os índices para a verificação do conforto acústico, por compartimento, dos pisos intermédios. No quadro 5.26 apresenta-se um resumo da distribuição da área das paredes exteriores, da área dos vãos envidraçados, da área dos compartimentos e da massa superficial útil de acordo com a sua orientação.

**Quadro 5.22** - Caracterização Térmica do Edifício ou Fracção Autónoma, adaptado de [1].

Caracterização Térmica do Edifício ou Fracção Autónoma																		
Dados Relativos à Localização e à Tipologia do Edifício																		
Concelho: Porto			Zona Urbana: Na periferia da zona urbana						Tipologia:		Apartamento				T2			
Zona Climática: I 2 V 1			Altitude: 45 m			Faixa litoral: 10 Km			Alterações: N I V									
Graus-Dias: 1610 °C.dia			Duração Aquecimento: 6,7 Meses						Temp. exterior de projecto: 30 °C									
Levantamento Dimensional e Parâmetros Térmicos																		
Elemento da Envolvente Exterior		Áreas (m <sup>2</sup> ) por Orientação									U (W/m <sup>2</sup> .°C)			g		α		
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Elem.	Ref.	Máx.	I	V			
Paredes	1	18,32				16,45				34,77	0,57	0,60	1,60			0,4		
Vãos Envidraçados (especificar o tipo de protecção e o factor solar e Factor de obstrução de Inverno)	1	6,56				9,10				15,66	3,10	3,30		0,63	0,28			
	Fs	0,90				0,50				15,66	Aenv. (m <sup>2</sup> )							
	1	Caixilharia de alumínio, vidro duplo (inc.+inc:6+4 mm),6 mm lâmina de ar, estores exteriores e cortinas transparentes.																
Coberturas	Tipo de Cobertura									Área (m <sup>2</sup> )	α	U (W/m <sup>2</sup> .°C)						
												Elem.	Ref.	Máx.				
	Terraço																	
	Desvão não-ventilado																	
	Desvão ventilado																	
Pavimento	Inclinadas																	
Pontes Térmicas Planas										Tipo de ponte térmica plana		(*)		Upont.	Ucor.	2Ucor.	Umáx.	
(*) Existência de pormenor construtivo (S/N)										Talão de viga		S	6,20	1,10	0,57	1,14	1,60	
										Pilar		S	2,16	1,10	0,57	1,14	1,60	
										Caixa de estore		S	1,64	0,93	0,57	1,14	1,60	
Elemento da Envolvente Interior		Tipo de espaço não útil							Au (m <sup>2</sup> )	Ai (m <sup>2</sup> )	τ	U (W/m <sup>2</sup> .°C)						
												Elem.	Ref.	Máx.				
Parede	Caixa de escadas							13,44	13,50	0,6	1,24	1,20	2,00					
	Circulação horizontal comum comuns							12,21	12,45	0,6	1,24	1,20	2,00					
	Edifício adjacente a Oeste								39,20	0,6	0,57	1,20	2,00					
Cobertura	Sótão para arrumos							132,10	132,10	0,6	0,62	0,90	1,30					
Pavimento	Sobre espaço comercial							125,10	132,10	0,6	0,70	0,90	1,30					
Vão Envidraçado																		
Elementos em contacto com o Solo		Diferença de nível (Z) e a existência de isolante térmico									Comp. (m)		Ψ (W/m.°C)		(*)			
Parede																		
Pavimento																		
Pontes Térmicas (*) Existência de pormenor construtivo (S/N)	Ligação da fachada com	Pavimento térreo																
		Pavimento intermédio									40,70		0,50		S			
		Pavimento sobre locais não aquecidos ou exteriores									24,25		0,70		S			
		Cobertura inclinada ou terraço																
		Varanda									17,95		0,60		S			
		Caixa de estore									8,20		0		S			
		Peitoril/padieira/ombreiras									24,60		0,20		S			
	Ligação entre duas paredes											10,80		0,20		S		

Índices e parâmetros complementares																			
Piso	Ap (m <sup>2</sup> )	Aenv./Ap (%)	T.Ren (RPH)	FF	It	Esolar (%)	Necessidades Nominais de Energia Útil (kWh/m <sup>2</sup> .ano) e a razão de												
							Nic	Ni	%	Nvc	Nv	%	Nac	Na	%	Ntc	Nt	%	
1	132,10	11,90	0,95	0,47	F	65,43	63,81	68,10	93,61	0,91	16,00	5,70	10,34	26,86	38,49	2,93	4,38	66,70	
2 e 3	132,10	11,90	0,95	0,25	F	65,43	52,25	68,10	76,74	0,91	16,00	5,70	10,34	26,86	38,49	2,56	4,38	58,39	
4	132,10	11,90	0,95	0,47	F	65,43	66,49	68,10	97,17	0,91	16,00	5,70	10,34	26,86	38,49	3,01	4,38	68,71	

**Quadro 5.23** - Cálculo da inércia térmica interior ( $I_t$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, para o piso intermédio, adaptado de [1].

Elemento de construção					$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	Factor de correção (r)	$M_{si} r S_i$ (kg)
<b>Compartimento 1:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env}/A_{pav.}$ (%)
Sala		29,60	2,70		4,10		S	13,85
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior				140	8,60		1204
	Paredes da envolvente interior				140	16,34		2288
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores				140	22,01		3081
	Pavimentos interiores				300+80	29,60 <sup>(3)</sup>		11248
<b>Total</b>		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	4,10		$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	106,15	$M_{si} r S_i$ =	17821
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
2,25	L (m)	6,10	W (m)	4,70	h (m)	2,05	Resultado	3,27 ko
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$	33	$D_{n,w}$	51	$L'_{n,w}$	58	$I_{Ar}$
<b>Compartimento 2:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env}/A_{pav.}$ (%)
Cozinha		28,45	2,70		5,00		S	17,57
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior				140	9,72		1361
	Paredes da envolvente interior				140	12,83		1796
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores				140	27,54		3856
	Pavimentos interiores				300+80	28,45 <sup>(3)</sup>		10811
<b>Total</b>		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	5,00		$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	106,99	$M_{si} r S_i$ =	17824
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
2,71	L (m)	4,75	W (m)	5,45	h (m)	2,05	Resultado	3,19 ok
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$
<b>Compartimento 3:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)		Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env}/A_{pav.}$ (%)
Instalação Sanitária Principal		7,29	2,70					
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior							
	Paredes da envolvente interior				140	5,40		756
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores				140	25,92		3629
	Pavimentos interiores				300+80	7,29 <sup>(3)</sup>		2770
<b>Total</b>		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	0,00		$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	45,90	$M_{si} r S_i$ =	7155
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
	L (m)	2,00	W (m)	3,80	h (m)		Resultado	
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$

**Quadro 5.24** - Cálculo da inércia térmica interior ( $I_t$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, para o piso intermédio, adaptado de [1]. (Cont.)

Elemento de construção				$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	Factor de correção (r)	$M_{si} r S_i$ (kg)
<b>Compartimento 4:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env./Apav.}$ (%)
Instalação Sanitária		3,55	2,70				
EL1	Laje de tecto						
	Laje de pavimento						
	Paredes da envolvente exterior						
	Paredes da envolvente interior						
EL2	Paredes enterradas						
	Pavimentos enterrados						
EL3	Paredes interiores			140	21,76		3046
	Pavimentos interiores			300+80	3,55 <sup>(3)</sup>		1349
<b>Total</b>		$A_{env.} (m^2) =$	1,00	$S_i (m^2) =$	28,86	$M_{si} r S_i =$	4395
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>					
	L (m)	1,30	W (m)	2,75	h (m)	Resultado	
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$	$I_{Ar}$
<b>Compartimento 5:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env./Apav.}$ (%)
Hall		3,65	2,70				
EL1	Laje de tecto						
	Laje de pavimento						
	Paredes da envolvente exterior						
	Paredes da envolvente interior			140	4,73		662
EL2	Paredes enterradas						
	Pavimentos enterrados						
EL3	Paredes interiores			140	16,07		2250
	Pavimentos interiores			300+80	3,65 <sup>(3)</sup>		1387
<b>Total</b>		$A_{env.} (m^2) =$	0,00	$S_i (m^2) =$	28,10	$M_{si} r S_i =$	4299
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>					
	L (m)	1,75	W (m)	2,10	h (m)	Resultado	
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$	$I_{Ar}$
<b>Compartimento 6:</b>		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação	$A_{env./Apav.}$ (%)
Corredor		13,02	2,70				
EL1	Laje de tecto						
	Laje de pavimento						
	Paredes da envolvente exterior						
	Paredes da envolvente interior						
EL2	Paredes enterradas						
	Pavimentos enterrados						
EL3	Paredes interiores			140	24,25		3395
	Pavimentos interiores			300+80	13,02 <sup>(3)</sup>		5016
<b>Total</b>		$A_{env.} (m^2) =$	0,00	$S_i (m^2) =$	50,29	$M_{si} r S_i =$	8411
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>					
	L (m)		W (m)		h (m)	Resultado	
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$	$I_{Ar}$

**Quadro 5.25** - Cálculo da inércia térmica interior ( $I_t$ ), do FDLM (%) e a verificação do critério profundidade, por compartimento, para o piso intermédio, adaptado de [1]. (Cont.)

Elemento de construção					$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	Factor de correção (r)	$M_{si} r S_i$ (kg)
Compartimento 7:		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação		Aenv./Apav. (%)
Despensa		6,00	2,70					
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior			140	7,34			1028
	Paredes da envolvente interior							
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores			140	19,76			2766
	Pavimentos interiores			300+80	6,00 <sup>(3)</sup>			2280
Total		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	3,40	$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	39,10	$M_{si} r S_i$ =		6074
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
	L (m)		W (m)		h (m)	Resultado		
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$		$D_{n,w}$		$L'_{n,w}$		$I_{Ar}$
Compartimento 8:		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação		Aenv./Apav. (%)
Quarto 1		22,13	2,70	3,28		N		14,82
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior							
	Paredes da envolvente interior			140	18,47			2586
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores			140	24,00			3360
	Pavimentos interiores			300+80	22,13 <sup>(3)</sup>			3822
Total		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	3,28	$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	86,73	$M_{si} r S_i$ = (kg)		9768
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
2,21	L (m)	4,93	W (m)	5,40	h (m)	2,05	Resultado	3,32    V
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$	33	$D_{n,w}$	51	$L'_{n,w}$	58	$I_{Ar}$
Compartimento 9:		Apavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Área envidraçada (m <sup>2</sup> )		Orientação		Aenv./Apav. (%)
Quarto 2		18,77	2,70	3,28		N		17,47
EL1	Laje de tecto							
	Laje de pavimento							
	Paredes da envolvente exterior							
	Paredes da envolvente interior			140	13,82			1935
EL2	Paredes enterradas							
	Pavimentos enterrados							
EL3	Paredes interiores			140	13,92			1949
	Pavimentos interiores			300+80	18,77 <sup>(3)</sup>			5256
Total		Aenv. (m <sup>2</sup> )=	3,28	$S_i$ (m <sup>2</sup> ) =	65,28	$M_{si} r S_i$ =		9140
FDLM (%) <sup>(1)</sup>		Verificação do critério profundidade <sup>(2)</sup>						
2,90	L (m)	3,68	W (m)	5,12	h (m)	2,05	Resultado	2,52    V
Índices ver. Acústica (dB)		$D_{2m,n,w}$	33	$D_{n,w}$	51	$L'_{n,w}$	58	$I_{Ar}$
Massa Superficial Útil Total por m <sup>2</sup>			84887	Inércia Térmica ( $I_t$ ) <sup>(3)</sup>			Forte	

Notas para os quadros 5.23 a 5.25.

- (1) Para o cálculo do Factor de Luz do Dia Médio - FDLM (%) utilizou-se a expressão definida na *linha de orientação i* da FA CBE 3.2 “Iluminação Natural dos edifícios”,  $[FDLM (\%) = (A_{env.} \times 45,5) / (A_s \times 0,75)]$ , considerando a reflectância média das superfícies ( $R$ ) igual a 0,5 para o somatório das superfícies.
- (2) Para a verificação do critério profundidade utilizou-se a expressão definida FA CBE 3.2 “Iluminação Natural dos edifícios”  $[L/W + L/h \leq 2 / (1 - R)]$ , em que:  $L$  representa a profundidade do compartimento,  $W$  representa a largura,  $h$  a altura do limite superior da janela e  $R$  representa a reflectância média das superfícies, considerando  $R$  igual a 0,5  $[L/W + L/h \leq 4]$ .
- (3) A classe de inércia térmica ( $It$ ) é igual à Massa Superficial Útil Total a dividir pela Área Útil de Pavimento ( $A_p$ ).
- (4) Para a área da superfície interior tem que se contabilizar duas vezes (tecto + pavimento).

**Quadro 5.26** - Resumo da distribuição da área das paredes exteriores, da área dos vãos envidraçados, da área dos compartimentos e da massa superficial útil de acordo com a sua orientação, para os pisos intermédios.

Elementos em Análise		Orientação							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Paredes exteriores (Área Total = 34,77 m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	18,32				16,77			
	%	52,68				48,23			
Vãos envidraçados (Área Total = 15,66 m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	6,56				9,10			
	%	41,89				58,11			
Área dos compartimentos <sup>(1)</sup> (Área útil de pavimento = 132,10 m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	40,90				58,05			
	%	30,96				43,94			
Massa Superficial Útil <sup>(1)</sup> (Massa Superficial útil total = 84887 kg)	(kg)	18908				35645			
	%	22,27				41,99			

- (1) Área útil e a massa superficial dos compartimentos em relação à localização dos vãos envidraçados. Se um compartimento for servido por vãos envidraçados com orientações diferentes a área do mesmo será distribuída em função da área envidraçada em cada orientação.

## 5.3.4. Nível de Qualidade para os pisos intermédios (Piso 2 e 3)

## 5.3.4.1. Concepção Bioclimática dos Edifícios (CBE)

**Quadro 5.27** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**.

<b>CBE</b>		<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>		
<b>CBE 1</b>		<b>Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento</b>		
CBE 1.1	<b>Caracterização da Localização do Edifício</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Caracterização do Clima	2	<b>40</b>	80
<b>B</b>	Caracterização do espaço Urbano	2	<b>30</b>	60
<b>C</b>	Caracterização do Lote	4	<b>30</b>	120
Por norma a caracterização do clima é só feita de acordo com o RCCTE				<b>Σ N . P</b>
				<b>260</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>2,60</b>
CBE 1.2	<b>Implantação do Edifício</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Orientação do Edifício	4	<b>40</b>	80
<b>B</b>	Sombreamento	3	<b>30</b>	90
<b>C</b>	Protecção da radiação solar e a exposição às brisas frescas no Verão	4	<b>10</b>	40
<b>D</b>	Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício	3	<b>20</b>	60
A vegetação existente deve estar representada no levantamento topográfico e na planta de implantação ou no projecto de arranjos exteriores. O requisito B vai limitar o nível obtido para o requisito A, passa de 4 para 2.				<b>Σ N . P</b>
				<b>270</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>2,70</b>
CBE 1.3	<b>Ganhos Solares pelos Envidraçados</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Distribuição dos vãos envidraçados verticais	3	<b>35</b>	105
<b>B</b>	Razão área de envidraçado / área útil do compartimento (Ap)	3	<b>20</b>	60
<b>C</b>	Factor solar do vidro (g <sub>⊥v</sub> )	4	<b>15</b>	60
<b>D</b>	Factor solar do vão envidraçado (g <sub>⊥</sub> )	3	<b>20</b>	60
<b>E</b>	Factor de obstrução (F <sub>s</sub> ) no Inverno	3	<b>10</b>	30
				<b>Σ N . P</b>
				<b>315</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>3,15</b>
CBE 1.4	<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Características estruturais das paredes exteriores	4	<b>40 (45)</b>	180
<b>B</b>	Ventilação das coberturas		<b>15 (0)</b>	
<b>C</b>	Cor da superfície exterior da envolvente opaca exterior	4	<b>30 (35)</b>	140
<b>D</b>	Protecção das superfícies exteriores da envolvente com vegetação	1	<b>15 (20)</b>	20
O facto das coberturas serem ou não ventiladas não afecta o comportamento térmico do piso em estudo.				<b>Σ N . P</b>
				<b>340</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>3,40</b>
CBE 1.5	<b>Elementos Especiais da Envolvente</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Orientação do sistema especial de captação		<b>40</b>	
<b>B</b>	Constituição do sistema especial de captação		<b>30</b>	
<b>C</b>	Dispositivos de circulação de ar		<b>10</b>	
<b>D</b>	Dispositivos de protecção da radiação solar no Verão		<b>20</b>	
Não se prevê a utilização de elementos especiais da envolvente				<b>Σ N . P</b>
				<b>0,00</b>



**Quadro 5.28** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE 2</b>		<b>Armazenamento Térmico</b>			
<b>CBE 2.1</b>	<b>Inércia Térmica</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Massa superficial útil ( $M_{si}$ ) do elemento construtivo	2	<b>30</b>	60	(kg/m <sup>2</sup> ) EL1≈ 140 EL2≈ 140 EL3≈ 80
<b>B</b>	Resistência térmica do revestimento superficial ( $R$ )	4 (3)	<b>10</b>	30	
<b>C</b>	Relação massa superficial útil e orientação dos compartimentos	3	<b>30</b>	90	(S=43,9%)
<b>D</b>	Inércia térmica interior ( $I_t$ )	4	<b>30</b>	120	(Forte)
Como o requisito C condiciona o nível qualidade obtido pelos requisitos A e B o nível de desempenho para este indicador será <b>3</b> .				<b>Σ N . P</b>	<b>300</b>
					<b>3,00</b>

**Quadro 5.29 - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria *Concepção Bioclimática dos Edifícios*. (Cont.)**

<b>CBE 3</b>		<b>Conservação da Energia</b>			
<b>CBE 3.1</b>	<b>Forma do Edifício</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Factor de forma	4	<b>60</b>	240	(FF=0,25)
<b>B</b>	Tipo e orientação da cobertura	4	<b>15</b>	60	
<b>C</b>	Utilização de espaços tampão	2	<b>25</b>	50	( $\tau=0,60$ )
O Tipo e orientação da cobertura é importante para a colocação dos painéis solares.				<b><math>\Sigma N . P</math></b>	<b>350</b>
					<b>3,50</b>
<b>CBE 3.2</b>	<b>Iluminação Natural em Edifícios</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Factor de Luz do dia Médio (FLDM)	3	<b>50</b>	150	(FLMM=2,56%)
<b>B</b>	Vista do céu	4	<b>20</b>	80	
<b>C</b>	Critério da limitação da profundidade	4	<b>30</b>	120	
				<b><math>\Sigma N . P</math></b>	<b>350</b>
					<b><math>\Sigma N . P / 100</math></b>
					<b>3,50</b>
<b>CBE 3.3</b>	<b>Organização Interna dos Espaços</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Distribuição da área útil de pavimento	2	<b>40</b>	80	(Sul=43,94%)
<b>B</b>	Zonamento térmico	2	<b>40</b>	80	
<b>C</b>	Troca de calor por circulação do ar na vertical e na horizontal	4	<b>20</b>	80	
				<b><math>\Sigma N . P</math></b>	<b>240</b>
					<b><math>\Sigma N . P / 100</math></b>
					<b>2,40</b>
<b>CBE 3.4</b>	<b>Concepção da Envolvente Opaca Vertical</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Isolamento térmico	3	<b>50 (52,5)</b>	157,5	(X=0,64)
<b>B</b>	Compatibilidade parede / estrutura	4	<b>15 (12,5)</b>	70	
<b>C</b>	Controlo da permeabilidade ao vapor	4	<b>15 (17,5)</b>	70	
<b>D</b>	Aptidão à utilização	4	<b>10 (12,5)</b>	50	
<b>E</b>	Parede em contacto com o solo		<b>10</b>		
Por não se aplicar a ponderação correspondente ao requisito E, será atribuída aos restantes requisitos.				<b><math>\Sigma N . P</math></b>	<b>347,5</b>
					<b>3,48</b>
<b>CBE 3.5</b>	<b>Concepção da Envolvente Opaca Horizontal</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Isolamento térmico	2	<b>40 (42,5)</b>	85	(X=0,73)
<b>B</b>	Estanquidade das ligações da cobertura com elementos salientes	4	<b>20 (22,5)</b>	90	
<b>C</b>	Controlo da permeabilidade ao vapor	4	<b>20 (22,5)</b>	90	
<b>D</b>	Aptidão à utilização	4	<b>10 (12,5)</b>	50	
<b>E</b>	Pavimento em contacto com o solo		<b>10</b>		
Por não se aplicar a ponderação correspondente ao requisito E, será atribuída aos restantes requisitos.				<b><math>\Sigma N . P</math></b>	<b>315</b>
					<b><math>\Sigma N . P / 100</math></b>
					<b>3,15</b>
<b>CBE 3.6</b>	<b>Concepção das Portas e Janelas</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Isolamento térmico	2	<b>50</b>	100	(X=0,93)
<b>B</b>	Permeabilidade ao ar das caixilharias	4	<b>20</b>	80	(Classe)
<b>C</b>	Estanquidade à água	3	<b>15</b>	45	
<b>D</b>	Resistência às solicitações do vento	3	<b>15</b>	45	
O projecto não prevê ensaios para a caixilharia a aplicar.				<b><math>\Sigma N . P</math></b>	<b>270</b>
					<b><math>\Sigma N . P / 100</math></b>
					<b>2,70</b>
<b>CBE 3.7</b>	<b>Tratamento das Pontes Térmicas</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
<b>A</b>	Isolamento térmico das pontes térmicas planas	2	<b>30</b>	60	( $U_{pont}=1,07$ W/m <sup>2</sup> .°C)
<b>B</b>	Tratamento das pontes térmicas lineares	3	<b>30</b>	90	( $\Psi=0,44$ )
<b>C</b>	Ligação da fachada com vãos envidraçados	4	<b>20</b>	80	
<b>D</b>	Pormenores construtivos	4	<b>20</b>	80	
Isolamento térmico na caixa-de-ar, com tratamento das pontes térmicas pelo interior.				<b><math>\Sigma N . P</math></b>	<b>310</b>
					<b><math>\Sigma N . P / 100</math></b>
					<b>3,10</b>

**Quadro 5.30** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE 4</b>		<b>Distribuição</b>		
CBE 4.1	<b>Trocas de Calor por Convecção</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Ventilação Natural	2	<b>30</b>	60
<b>B</b>	Taxa de renovação nominal	2	<b>50</b>	100
<b>C</b>	Sistemas de refrigeração passiva	4	<b>20</b>	80
O projecto prevê como sistema de refrigeração passiva a abertura das janelas durante a noite no Verão.				<b>Σ N . P</b>
				<b>240</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>2,40</b>
CBE 4.2	<b>Trocas de Calor por Radiação</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
<b>A</b>	Dispositivos de protecção	4	<b>30</b>	120
<b>B</b>	Sistemas de sombreamento	4	<b>50</b>	200
<b>C</b>	Refrigeração por radiação nocturna	0	<b>20</b>	0
Não se prevê a utilização de refrigeração por radiação nocturna.				<b>Σ N . P</b>
				<b>320</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>3,20</b>

(Rph=0,95)

**Σ N . P / 100****2,40****Σ N . P / 100****3,20**

**Quadro 5.31** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>				
<b>CBE 1</b>	<b>Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício	2,60	<b>30</b>	78,0	
CBE 1.2	Implantação do Edifício	2,70	<b>25</b>	67,5	
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados	3,15	<b>20</b>	63,0	
CBE 1.4	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	3,40	<b>15</b>	51,0	
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente	0,00	<b>10</b>	0,0	<b>Σ N . P / 100</b>
<b>Σ N . P</b>				<b>259,5</b>	<b>2,60</b>
<b>CBE 2</b>	<b>Armazenamento Térmico</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 2.1	Inércia Térmica Interior	3,00	<b>100</b>	300,0	
<b>Σ N . P</b>				<b>300,0</b>	<b>3,00</b>
<b>CBE 3</b>	<b>Conservação da Energia</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 3.1	Forma do Edifício	3,50	<b>10</b>	35,0	
CBE 3.2	Iluminação Natural em Edifícios	3,50	<b>10</b>	35,0	
CBE 3.3	Organização Interna dos Espaços	2,40	<b>10</b>	24,0	
CBE 3.4	Concepção da Envolvente Opaca Vertical	3,48	<b>20</b>	69,5	
CBE 3.5	Concepção da Envolvente Opaca Horizontal	3,15	<b>20</b>	63,0	
CBE 3.6	Concepção das Portas e Janelas	2,70	<b>20</b>	54,0	
CBE 3.7	Tratamento das Pontes Térmicas	3,10	<b>10</b>	31,0	<b>Σ N . P / 100</b>
<b>Σ N . P</b>				<b>311,5</b>	<b>3,12</b>
<b>CBE 4</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção	2,40	<b>70</b>	168,0	
CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação	3,20	<b>30</b>	96,0	<b>Σ N . P / 100</b>
<b>Σ N . P</b>				<b>264</b>	<b>2,64</b>

**Quadro 5.32** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Concepção Bioclimática dos Edifícios**. (Cont.)

<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>				
<b>CBE</b>	<b>Concepção Bioclimática dos Edifícios</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>	
CBE 1	Exposição à Radiação Solar e Protecção Contra o Vento	2,60	<b>30</b>	77,9	
CBE 2	Armazenamento Térmico	3,00	<b>15</b>	45,0	
CBE 3	Conservação da Energia	3,12	<b>40</b>	124,6	
CBE 4	Distribuição	2,64	<b>15</b>	39,6	<b>Σ N . P / 100</b>
<b>Σ N . P</b>				<b>287,1</b>	<b>2,87</b>

## 5.3.4.2. Qualidade do Ambiente Interior Concepção (QIA)

**Quadro 5.33** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**.

QIA		Qualidade do Ambiente Interior		
QIA 1		Saúde e bem-estar dos ocupantes		
QIA 1.1	Conforto Térmico	Nível	Pond.	N . P
A	Temperatura do ar	4	30 (35)	140
B	Correntes de ar	2	30 (35)	70
C	Temperatura radiante	1	25 (30)	30
D	Temperatura do pavimento		15	
(*) Como não se prevê o aquecimento por piso radiante, a ponderação do requisito D foi repartida por A, B e C.				
$\Sigma N . P$				240
				(Y=5,44)
				$\Sigma N . P / 100$
				2,40
QIA 1.2	Qualidade do Ar	Nível	Pond.	N . P
A	Ventilação Natural	4	50	200
B	Outras estratégias de Ventilação	1	30	30
C	Concentrações de referência	1	20	20
$\Sigma N . P$				250
				$\Sigma N . P / 100$
				2,50
QIA 1.3	Conforto Visual	Nível	Pond.	N . P
A	Sistemas de Iluminação	3	30	90
B	Níveis de iluminância	4	30	120
C	Contraste	4	20	80
D	Encandeamento	4	20	80
$\Sigma N . P$				370
				$\Sigma N . P / 100$
				3,70
QIA 1.4	Conforto Acústico	Nível	Pond.	N . P
A	$D_{2m,n,w}$	1	30	30
B	$D_{n,w}$	4	30	120
C	$L'_{n,w}$	4	20	80
D	$L_{Ar}$	4	20	80
Zona sensível.				
$\Sigma N . P$				310
				( $D_{n,w}=33dB$ )
				$\Sigma N . P / 100$
				3,10
QIA 2		Sistemas de Controlo e Gestão		
QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão	Nível	Pond.	N . P
A	Controlo dos Sistemas de iluminação	1	35	35
B	Controlo da incidência da radiação solar	4	30	120
C	Controlo dos níveis de renovação de ar	1	35	35
$\Sigma N . P$				190
				$\Sigma N . P / 100$
				1,90

**Quadro 5.34** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**. (Cont.)

<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>			
<b>QIA 1</b>	<b>Saúde e bem-estar dos ocupantes</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 1.1	Conforto Térmico	2,40	<b>40</b>	96,0
QIA 1.2	Qualidade do Ar	2,50	<b>30</b>	75,0
QIA 1.3	Conforto Visual	3,70	<b>20</b>	74,0
QIA 1.4	Conforto Acústico	3,10	<b>10</b>	31,0
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>276,0</b>
				<b>2,76</b>
<b>QIA 2</b>	<b>Sistemas de Controlo e Gestão</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão	1,90	<b>100</b>	190
				<b>Σ N . P</b>
				<b>190,0</b>
				<b>1,90</b>

**Quadro 5.35** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Qualidade do Ambiente Interior**. (Cont.)

<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>			
<b>QIA</b>	<b>Qualidade do Ambiente Interior</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
QIA 1	Saúde e bem-estar dos ocupantes	2,76	<b>70</b>	193,2
QIA 2	Sistemas de Controlo e Gestão	1,90	<b>30</b>	57
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>250,0</b>
				<b>2,50</b>

## 5.3.4.3. Impacto Ambiental dos Edifícios (IAE)

**Quadro 5.36** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios**.

IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios			
IEA 1	Eficiência Energética da Concepção do Edifício			
IEA 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia	Nível	Pond.	N . P
A	Nic	2	35	70
B	Nvc	4	30	120
C	Nac	3	20	60
D	Ntc	2	15	30
Σ N . P				280
				2,80
IEA 2	Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos			
IEA 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização	Nível	Pond.	N . P
A	Condições de Dimensionamento		40	
B	Seleção das Fontes de Energia Térmica		30	
C	Distribuição eficiente de ar e energia térmica nos compartimentos		20	
D	Plano de Manutenção		10	
Σ N . P / 100				0,00
Não se prevê a utilização de climatização				
IEA 2.2	Sistemas de Ventilação	Nível	Pond.	N . P
A	Condições de Dimensionamento		50	
B	Consumo de energia pelos ventiladores e sistemas de controlo		30	
C	Plano de Manutenção		20	
Σ N . P / 100				0,00
Não se prevê o controlo da ventilação, excepto o exaustor na cozinha				
IEA 2.3	Sistemas de Iluminação	Nível	Pond.	N . P
A	Sistemas de Iluminação Combinados	2	50	100
B	Dispositivos de Iluminação	1	30	30
C	Dispositivos de controlo	1	20	20
Regra geral no projecto não estão definidos os dispositivos de iluminação e de controlo				
Σ N . P				150
				1,50
IEA 2.4	Energias Renováveis	Nível	Pond.	N . P
A	Sistema solar térmico para AQS	3	40	120
B	Sistema solar fotovoltaico		20	
C	Biomassa, eólica, geotérmica, mini-hidrogeradores		50	
D	Sistema de recuperação de calor		10	
O projecto só prevê a utilização de energias renováveis para AQS				
Σ N . P				120
				1,20
IEA 2.5	Equipamentos/Electrodomésticos	Nível	Pond.	N . P
A	Certificação dos Equipamentos	3	40	120
B	Modo de funcionamento	2	30	60
C	Reciclagem dos equipamentos	2	30	60
Por norma na fase de projecto não se prevê qual o tipo de equipamento a utilizar				
Σ N . P				240
				2,40
IEA 3	Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção			
IEA 3.1	Materiais de Construção	Nível	Pond.	N . P
A	Escolha dos materiais de construção	1	50	50
B	Reciclagem dos materiais	2	30	60
C	Novas tecnologias	1	20	20
Σ N . P				130
				1,30

**Quadro 5.37** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios**. (Cont.)

IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios			
<b>IEA 1</b>	<b>Eficiência Energética da Concepção do Edifício</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
IEA 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia		<b>100</b>	
<b>Σ N . P</b>				
<b>IEA 2</b>	<b>Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
IEA 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização	0,00	<b>35</b>	0,0
IEA 2.2	Sistemas de Ventilação	0,00	<b>15</b>	0,0
IEA 2.3	Sistemas de Iluminação	1,60	<b>20 (36,7)</b>	55,05
IEA 2.4	Energias Renováveis	1,20	<b>20 (36,7)</b>	44,04
IEA 2.5	Equipamentos e Electrodomésticos	2,40	<b>10 (26,7)</b>	64,08
<b>Σ N . P</b>				<b>163,17</b>
(*) A ponderação dos Indicadores de Qualidade IEA 2.1 e IEA 2.2 é repartida pelos restantes Indicadores de Qualidade.				
<b>IEA 3</b>	<b>Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
IEA 3.1	Materiais de Construção	1,30	<b>100</b>	130,0
<b>Σ N . P</b>				<b>130,0</b>

Σ N . P / 100

Σ N . P / 100

1,63

Σ N . P / 100

1,30

**Quadro 4.38** - Quadro de apresentação dos resultados para a Categoria **Impacto Ambiental dos Edifícios**. (Cont.)

IAE	Impacto Ambiental dos Edifícios			
<b>IAE</b>	<b>Impacto Ambiental dos Edifícios</b>	<b>Nível</b>	<b>Pond.</b>	<b>N . P</b>
IEA 1	Eficiência Energética da Concepção do Edifício	2,80	<b>60</b>	168,0
IEA 2	Eficiência Energética dos Sistemas e Equipamentos	1,63	<b>30</b>	49,0
IEA 3	Eficiência na Utilização dos Materiais de Construção	1,30	<b>10</b>	13,0
<b>Σ N . P</b>				<b>230,0</b>

Σ N . P / 100

2,30



## 5.3.4.4. Nível de Qualidade Térmica

**Quadro 5.39** - Quadro de apresentação dos resultados de aplicação do Método de Avaliação da Qualidade Térmica dos Edifícios desenvolvido, Nível de Qualidade Térmica.





Qualidade Térmica de Edifícios				
	Qualidade Térmica de Edifícios	Nível	Pond.	N . P
<b>CBE</b>	Concepção Bioclimática dos Edifícios	2,87	<b>70</b>	200,9
<b>QIA</b>	Qualidade do Ambiente Interior	2,50	<b>10</b>	25,0
<b>IAE</b>	Impacto Ambiental dos Edifícios	2,30	<b>20</b>	46,0
<b>Σ N . P</b>				<b>271,9</b>
				<b>Σ N . P / 100</b>
				<b>2,70</b>

<b>Nível de Qualidade Térmica</b>	<b>2,70</b>
-----------------------------------	-------------

## 5.3.4.5. Desempenho do Edifício

**Quadro 5.40** - Desempenho Energético do Edifício em função do Nível de Qualidade Térmica.

Nível de Qualidade Térmica (NQT)	Desempenho Energético do Edifício	
<b><math>0 &lt; NQT \leq 1</math></b>	<b>Insuficiente</b>	
<b><math>1 &lt; NQT \leq 2,5</math></b>	<b>Suficiente</b>	
<b><math>2,5 &lt; NQT \leq 3,5</math></b>	<b>Bom</b>	
<b><math>3,5 &lt; NQT \leq 4</math></b>	<b>Muito Bom</b>	

## 5.3.4.6. Representação do Perfil de Qualidade

**Quadro 5.41** - Representação do Perfil de Qualidade do Edifício Multifamiliar.

Ficha de Avaliação	Indicador de Qualidade	Nível Qualidade				
		0	1	2	3	4
CBE 1.1	Caracterização da Localização do Edifício			△		
CBE 1.2	Implantação do Edifício			△		
CBE 1.3	Ganhos Solares pelos Envidraçados				△	
CBE 1.4	Paredes Exteriores e Cobertura				△	
CBE 1.5	Elementos Especiais da Envolvente					
CBE 2.1	Inércia Térmica				△	
CBE 3.1	Forma do Edifício				△	
CBE 3.2	Iluminação Natural				△	
CBE 3.3	Organização Interna dos Espaços				△	
CBE 3.4	Concepção da Envolvente Opaca Vertical				△	
CBE 3.5	Concepção da Envolvente Opaca Horizontal				△	
CBE 3.6	Concepção das Portas e Janelas			△		
CBE 3.7	Tratamento das Pontes Térmicas				△	
CBE 4.1	Trocas de Calor por Convecção			△		
CBE 4.2	Trocas de Calor por Radiação				△	
<b>Nível de Qualidade – Concepção Bioclimática de Edifícios</b>				△		
QIA 1.1	Conforto Térmico			☺		
QIA 1.2	Qualidade do Ar			☺		
QIA 1.3	Conforto Visual				☺	
QIA 1.4	Conforto Acústico				☺	
QIA 2.1	Sistemas de Controlo e Gestão		☺			
<b>Nível de Qualidade – Qualidade do Ambiente Interior</b>				☺		
IAE 1.1	Necessidades Anuais Globais de Energia			☀		
IAE 2.1	Sistemas Mecânicos de Climatização					
IAE 2.2	Sistemas de Ventilação					
IAE 2.3	Sistemas de Iluminação		☀			
IAE 2.4	Energias Renováveis		☀			
IAE 2.5	Equipamentos/Electrodomésticos			☀		
IAE 3.1	Materiais de Construção		☀			
<b>Nível de Qualidade – Impacto Ambiental dos Edifícios</b>			☀			
<b>Qualidade Térmica do Edifício – Desempenho do Edifício</b>		☺				

#### 5.4. Análise dos Resultados Obtidos

Analisando os resultados obtidos para o edifício unifamiliar (moradia) e para o edifício multifamiliar (pisos intermédios de um bloco de apartamentos) verificou-se que estes apresentam desempenhos diferentes, *Suficiente* para o edifício unifamiliar e *Bom* para os pisos intermédios de um bloco de apartamentos, as principais razões desta diferença devem-se: por um lado ao facto do factor de forma dos pisos intermédios do bloco de apartamentos ser muito mais baixo, resultando em necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento menores, apesar das áreas úteis de pavimento apresentarem diferenças pouco significativas; por outro lado para o edifício multifamiliar, as características da caixilharia e do projecto de ventilação são mais exigentes o que conduz a uma melhor classificação.

#### 5.5. Comentários à Aplicação do Método de Avaliação

Como para aplicar a metodologia de avaliação da qualidade térmica de edifícios proposta, só se utilizaram os elementos escritos e desenhados do projecto de arquitectura (plantas, alçados, cortes e desenhos de pormenor) e do estudo do comportamento térmico (caracterização térmica do edifício), alguns indicadores de qualidade, nomeadamente, os que estão relacionados com a qualidade do ambiente interior e com o impacto ambiental dos edifícios, que têm influencia na qualidade térmica dos edifícios, foram analisados um pouco a sentimento, por falta de elementos escritos e desenhados de outros projectos de especialidade ou pela falta de indicações específicas nos elementos consultados (caracterização da localização do edifício, características do sistema de ventilação, projecto de iluminação com características e identificação dos pontos de luz e sistemas de controlo, reciclagem e reutilização de materiais de construção, etc.).

Então e tendo em consideração os resultados obtidos, utilizando apenas os elementos escritos e desenhados do projecto de arquitectura (plantas, alçados, cortes e desenhos de pormenor) e do estudo do comportamento térmico (caracterização térmica do edifício) e considerando as características iguais para os elementos em que faltavam dados específicos para se poder obter uma avaliação objectiva, podemos dizer que no geral o método proposto apresenta alguma objectividade e os resultados são representativos da qualidade térmica do edifício.



## CAPÍTULO VI

## CONCLUSÕES

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1. Considerações Finais

### 6.2. Dificuldades Sentidas no Desenvolvimento do Trabalho

### 6.3. Desenvolvimentos Futuros

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1. Considerações Finais

Em primeiro lugar, com o trabalho efectuado nesta dissertação, pretende-se dar um contributo para a redução dos consumos energéticos e do impacte ambiental dos edifícios que estão directamente relacionados com a qualidade térmica dos edifícios.

A elaboração deste trabalho constituiu um esforço de compilação de toda a informação que se considerou essencial para qualquer profissional que queira trabalhar na área da física das construções, mais concretamente no comportamento térmico dos edifícios.

O trabalho foi desenvolvido, no sentido de integrar investigação e proporcionar o acesso a informação que se encontra dispersa, abordando, de forma simples e prática, aquelas matérias que afectam directamente e indirectamente esta área de conhecimento.

Ao chegar ao final, a primeira conclusão que se pode tirar é que esta área envolve um elevado número de conhecimentos, abarcando áreas diversas da Engenharia, tais como, a engenharia civil, a engenharia mecânica, a engenharia electrotécnica, a engenharia informática, etc., e de outras áreas de conhecimento, tais como, a arquitectura, a física, a química, a geologia, a biologia, a historia, a estatística, etc. É fundamental que os elementos da equipa de projecto, aqueles que têm poder de decisão, possuam conhecimentos alargados sobre estas áreas de conhecimento ou, situação mais realista, tenham a percepção de que têm de reunir equipas de projecto multidisciplinares que dêem resposta às situações com que são confrontados.

No âmbito dos conhecimentos básicos, razão de ser do Capítulo 3 sobre a Qualidade Térmica dos Edifícios, ressalta o papel essencial da fase inicial do processo de concepção dos edifícios. É nesta fase que mais se faz notar a experiência dos elementos da equipa de projecto, na medida em que é essencial "equacionar" todos os aspectos relevantes que possam influenciar de forma decisiva o modo como o edifício e o projecto correspondente se irão desenvolver.

O conforto térmico dos ocupantes é afectado por vários factores, tais como a actividade, o vestuário, idade e sexo e por aspectos do ambiente interior, tais como a temperatura do ar, temperaturas superficiais, humidade relativa, circulação do ar, ruído, iluminação e odores. A má qualidade do ambiente interior tem implicações sobre a saúde dos ocupantes, na medida em que poderá: conter substâncias tóxicas ou alérgicas; causar "stress" ou insegurança; facilitar a transmissão de doenças contagiosas. Em relação ao impacte ambiental do edifício, temos que ter em consideração, que os processos de construção e de funcionamento afectam o meio ambiente. Para além dos efeitos locais os edifícios contribuem para o aquecimento global e para o esgotamento de recursos.

Projectar edifícios com Elevada Qualidade Térmica e com Eficiência Energética é um processo em que as múltiplas disciplinas e aspectos aparentemente não relacionados no projecto são integradas de maneira a permitir que sejam realizados benefícios sinérgicos. Com o objectivo é conseguir o desempenho elevado e benefícios múltiplos a um custo mais baixo do que o custo total para todos os componentes combinados, é fundamental que os elementos da equipa de projecto tenham ferramentas de análise e diagnóstico que abordem as questões relacionadas com:

- a Concepção Bioclimática de Edifícios;
- a Qualidade do Ambiente Interior;
- o Impacto Ambiental dos Edifícios.

Para responder a todas estas questões, o Capítulo 4 apresenta uma metodologia de avaliação, com o objectivo de constituir um instrumento de apoio para os intervenientes em diferentes tipos de processo de decisão relacionados com a elaboração do projecto do edifício.

A Hierarquia de indicadores de qualidade proposta perspectiva de forma abrangente, e suportada num desenvolvimento lógico de fácil entendimento, as condicionantes e os elementos que têm que ser considerados no desenvolvimento do projecto de edifícios. O conhecimento, por cada elemento da equipa de projecto, da contribuição da sua especialidade de forma integrada no projecto e da forma como as suas opções de projecto interferem em domínios eventualmente fora da sua acção directa podem contribuir para uma maior eficiência e compatibilidade do funcionamento da equipa.

O modo como a Hierarquia de indicadores de qualidade e a própria Ponderação foram desenvolvidos possibilitará actualizações da metodologia (introdução de novas limitações regulamentares ou novas tecnologias construtivas) com certa facilidade. Apenas o requisito em causa necessitará de ser revisto (ou introduzido um novo), e a ponderação redistribuída no nível em que se efectuou a alteração. Toda a restante estrutura se mantém. A formulação sob a forma de fichas de avaliação permite, igualmente, uma maior facilidade na actualização de versões anteriores.

A aplicação parcelar ou global do Método proposto, no desenvolvimento do projecto de edifícios, poderá traduzir-se na obtenção de informações importantes para a concepção de edifícios mais eficientes, em termos construtivos e de custos.

Para facilitar a aplicação do método de avaliação foram desenvolvidos quadros que permitem efectuar a gestão dos dados de caracterização das soluções e indicar os níveis de qualidade obtidos.

O tipo de informação requerida para a aplicação do Método deverá conduzir, a projectos com maior detalhe de informação, escrita e desenhada, com reflexos positivos na fase de construção dos edifícios.

Em Portugal não existe uma tradição de qualidade e rigor no projecto térmico dos edifícios devido ao tradicional reduzido grau de exigência relativamente às condições de conforto no interior dos edifícios. No entanto, o crescimento económico tem vindo a provocar um aumento generalizado deste grau de exigência ao qual tem vindo a ser



dada, de uma forma geral, a resposta menos racional, isto é, a instalação sistemática de equipamentos mecânicos de climatização.

A eficiência energética dos edifícios em Portugal, nomeadamente no que diz respeito à qualidade térmica, está dependente de tecnologias construtivas pouco evoluídas, a processos de construção tradicionais e a mão-de-obra não qualificada, com grande potencial de melhoria.

A compatibilidade do projecto dos edifícios com as condições climáticas do local – projecto solar passivo – bem como a integração de determinadas tecnologias, como os sistemas solares de aquecimento de água, sistemas de sombreamento e os painéis fotovoltaicos, são algumas das respostas possíveis.

## 6.2. Dificuldades Sentidas no Desenvolvimento do Trabalho

As primeiras dificuldades surgiram na escolha dos elementos construtivos a incluir na avaliação e na definição dos critérios de avaliação a satisfazer. Uma escolha deste tipo tem sempre algo de subjectivo e de risco. Implica um conhecimento transversal sobre os parâmetros em apreciação e a necessidade de limitar o seu número, para permitir uma apreciação de carácter tão universal quanto possível e também concretizar a avaliação num curto período de tempo.

Foram então analisados 27 indicadores de qualidade distribuídos do seguinte modo pelas categorias adoptadas: 15 para a “Concepção Bioclimática de Edifícios”; 5 para a “Qualidade do Ambiente Interior” e 7 para a “Impacto Ambiental dos Edifícios”. Foi também necessário estudar as suas interações e concretizar o processo de avaliação com a definição de 99 requisitos e respectivos critérios de avaliação.

À partida é necessário ter consciência de que o processo de escolha e definição dos critérios de avaliação se insere num determinado contexto, onde prevalecem os regulamentos e as regras técnicas válidas num determinado período. O Método apresentado foi criado e validado num determinado período de tempo, acompanhando a necessidade de produzir investigação em tempo útil. Mas o processo terá, necessariamente, de ser evolutivo, mantendo a validade dos critérios de avaliação em função da evolução do conhecimento científico e técnico. A base de trabalho actual está perfeitamente definida. No futuro, poderá elevar-se o nível de qualidade, alterar a forma ou modelo de atribuição dos níveis de qualidade em função das boas práticas estabelecidas em cada momento, procurando manter constante a sua adequação às limitações regulamentares e legais.

Outra dificuldade sentida na realização do trabalho de validação da metodologia proposta consistiu na ausência, nos casos analisados, de elementos de projecto completos e detalhados. Como esta metodologia se destina a ser aplicada na fase de projecto, é muito importante que os projectos das várias especialidades sejam mais detalhados e estejam interligados entre si, para além de fornecerem toda a informação necessária, permitiriam aligeirar o processo e obter resultados mais realistas. Sendo os dados de base insuficientes, torna-se muito difícil obter a informação desejada, sem

recorrer a estudos mais cuidados, o que aumentará o tempo para a realização do trabalho de avaliação e diagnóstico.

### 6.3. Desenvolvimentos Futuros

Como foi referido na introdução desta dissertação, a abordagem global realizada leva a que muitas questões importantes não tivessem o desenvolvimento adequado. Obviamente, este é um ponto que poderá ser desenvolvido. Todos os Capítulos de desenvolvimento desta tese, e para ser mais exacto todas as secções de cada capítulo desta tese poderão ser aproveitadas para prosseguir com estudos científicos de elevado interesse.

Tendo sido uma das principais preocupações para o desenvolvimento deste Método que fossem englobados o maior número possível de componentes mas sem inviabilizar uma aplicação prática com alguma facilidade, em todas as vertentes analisada restam, sem dúvida, diversos factores que não foram considerados mas com alguma influência em cada domínio do projecto. Seria, assim, importante o desenvolvimento de outros indicadores da qualidade, concentrados em área específicas de projecto, que pudessem fornecer informação ainda mais detalhada e profunda sobre a eficiência das estratégias ou soluções projectadas.

Para além do desenvolvimento de outros indicadores, seria importante desenvolver estudos de sensibilidade que permitissem eventuais ajustes aos critérios agora definidos e que ajudassem a fundamentar os valores da ponderação dos critérios.

Para facilitar a aplicação do método de avaliação pode ser desenvolvido um programa informático que permita efectuar a gestão dos dados de caracterização das soluções, a gestão dos indicadores de qualidade e a interpretação dos resultados das soluções adoptadas segundo os requisitos e critérios de avaliação definidos.

A Qualidade Térmica dos Edifícios é um acto de cultura que deve ser promovido e incentivado.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. DL 80/2006, de 04 de Abril.
- [2] Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. DL 79/2006, de 04 de Abril.
- [3] Sistema de Certificação Energética, DL 78/2006, de 04 de Abril.
- [4] Directiva relativa ao rendimento energético dos edifícios. Directiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, Bruxelas, Janeiro 2003.
- [5] Livro Verde, “Para uma estratégia europeia de segurança do aprovisionamento energético”. Comissão das Comunidades Europeias, Bruxelas, 2000.
- [6] Programa E4, “Eficiência Energética e Energias Endógenas”, Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001 de 27 de Setembro.
- [7] Mateus, R.; Bragança L., “Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção”, PROMETEU, Edições Ecopy, Porto, 2006.
- [8] Poussard E. et al, “Promoting bioclimatic and solar construction and renovation - Guide for a building energy label” - CLER, France, [Consult. 09 Novembro 2003]. Disponível em <http://www.cler.org>.
- [9] Energy Comfort 2000. [Consult. 03 Janeiro 2005]. Disponível em <http://www.erg-ucd.ei>.
- [10] EcoHomes 2006, “The environmental rating for homes”. [Consult. 16 Setembro 2006]. Disponível em <http://www.ecohomes.org>.
- [11] Leadership in Energy and Environmental Method – LEED – H, E.U.A., [Consult. 09 Julho 2004]. Disponível em <http://www.usgbc.org>.
- [12] Greenbuilding, Green Building Challenge Framework – GBTool. [Consult. 09 Julho 2004]. Disponível em <http://www.geenbuilding.ca>.
- [13] Moreira da Costa, J., “Métodos de Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação”, Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1995.
- [14] Graça, J.M., “Desenvolvimento de um Sistema Pericial para o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios”, Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa, 1999.
- [15] Pedro, J.B., “Definição e Avaliação da Qualidade Arquitectónica Habitacional”, Tese de Doutoramento, FAUP, Porto, 2000.
- [16] Le Corbusier, “Por uma arquitectura”, Perspectiva, São Paulo, 1989.
- [17] Brand, S., “How buildings learn – What happens after they`re built”, Orion Books, Londres, 1997.
- [18] Fernandes, O., “A envolvente dos edifícios e a energia”, 2<sup>as</sup> Jornadas de Física e Tecnologia dos Edifícios, Volume II, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Gabinete de Construções Civas, Porto, Dez. 1986.
- [19] Maldonado, E., “A envolvente dos edifícios e o controle ambiental”, 2<sup>as</sup> Jornadas de Física e Tecnologia dos Edifícios, Volume I, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Gabinete de Construções Civas, Porto, Dez. 1986.
- [20] Abrantes, V., Introdução das 2<sup>as</sup> Jornadas de Física e Tecnologia dos Edifícios, Volume III, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Gabinete de Construções Civas, Porto, Dez. 1986.
- [21] “Manuel des performances – tome I – la structure, l`enveloppe verticale”, CSTB, Nov. 1989.

- [22] Lanzinha, J.C., “Reabilitação de Edifícios – Metodologia de Diagnóstico e Intervenção”. Tese de Doutoramento, UBI, Covilhã, 2006.
- [23] A Green Vitruvius, “Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentável”, Ordem dos Arquitectos.
- [24] Mendonça, P., “Habitar Sob uma Segunda Pele”, Tese de Doutoramento, UM, Guimarães, 2005.
- [25] Gonçalves, H.; Graça, J., “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”, INETI, Lisboa, 2004.
- [26] Leal, V; Maldonado, E., “Qualidade de Dados Climáticos Sintéticos para Simulação de Comportamento Térmico de edifícios”, Proceedings of IX Congresso Ibérico de Energia Solar, III Jornadas Técnicas sobre Biomassa, Córdoba, Espanha, 2000.
- [27] Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto – Fundação Gomes Teixeira, “Projecto REDENE. Rede de Edifícios Energeticamente Eficientes. Conceitos e Orientações”, 2000.
- [28] Simos Yannas, “Solar Energy and Housing Desing. Volume 1: Principles, Objectives, Guidelines”, Architectural Association, London, 1994.
- [29] Arquitectura Bioclimática. [Consult. 02 Março 2005]. Disponível em <http://www.geocities.com/mleandror/indeccl.htm>.
- [30] Santos, António J., “A Iluminação Natural e A Iluminação Artificial - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos”, Lisboa, LNEC, 2000.
- [31] Francisco, M., “Energia Solar Passiva” (Volume 1 e 2), Direcção-Geral da Energia, Imprensa Nacional - Casa da Moeda, Lisboa, 1987.
- [32] Carvalho, L.C., “Iluminação Natural e Radiação Solar no Projecto da Fenestração”, Lisboa: LNEC, 1995. TPI 4.
- [33] Santos, C.A.P., Martins, L., “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios”, Lisboa, LNEC, 2006. ITE 50.
- [34] Pinto, A., “Componentes de edifícios. Características e dimensionamento térmico de vãos envidraçados”, LNEC, Lisboa, 2006. Relatório NCI.
- [35] Viegas, J.C., “Comportamento dos Edifícios – Selecção de caixilharia e seu dimensionamento mecânico”, Lisboa, LNEC, 2006. ITE 51.
- [36] EN 1026:2000, “Windows and doors – Air permeability – Test method”. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [37] EN 12207:1999, “Windows and doors – Air permeability – Classification”. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [38] Union Européen pour L’agrément Technique Dans la Construction – “Directivas UEAtc para a homologação de janelas”. Lisboa: LNEC, 1974. Tradução 641.
- [39] EN 1027:2000, “*Windows and doors – Watertightness – Test method*”. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [40] EN 12208:1999, “*Windows and doors – Watertightness – Classification*”. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [41] EN 12211:2000, “*Windows and doors – Resistance to wind load – Test method*”. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [42] EN 12210:1999, “*Windows and doors – Resistance to wind load – Classification*”. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [43] Corvacho, M.H., “Catálogo de Pontes Térmicas” – Nota de Informação Técnica – NIT – 003-LFC – FEUP, 1999.
- [44] Abreu, M.I., “Reabilitação de Pontes térmicas em Intervenções de Reabilitação”, Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 2003.

- [45] IPQ, "Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural". Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1, Lisboa, 2002.
- [46] Baker, P.; McEvoy, M. e Southall, R., "Improving Air Quality in Homes With Supply Air Windows". Watford, Building Research Establishment, 2003.
- [47] Rodrigues, A.; Piedade, A. e Awbi, H., "The Use of Solar Air Collectors for Room Ventilation: A Study Using Two Numérical Approaches, Proceedings of RoomVent 2000 - 7th International Conference on Air Distribution in Rooms", Reading, United Kingdom, 2000, pp. 281-287.
- [48] Heiselberg, P. et al, "Principles of Hybrid Ventilation, Aalborg, Hybrid Ventilation Centre", Aalborg University, 2002. [Consult. 08 Janeiro 2004]. Disponível em <http://hybvent.civil.auc.dk>.
- [49] Mitjá, A.; Esteve, J.; Escobar, J.J., "Estalvi d'energia en el disseny d'edificis. Generalitat de Catalunya / Departament d'Indústria i Energia", Barcelona, 1986.
- [50] Serra Florensa, Rafael; Coch Roura, Helena, "Arquitectura y energía natural", Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1995.
- [51] Balcomb, J.D., "The design of energy-responsive commercial building" - Solar Energy Research Institute - U.S. Department of Energy.
- [52] ASHRAE, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Ansi/Ashrae Standard 62.1-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers", Atlanta, USA, 2004.
- [53] ASHRAE, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Ansi/Ashrae Standard 55-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers", Atlanta, USA, 2004.
- [54] Matias, L., "Conforto Térmico em Ambientes Interiores, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, 2000.
- [55] Silva, M, "Folhas de Cálculo para Determinação dos Índices de Conforto Térmico PMV e PPD", Climamed Congress, 20 – 21 November, Lyon France, 2006.
- [56] ASHRAE, "Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers", Atlanta, 2005.
- [57] ISO, "Ergonomics of the Thermal Environment. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria", ISO 7730, International Organization for Standardization, Geneva, 2005.
- [58] CEN, "Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings. Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustic", prEN 15 251, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2006.
- [59] Viegas, J. C., "Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios – Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, LNEC, 2000.
- [60] ASHRAE, "Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers", Atlanta, 2005.
- [61] Piedade, A.; Rodrigues, A., "Roriz, L, "Climatização em Edifícios – Envolvente e Comportamento Térmica", Edições Orion, Amadora, 2000.
- [62] CEN, "Ventilation for non-Residential Buildings. Performance Requirements for Ventilation and room-Conditioning Systems", EN 13 779, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2004.

- [63] LNEC, "Avaliação das Condições Ambientais de um Apartamento em Matosinhos em Situação de Utilização Corrente. Inverno de 2003", NRI, Relatório 301/03, 2003.
- [64] Brager, G.; Dear, R., "Thermal Adaptation in the Built Environment: a Literature Review, Energy and Buildings", Vol. 27, 1998.
- [65] Brager, G.; Dear, R., "A Standard for Natural ventilation", Ashrae Journal, Vol. 42, n.º 10, 2000.
- [66] Santamouris, M., "Adaptive Thermal Comfort and Ventilation", VIP n.º 12, AIVC, 2006.
- [67] Fanger, P., "What is IAQ?", 10th Indoor Air Conference, Beijing, China, 2005.
- [68] IPQ, "Segurança e Saúde no Trabalho. Valores Limite de Exposição Profissional a Agentes Químicos, Instituto Português da Qualidade", NP 1796, Lisboa, 2004.
- [69] Pinto, A., "Ventilação Mecânica de Edifícios de Habitação", Relatório 01/2006-NCI.
- [70] CEN, "Ventilation for Buildings. Design and Dimensioning of Residential Ventilation Systems", CEN/TR 14 788, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2006.
- [71] Ferreira, M., "Caudais de Ventilação Recomendados para Edifícios Residenciais. Impacto ao Nível do Conforto Térmico e do Consumo de Energia para Aquecimento", Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 2004.
- [72] Viegas, J.C., "Ventilação Natural em Edifícios de Habitação", LNEC, 2001.
- [73] Gonçalves, H., "Edifícios Solares Passivos em Portugal", Lisboa, INETI, 1998.
- [74] Commission Internationale de L'eclairage (CIE) – "Guide on Interior Lighting". CIE Publication N.º 29 (TC-4.1), 1975.
- [75] Commission Internationale de L'eclairage (CIE) – "Guide on Interior Electric Lighting". CIE Publication N.º 29/2, 1986.
- [76] Domingues, Odete, "Ruído Ambiente - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, LNEC, 2000.
- [77] Patrício, J., "Isolamento Sonoro de Elementos de Compartimentação e Aspectos de Incomodidade - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, LNEC, 2000.
- [78] Azevedo, Fernando L.S., "Vibrações Ambientais. Incomodidade nos Seres Humanos e Danos nas Edificações - Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, LNEC, 2000.
- [79] ENERGAIA, "Vantagens da Energia Solar", Agência Municipal de energia de Gaia, [Consult. 12 Janeiro 2004]. Disponível em <http://www.energaia.pt>.
- [80] Berge, B., "Ecology of Building Materials", Architectural Press, England, 2000.
- [81] Gonçalves, H., A. Joyce, L. Silva (editores). 2002. Fórum – "Energias renováveis em Portugal: uma contribuição para os objectivos de política energética e ambiental".
- [82] prEN 15203:2005 – "Energy performance of building – Assessment of energy use and definition of ratings".
- [83] Lechner N., "Heating, Cooling, Lighting - Design Methods for Architects", John Wiley & Sons, Inc, 1991.
- [84] AGO, "Design for Lifestyle and the Future" – Technical Manual, Australian Greenhouse Office, Australian Government, Australia. [Consult. 09 Janeiro 2004]. Disponível em <http://www.geenhouse.gov.au>.
- [85] DGCE/IP 3E, "Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial", Lisboa, 2004. Disponível em <http://www.p3e-portugal.com>.

- [86] Gonçalves, H., et al, "Edifícios Solares Passivos em Edifícios em Portugal", INETI-DER, Lisboa, 1997.
- [87] Ngowi, A., "Competing wiht Environmenal Friendly Construction Pratics" – Technical Article; Cost Engineering – The International Journal of Cost Estimation, Cost/Schedule Control, and Project Management, AACEI, 2000.
- [88] Freitas, V; Silva, M., "Metodologia para a Definição Exigencial de Isolamento Térmico" – NIT 001, LFC, FEUP, 1997.
- [89] Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes. DL 235/1983, de 31 de Maio.
- [90] Graça, J.M.; Bento, J.; Gonçalves, H.; Aguiar, R., "Um sistema baseado em conhecimento para promover uma maior eficiência energética dos edifícios em Portugal". IX Congresso Ibérico de Energia Solar, III Jornadas Técnicas sobre Biomassa, Córdoba, Espanha, 2000.
- [91] Laustsen, J.; Lorenzen, K., "Danish Experience in Energy Labelling of Buildings", Report of OPET-Builbing Project. Consult. 10 Novembro 2003]. Disponível em <http://www.cler.org>.
- [92] Poussard, E.; Peuportier, B., "Guide for a Building Energy Label", Moutot. Consult. 10 Novembro 2003]. Disponível em <http://www.cler.org>.
- [93] Corvacho, M.H., "Pontes Térmicas, Análise do Fenómeno e Proposta de Soluções", Dissertação de Doutoramento, FEUP, Porto, 1996.
- [94] Poussard, E.; Peuportier, B.; "Guide for a Building Energy Label". [Consult. 12 Setembro 2003]. Disponível em <http://www.cler.org>.
- [95] Santos, A.J., "Critérios para a Caracterização das Condições de Conforto Visual nos Edifícios". Aplicação a Sistemas Integrados de avaliação, LNEC, QIC2006.
- [96] WBDG – "Whole Building Desing Guide". [Consult. 03 Março 2006]. Disponível em <http://www.wbdg.org>
- [97] Greenig Federal Facilities. [Consult. 03 Março 2006]. Disponível em <http://www.eren.doe.gov>.
- [98] LANL "Sustentável Design Guide". [Consult. 03 Março 2006]. Disponível em <http://www.lanl.gov>.
- [99] GreenBuilding – ADENE [Consult. 03 Março 2006]. Disponível em <http://www.adene.pt>.
- [100] Sustainable Urban Design. [Consult. 03 Janeiro 2004]. Disponível em [http://erq.ucd.ie/mb\\_urban\\_desian.pdf](http://erq.ucd.ie/mb_urban_desian.pdf).
- [101] Designing Open Spaces in the Urban Environment a Bioclimatic Approacn. [Consult. 10 Janeiro 2006]. Disponível em [http://alpha.cres.gr/ruros/dg\\_en.pdf](http://alpha.cres.gr/ruros/dg_en.pdf).
- [102] BRE Digest 350 April 1990, "Climate and Site Development Part 3"
- [103] Murillo and Schiller, "Sustainable urban development: obstacles and potentials". in: PLEA 96: Building and Urban Renewal, Proccedings, de Herde (Ed.) Architecture et Climat, Louvain-la-Neuve, 1996.
- [104] Building Technologie Program. [Consult. 10 Fevereiro 2006]. Disponível em <http://www.eere.energy.gov>.
- [105] Silva, Fernando M., "Acções que Promovem a Ventilação Natural – Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, LNEC, 2000.
- [106] Regulamento Geral de Edificações Urbanas, DLº 38 382, de 7 de Agosto de 1951.
- [107] British Standards, BS 8206-2 Lighting for buildings. Code of practice for daylighting, 1992.
- [108] IP4/92, "Site layout for sunlight and solar gain", 1992.



- [109] BR209, "Site layout planning for daylight and sunlight: a guide to good practice", 1991.
- [110] BR288, "Designing buildings for daylight". James Bell and Bill Burt, 1995.
- [111] O Guia da Iluminação nº 10 do CIBSE "Iluminação Natural e o Projecto de Janelas", 1999.
- [112] Saint Gobain Glass, 2000, Manual do Vidro, 2000.
- [113] Carvalho, L.C., "Iluminação e radiação Solar no Projecto de Fenestração", Lisboa, LNEC, 2000.
- [114] Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos - Projecto 02:135.02-003 – ABNT. [Consult. 06 Novembro 2006]. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br>.
- [115] Daylight and Artificial Lighting, TM4, Energy Comfort 2000. [Consult. 03 Janeiro 2005]. Disponível em <http://www.erg-ucd.ie>.
- [116] Correia Guedes, M. "Thermal Comfort and passive Cooling Design in Southern European Offices", PhD. Thesis, University of Cambridge, Faculty of Architecture, Cambridge, 2000.
- [117] Commission Internationale de L'eclairage (CIE) - Daylight. International Recommendations for the Calculation of Natural Light Publication C.I.E. Nº 16 (E-3.2), 1970.
- [118] Commission Internationale de L'eclairage (CIE) - International Lighting Vocabulary, 4th Ed. Paris: IEC/CIE, 1987.
- [119] Carvalho, L.C., "Contributions to JOULE Program" - Relatório 182/93 - NAI, LNEC, Setembro 1993.
- [120] Commission of the European Communities - Dynamic Characteristics of Daylight Data and Daylighting Design of Buildings. JOULE I Final Report,. Nantes, December 1993.
- [121] Commission of the European Communities - European Daylighting Atlas. Athens, July, 1996.
- [122] Hopkinson, R.G.; Petherbridge, P.; Longmore, J., "Iluminação Natural". Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1980.
- [123] CIBSE (1994). Code for interior lighting. The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- [124] Bell, J.; Burt, W., "Designing Buildings for Daylight". CRC/BRE. London 1995.
- [125] British Standards Institution (BSI) - Code of Practice for Daylighting.. BS 8206: Part2:1992, London, BSI, 1992.
- [126] Olarjay & Olarjay, "Solar Control & Shading Devices" – Princeton University Press, Pinceton, New Jersey.
- [127] Silva A.C.; Malato, J., "Geometria da Insolação dos Edifícios". Lisboa, LNEC, 1969. ITE 5.
- [128] Robbins, C.L., "Daylighting Design and Analysis". Van Nostrand Reinhold, N.Y., 1986.
- [129] Peixoto, J.P., "A Radiação Solar e o Ambiente" - SEOA/CNA, Lisboa, 1981.
- [130] Carvalho, L.C., "Insolação e Iluminação Natural dos Edifícios". Mestrado Eng. Física FCUL. FCUL, Lisboa, 1997.
- [131] Litxlefair, P.J., "Average Day/light Factor: a simple basis for daylight design". BRE IP 15/88, BRE, Garston, 1988.
- [132] Egan, M.J. "Concepts in Architectural Lighting". New York, McGraw-Hill, 1983.

- [133] Santos, A.J., "Aspectos Termo-Lumínicos dos Vãos Envidraçados". Lisboa, LNEC, 2000.
- [134] Andrew Marsh, Ecotect – "Solar Analysis - Optimised Shading Design" – Joondalup, Australia.
- [135] Larson G. W.;Shakespeares R., "Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization". Morgan Kaufmann, 1998.
- [136] ADENE / INETI, "Forum Energias Renováveis em Portugal - Relatório Síntese". [Consult. 03 Janeiro 2004]. Disponível em [http://www.igm.pt/edicoes\\_online/diversos/energias\\_renov/indice.htm](http://www.igm.pt/edicoes_online/diversos/energias_renov/indice.htm).
- [137] Szokolay, S.V., Solar Geometry, Plea: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, The University of Queensland, Brisbane, Australia, 1996.
- [138] Hopkinson, R. G. et al, "Daylighting, Heinemann", London, U.K., 1966.
- [139] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. CE-02:135.02 – Comissão de Estudos de Iluminação Natural de Edificações. Projecto 02:135.02-001. Iluminação Natural - Parte1: Conceitos básicos e definições, Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural, Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos, Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Brasil, 2003.
- [140] Ander, Gregg D., "Daylighting. Performance and Design". New York, Van Nostrand Reinhold, 1995.
- [141] Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K., "Daylighting in Architecture. A European Reference Book". London, James & James, 1998.
- [142] EN 12664:2002, "Lighting of work places – Part 1: Indoor work places". Brussels, Comité Européen de Normalisation.
- [143] EN 12665:2002, "Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements". Brussels, Comité Européen de Normalisation.
- [144] Bechett, H.E.; Godfrey, J. A., "Ventanas. Función, diseño e instalación". Barcelona, Gustavo Gili, 1978.
- [145] Florensa, Rafael Serra e Roura, Helena Coch, "Arquitetura y Energia Natural". Barcelona, UPC, 1995.
- [146] Guzowski, Mary, "Daylighting for Sustainable Design". New York, McGraw-Hill, 1999.
- [147] Hopkinson, R.G., Petherbridge, P.; Longmore, J., "Iluminação Natural". Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.
- [148] Baker N.;Franchiotti A.; Steemers K. editors (1993). "Daylighting in Architecture - A European Reference Book". James & James Ltd.
- [149] CIBSE (1987). Applications Manual: Window Design. The Chartered Institution of Building Society Engineers.
- [150] McNicholl A.; Lewis O., "Green Design: Sustainable building for Ireland. Stationery Office", 1996.
- [151] Cavaleiro e Silva, J. Malato, "Geometria da Insolação de Edifícios" - LNEC, Lisboa, 1969.
- [152] IEA (2000). "Daylight in Buildings: A Source Book on Daylighting Systems and Components".
- [153] International Congress: Energy and Environment Engineering and Management, Portalegre, 2005.

- [154] Passive Solar Guidelines. [Consult. 31 Janeiro 2006]. Disponível em <http://www.greenbuilder.com>.
- [155] Energy and Sustainable Building Design. [Consult. 06 Março 2006]. Disponível em [http://www.iesd.dmu.ac.uk/msc/esbd\\_details.htm](http://www.iesd.dmu.ac.uk/msc/esbd_details.htm).
- [156] ENERGY – Sustainable Urban Design. Energy Research Group, University College Dublin, Ireland, 2000. [Consult. 06 Fevereiro 2006]. Disponível em <http://erg.ucd.ie/>.
- [157] Serpell A.; Labra M., "A System for Evaluating the Quality of Housing Construction in Chile" – Department of Construction Engineering and Management, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 2002.
- [158] Sequeira, J.P., "Redução de erros de Construção Civil – Estudo sobre obras de controlo de qualidade reduzido", IST, Lisboa, 2003.
- [159] 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios – PATORREB 2003, Actas do Encontro, FEUP, Porto, 2003.
- [160] Paiva, A., "Desenvolvimento de um sistema pericial para avaliação do comportamento térmico", Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 1991.
- [161] Silva, M., "Metodologia para a definição exigencial de isolamento térmico", Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 1997.
- [162] Balaras C., "A guide for energy conservation in office buildings" - Department of applied physics university of Athens.
- [163] Minne A., Energy design principles in buildings – "Cellule Architecture et Climat" - UCL- Belgium, IEA Solar aquecimento and cooling program task.
- [164] Gratia E., "Design guidelines for Belgium - Cellule Architecture et Climat" - UCL- Belgium, IEA Solar aquecimento and cooling program task.
- [165] Solar architecture and energy-efficient design portfolio – Commercial and Institutional Buildings. Prepared by Architecture et Climat, UCL - Belgium for the European Commission.
- [166] Solar geometry - Plea Notes, Steven V. Szokolay, University of Queensland - Australia.
- [167] Canha da Piedade, A.; Cunha, L., "Um Edifício Escolar Integrando Técnicas Solares Passivas". 2º Congresso Ibérico de Energia Solar. Lisboa, 1984.
- [168] Água Quente Solar para Portugal, ADENE/DGE/INETI, 1ª edição - Lisboa, Novembro 2001.
- [169] Patrício A., "Avaliação de Componentes Solares Passivos em Portugal: o Caso de estufas", Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, IST, 1997.
- [170] FORUM "Energias Renováveis em Portugal" - Relatório Síntese, ADENE/INETI, 1ª Edição - Lisboa, Novembro 2001.
- [171] Maldonado, E. A.; Fernandes, E. O.; Gonçalves, H., "Casa Termicamente Optimizada: A Living Laboratory in Oporto. Building Research and Practice". Vol. 15, number 4, July/August 1987.
- [172] Gonçalves, H.; Cabrito, P.; Oliveira, M.; Patrício, A., "Edifícios Solares Passivos em Portugal", INETI, Lisboa 1997.
- [173] Collares Pereira, M., "Energias Renováveis, a Opção Inadiável", SPES - Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Lisboa 2000.
- [174] Segunda Newsletter referente ao Programa de Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), Edição DGE, Março 2003.
- [175] Gonçalves, H., "Comportamento de Sistemas Solares Passivos em Edifícios", Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, FEUP, 1986.

- [176] Sociedade Portuguesa de Energia Solar. [Consult. 05 Março 2005]. Disponível em <http://www.SPES.pt>.
- [177] Comunidade de Informação para o Sector Terciário. [Consult. 06 Março 2005]. Disponível em <http://www.metaong.info>.
- [178] Intelligent Energy – Europe; Global Work Programme 2003-2006; 15 October 2003.
- [179] Lanham, A.; Gama, P.; Braz, R., “Arquitectura Bioclimática – Perspectivas de Inovação e Futuro” – Seminário de Inovação, IST, Lisboa, Junho 2004.
- [180] Prémios DGE 2003: Eficiência Energética em edifícios.
- [181] Bradshaw, V.; “Building control systems”; John Wiley and Sons, Inc.; New York, 1993.
- [182] Maldonado, E., “Grandes desafios nos transporte e edifícios” in “Energia Solar – Revista de Energias Renováveis e Ambiente” nº49, Julho/Dezembro de 2001.
- [183] Paul, J. K., “Passive Solar Energy Design and Materials”; Noyes Data Co.; Park Ridge (N.J.), 1979.
- [184] FABUTE – Faculty of Architecture of Budapest University of Technology and Economics Fundamentals of Building; “Physics and Fundamentals of Solar Architecture”; 2003 [Consult. 06 Abril 2005]. Disponível em <http://www egt.bme.hu/index.htm>.
- [185] CSTB, “Règles Th-BV, règles de calcul du coefficient de besoins de chauffage des logements”; cahiers du centre scientifique et technique du bâtiment, livraison 291, cahier 2258; Paris, Juillet-Août, 1988.
- [186] CSTB, “Règles Th-BV, règles de calcul du coefficient de besoins de chauffage des logements - annexes”; cahiers du centre scientifique et technique du bâtiment, livraison 292, cahier 2274; Paris, Septembre, 1988.
- [187] Colás, José Casanova, “Curso de Energia Solar”, Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones; Valladolid 1987.
- [188] Schittich, Christian, “Building Skins – Concepts, Layers, Materials”; Birkhäuser; Edition Detail; München, 2001.
- [189] Balcomb, S.; et al, “Normes pratiques per al disseny i càlcul de sistemes solars passius a Catalunya”; Seminari sobre energia solar en els edificis; Barcelona, Novembre 1983.
- [190] Antunes, P., “ERSE – Estudo sobre o sector eléctrico e ambiente, 1º relatório – impactes ambientais do sector eléctrico”, 2000.
- [191] Donald Watson, Faia, “Who was the first solar architect?”; Proceedings of PLEA 98; James & James Science Publishers Ltd.; Lisbon, Portugal, June 1998.
- [192] Olgyay, Victor, “Arquitectura y clima - Manual de diseño bioclimático para Arquitectos y Urbanistas”; Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 1998.
- [193] Veiga de Oliveira, Ernesto; Galhano, Fernando, “Arquitectura Tradicional Portuguesa”; 4ª Edição; Publicações D. Quixote; Lisboa, 2000.
- [194] Ribeiro, Orlando; Lautensach, Hermann; Daveau, Suzanne (Comentários e actualização), “Geografia de Portugal”, Volume 1 – A posição geográfica e o território; Edições João Sá da Costa; Lisboa, 1987.
- [195] Keesing, Felix M., “Antropologia Cultural” I; Ed Fundo de Cultura; Rio de Janeiro, 1961.
- [196] Pinho, Fernando F. S., “Paredes de Edifícios Antigos em Portugal”; LNEC; Lisboa, 2000.
- [197] AAP – Associação dos Arquitectos Portugueses, “Arquitectura Popular em Portugal”, Lisboa, 1988.

- [198] Sousa, H., "Melhoria do Comportamento Térmico e Mecânico das Alvenarias por Actuação na Geometria dos Elementos. Aplicação a Blocos de Betão de Argila Expandida". Tese de Doutoramento. FEUP, Porto, 1996.
- [199] OCDE, "Science and Innovation Policy – Key Challenges and Opportunities", OCDE, Paris, 2004.
- [200] Brundtland Report: [Consult. 06 Abril 2005]. Disponível em <http://www.erf.es/eng/empresa/brundtland.html>.
- [201] Gonçalves, H. et al, "Ambiente Construído, Clima Urbano e Utilização Racional de Energia nos edifícios da cidade de Lisboa", INETI, 2004.
- [202] Pinto, A., "Factor solar de elementos de preenchimento de caixilharias", LNEC, Lisboa, 1999.
- [203] Lanzinha, J.C., "Propriedades Higrotérmicas de Materiais de Construção". Dissertação de mestrado, Coimbra, LFC/FCTUC, 1998.
- [204] Thermal Comfort, INNOVA – Air Tech Instruments, Denmark, [Consult. 06 Abril 2005]. Disponível em <http://www.innova.dk>.
- [205] Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). DLº129/02, de 11 de Maio.
- [206] Ordem dos Engenheiros e Sociedade Portuguesa de Acústica, Curso "Regulamentação Acústica nos Edifícios", Organização da Ordem dos Engenheiros e Sociedade Portuguesa de Acústica, Porto, 28 a 31 de Janeiro de 2003.
- [207] CIBSE, Environmental Design. CIBSE Guide A, Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 1999.
- [208] Pinto, Armando, "Sistemas de Climatização e Ventilação Mecânica – Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos", Lisboa, LNEC, 2000.
- [209] Ramos, C. et al, "Indoor Air quality in 30 Portuguese Office Buildings", 8th Healthy Buildings Conference, Lisbon, Portugal, 2006.
- [210] WHO, Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition, World Health Organization, Copenhagen, 2000.
- [211] Valores Limite e Limiares de Alerta para as Concentrações de Determinados Poluentes no Ar Ambiente. DLº111/2002, 16 de Abril.
- [212] ECA, Total volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, Report. Nº 19, European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1997.
- [213] Valores Limite para o Teor Total de COV que pode ser Utilizado em Determinadas Tintas e Vernizes e em Produtos de Retoque de Veículos. DLº181/2006, 6 de Setembro.
- [214] Carvalho, F. et al, "Exposure to Ionizing Radiation and Dangerous Substances inside Buildings Related to Construction Products", 8th Healthy Buildings Conference, Lisbon, Portugal, 2006.
- [215] ECA, Biological Particles in Indoor Environments, Report. Nº 12, European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1993.
- [216] Cano, M., "Contaminação Microbiológica do Ar Interior", ASHRAE. Portugal Chapter. 2.º Seminário 2006: Ventilação e Qualidade do Ar, 14 de Julho, Lisboa, Portugal, 2006.
- [217] Maroni, M.; Seifert, B.; Lindvall, T., "Indoor Air Quality". A Comprehensive Reference Book, Elsevier, 1991.

- [218] Spengler, J.; Samet, J.; McCarthy, J., "Indoor Air Quality Handbook", McGraw-Hill, 2000.
- [219] Sherman, M.; Matson, N., "Reducing Indoor Residential Exposures to Outdoor Pollutants", Technical Note 58, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 2003.
- [220] Wargocki et al, Ventilation and Health in non-residential Indoor Environments: Report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN), Indoor Air, Vol. 12, 2002.
- [221] EN ISO 13790 - Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating. CEN/ISO 2004.
- [222] Goulding, J.R., Lewis, J. O.; Steemers, T. C. - Energy in architecture. The European Passive solar handbook. Londres, Batsford Limited, 1992.
- [223] Pinto, A., "Proposta de método para cálculo dos ganhos térmicos úteis — Estação de aquecimento". Lisboa, LNEC, 2003.
- [224] Pinto, A., "Proposta de factores de obstrução para cálculo dos ganhos solares na estação de arrefecimento". Lisboa, LNEC, 2004.
- [225] Carvalho, L.C., "Exposição solar na estação de aquecimento. Duração da insolação na estação de arrefecimento". Lisboa, LNEC, 1989.
- [226] Pinto, A., "Análise das características de comportamento térmico de edifícios com fachadas-cortina. Aplicação à região de Lisboa". Dissertação de Mestrado, IST, 1997.
- [227] Pinto, A., "Factor solar de elementos de preenchimento de caixilharia. Lisboa", LNEC, 1999.
- [228] Gonçalves, H. et al., "Solar Load Ratio Portugal" – Manual de Utilização – Programa de Análise Térmica de Edifícios com Sistemas Solares Passivos, INETI, Lisboa, 1996.
- [229] CEEETA, Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos, Centro de Estudos em Economia de Energia, dos Transportes e do Ambiente, [Consult. 12 Abril 2004]. Disponível em <http://www.ceeeta.pt>.
- [230] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Ouvrages en Maçonnerie de Petits Éléments - Parois et Murs. D.T.U. 20.1. Paris, CSTB, 1995.
- [231] Ferreira, P.A., "Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios – Análise Energética Resultante da Implantação de sistemas de Ventilação Inovativos", Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 2006.
- [232] Regulamento Geral do Ruído. DL 09/2007, de 17 de Janeiro.
- [233] Santos, A.J., "Desenvolvimento de uma Metodologia de Caracterização das Condições de Iluminação Natural nos Edifícios Baseada na Avaliação (*In Situ*)". Lisboa, LNEC/FCUL, 2002. Dissertação de Mestrado.
- [234] Regime Jurídico da Urbanização e Edificação. DL 555/1999, de 16 de Setembro.

## ANEXO

### FICHAS DE VERIFICAÇÃO

**Anexo A** - Concepção Bioclimática de Edifícios

**Anexo B** - Qualidade do Ambiente Interior

**Anexo C** - Impacto Ambiental dos Edifícios

**Anexo A - Concepção Bioclimática de Edifícios****FV CBE 1.1****CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios****Indicador de Qualidade: CBE 1.1 - Caracterização da Localização do Edifício****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Caracterização do clima</b>		<b>Fonte de referência</b>
<b>a</b>	Radiação solar.		
<b>b</b>	Zona climática de Inverno (altitude/faixa litoral):		
<b>c</b>	- número de graus-dias (GD);		
<b>d</b>	- duração da estação de aquecimento.		
<b>e</b>	Zona climática de Verão:		
<b>f</b>	- temperatura externa do projecto;		
<b>g</b>	- amplitude térmica.		
<b>h</b>	Velocidade e a direcção do vento.		
<b>i</b>	Níveis e incidência de precipitação.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Caracterização do espaço urbano</b>		<b>Fonte de referência</b>
<b>a</b>	Tipo de espaço urbano.		
<b>b</b>	Localização geográfica (latitude e altitude).		
<b>c</b>	Microclima.		
<b>d</b>	Impactos aerodinâmicos.		
<b>e</b>	Questões económicas.		
<b>f</b>	Questões sociais e políticas.		
<b>g</b>	Questões Técnicas.		
<b>h</b>	Questões regulamentados (PDM, etc.).		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Caracterização do lote</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Topografia, geometria do lote, orientação e dimensão.		
<b>b</b>	Taxa de ocupação da zona, tipo de zona urbana, rural.		
<b>c</b>	Existência de vegetação (características e localização).		
<b>d</b>	Existência de edifícios adjacentes (dimensões, localização e tipo de revestimento das suas fachadas).		
<b>e</b>	Orientação e localização das vias de acesso.		
<b>f</b>	Localização de outros elementos com interesse relevante (linha de água, linha de alta tensão, etc.).		
<b>Observações:</b>			



## FV CBE 1.2

## CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios

Indicador de Qualidade: CBE 1.2 - Implantação do Edifício

## Verificação dos elementos do projecto.

A	Orientação do edifício		Elemento de Projecto
a	Identificação do tipo de edifício:		
b	- moradia unifamiliar;		
c	- edifício habitacional e misto;		
d	- edifício de serviços;		
e	- edifício industrial.		
f	Nas plantas está indicada a orientação do edifício.		
g	Cotagem das plantas.		
h	Identificação do edifício ou da fracção autónoma.		
i	Identificação e dimensões dos compartimentos do edifício.		
Observações:			

B	Sombreamento		Elemento de Projecto
a	Representação em planta e em corte a localização dos edifícios adjacentes e da vegetação existente e prevista, devidamente identificados e cotados na planta e no corte.		
b	Representação em corte da inclinação do terreno e a respectiva orientação.		
c	Relação entre a altura de uma obstrução $H$ e a distância à superfície afectada $X$ , das fachadas orientadas entre SE e SW.		
Observações:			

C	Protecção da radiação solar e a exposição às brisas frescas no Verão		Elemento de Projecto
a	Identificação das características e localização da vegetação no projecto de arranjos exteriores.		
b	Identificação das características e localização dos elementos comuns entre fracções as fracções autónomas.		
Observações:			

D	Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício		Elemento de Projecto
a	Indicação da altura do edifício.		
b	Caracterização da exposição das fachadas:		
c	- indicação da região;		
d	- identificação da rugosidade;		
e	- classe de exposição.		
Observações:			

## FV CBE 1.3

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

Indicador de Qualidade: CBE 1.3 - Ganhos Solares pelos Envidraçados

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Distribuição dos vãos envidraçados verticais</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas a localização dos vãos envidraçados.		
<b>b</b>	Indicação em corte dos vãos envidraçados.		
<b>c</b>	Indicação das dimensões dos vãos envidraçados no mapa de vãos.		
<b>d</b>	Indicação da área envidraçada por orientação.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Razão área envidraçada / área útil do compartimento</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas a localização dos vãos envidraçados.		
<b>b</b>	Indicação da área envidraçada e da área útil de pavimento.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Factor solar do vidro (<math>g_{\perp v}</math>)</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas e nos alçados a localização dos vãos envidraçados.		
<b>b</b>	Indicação do tipo de vidro.		
<b>c</b>	Indicação das características do vidro.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Factor solar do vão envidraçado (<math>g_{\perp}</math>)</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas e nos alçados a localização dos vãos envidraçados.		
<b>b</b>	Indicação do tipo de vidro.		
<b>c</b>	Caracterização do tipo de e localização protecção.		
<b>Observações:</b>			

<b>E</b>	<b>Factor de obstrução (<math>F_s</math>) no Inverno</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas e nos alçados a localização dos vãos envidraçados.		
<b>b</b>	Localização e caracterização dos elementos de sombreamento do horizonte em planta e em corte, devidamente identificados e cotados.		
<b>c</b>	Localização e caracterização dos elementos de sombreamento verticais.		
<b>d</b>	Localização e caracterização dos elementos de sombreamento horizontais.		
<b>Observações:</b>			

**FV CBE 1.4****CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios****Indicador de Qualidade: CBE 1.4 - Ganhos Solares pela Envolvente Opaca****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Características Estruturais das Paredes Exteriores</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas a localização dos vários tipos de parede existentes.		
<b>b</b>	Indicação do tipo de parede.		
<b>c</b>	Representação em desenhos de pormenor da constituição das paredes, legendada e cotada.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Ventilação das Coberturas</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação do tipo de cobertura		
<b>b</b>	Representação em desenhos de pormenor da estratégia para a ventilação das coberturas.		
<b>c</b>	Representação dos dispositivos de ventilação.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Cor da superfície exterior da envolvente opaca exterior</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos alçados localização dos vários tipos de revestimento.		
<b>b</b>	Indicação das características do revestimento (cor, textura, etc.).		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Protecção das superfícies exterior da envolvente com vegetação</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Identificação do tipo de terreno do lote.		
<b>b</b>	Identificação das características e localização da vegetação.		
<b>Observações:</b>			

**FV CBE 1.5****CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios****Indicador de Qualidade: CBE 1.5 - Elementos Especiais da Envolvente****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Orientação do sistema especial de captação</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas a localização dos vários tipos de sistemas especiais de captação, caso existam.		
<b>b</b>	Indicação da sua orientação.		
<b>c</b>	Indicação do modo de funcionamento e a sua constituição.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Constituição do sistema especial de captação</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em desenhos de pormenor da constituição do sistema especial de captação legendada e cotada.		
<b>b</b>	Caracterização de todos os elementos da parede de Trombe (tipo de vidro no exterior, dimensões da câmara-de-ar e tipo e espessura do elemento confinador).		
<b>c</b>	Caracterização de todos os elementos da estufa (tipo de vidro, tipo de estrutura e características da envolvente e tipo de ligação com os compartimento adjacentes).		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Dispositivos de circulação de ar</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Localização e característica dos dispositivos de ventilação.		
<b>b</b>	Definição do sistema de funcionamento.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Dispositivos de protecção da radiação solar no Verão</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Identificação das características e localização dos dispositivos de protecção.		
<b>b</b>	Identificação das características da vegetação.		
<b>Observações:</b>			

## FV CBE 2.1

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

Indicador de Qualidade: CBE 2.1 - Inércia Térmica Interior

## Verificação dos elementos do projecto.

A	Massa superficial útil ( $M_{si}$ ) do elemento construtivo		Elemento de Projecto
a	Caracterização e medição dos elementos da envolvente exterior, elemento do compartimento em contacto com outra fracção autónoma ou com espaços não úteis de compartimentação e representação em desenhos de pormenor (EL1).		
b	Caracterização e medição dos elementos em contacto com o solo e representação em desenhos de pormenor (EL2).		
c	Caracterização e medição dos elementos interiores do edifício (paredes divisórias, pavimentos interiores) e representação em desenhos de pormenor (EL3).		
Observações:			

B	Resistência térmica do revestimento superficial		Elemento de Projecto
a	Indicação da localização do isolante térmico.		
b	Indicação das características do revestimento das superfícies verticais e pavimentos.		
c	Indicação da localização do mobiliário ou quadros nas paredes.		
d	Indicação e características dos tectos falsos.		
e	Determinação da resistência térmica do revestimento superficial ( $R$ ).		
Observações:			

C	Distribuição da massa superficial útil em função da orientação dos compartimentos		Elemento de Projecto
a	Indicação nas plantas e nos alçados a localização compartimentos e a orientação vãos envidraçados que os servem.		
b	Indicação das áreas dos compartimentos e dos vãos envidraçados que os servem.		
Observações:			

D	Inércia térmica interior ( $I_i$ )		Elemento de Projecto
a	Cálculo e indicação da inércia térmica interior, para todos os compartimentos.		
b	Cálculo e indicação da inércia térmica interior para todo o edifício ou fracção autónoma em função da área útil de pavimento.		
Observações:			

**FV CBE 3.1****CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios****Indicador de Qualidade: CBE 3.1 - Forma do Edifício****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Factor de forma</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Medição dos elementos da envolvente exterior, elemento do compartimento em contacto com outra fracção autónoma ou com espaços não úteis.		
<b>b</b>	Indicação das dimensões dos vão envidraçados no mapa de vãos.		
<b>c</b>	Indicação do volume da área útil.		
<b>d</b>	Verificar o factor de forma obtido.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Tipo de cobertura e orientação da cobertura</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação do tipo de cobertura.		
<b>b</b>	Representação na planta da cobertura da inclinação e orientação das vertentes.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Utilização de espaços tampão (interiores)</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação da área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil (Ai).		
<b>b</b>	Indicação da área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior (Au).		
<b>c</b>	Indicar o tipo de local não aquecido.		
<b>d</b>	Indicar e justificar o valor do coeficiente $\tau$ , representa a relação da temperatura a temperatura dos locais aquecidos dos locais não aquecidos.		
<b>Observações:</b>			

**FV CBE 3.2****CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios****Indicador de Qualidade: CBE 3.2 - Iluminação Natural em Edifícios****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Factor de Luz do dia Médio (FLDM)</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas e nos alçados a localização compartimentos e a orientação vãos envidraçados que os servem.		
	Indicação das dimensões dos vão envidraçados no mapa de vãos.		
<b>b</b>	Representação da forma dos compartimentos e localização dos vãos.		
<b>c</b>	Indicação das características do revestimento das superfícies verticais, pavimento e tectos (cor, textura, etc.).		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Vista do céu</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte da localização dos edifícios adjacentes e da vegetação existente e prevista, devidamente identificados e cotados na planta e no corte.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>CrITÉrio da limitação da profundidade</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte da profundidade e a largura dos compartimentos e a altura do limite superior das janelas, devidamente identificados e cotados.		
<b>Observações:</b>			

**FV CBE 3.3****CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios****Indicador de Qualidade: CBE 3.3 - Organização Interna dos Espaços****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Distribuição da área útil de pavimento</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte da profundidade e a largura dos compartimentos, a localização dos vãos envidraçados e a sua orientação, devidamente identificados e cotados.		
<b>b</b>	Determinação da área útil de pavimento.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Zonamento térmico</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte da localização dos compartimentos e as suas ligações, devidamente identificados e cotados na planta e no corte.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Troca de calor por circulação do ar na vertical e na horizontal</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte a distribuição dos compartimentos e as suas ligações, devidamente identificados e cotados.		
<b>Observações:</b>			



## FV CBE 3.4

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

Indicador de Qualidade: CBE 3.4 - Conceção da Envolvente Opaca Vertical

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Isolamento térmico</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas a localização dos vários tipos de parede existentes.		
<b>b</b>	Indicação do tipo de parede.		
<b>c</b>	Representação em desenhos de pormenor da constituição das paredes, legendada e cotada.		
<b>d</b>	Determinação do coeficiente de transmissão térmica.		
<b>e</b>	Indicação dos valores de referência.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Compatibilidade parede / estrutura</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Constituição das paredes, desenhos de pormenor		
<b>b</b>	Indicação do tipo de tratamento das pontes térmicas.		
<b>c</b>	Indicação da ligação das paredes de alvenaria com a estrutura resistente, evitar a existência de paredes incorrectamente apoiadas.		
<b>d</b>	Indicações como as paredes exteriores são confinadas com os elementos estruturais, devidamente apoiada e travada na ligação com os pilares e ligada ao pano interior por grampeamento.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Controlo da permeabilidade ao vapor</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Resistência térmica do isolante e lâmina de ar complementar (RTI).		
<b>b</b>	Resistência térmica do pano de parede interior (RTP).		
<b>c</b>	Resistência à difusão do pano de parede interior (RDP).		
<b>d</b>	Resistência térmica do pano de parede exterior (RTM).		
<b>e</b>	Características higrométricas dos compartimentos.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Aptidão à utilização</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Os projectos de especialidade contêm informações sobre a durabilidade e aptidão à utilização: segurança contra incêndios; protecção contra o ruído, estanquidade à água.		
<b>Observações:</b>			

<b>E</b>	<b>Parede em contacto com o solo</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte o desenvolvimento e a profundidade e localização da parede.		
<b>b</b>	Representação em desenhos de pormenor da constituição das paredes em contacto com o solo, legendada e cotada.		
<b>Observações:</b>			

## FV CBE 3.5

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

Indicador de Qualidade: CBE 3.5 - Conceção da Envolvente Opaca Horizontal

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Isolamento térmico</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em desenhos de pormenor da constituição da cobertura e pavimentos, legendada e cotada.		
<b>b</b>	Determinação do coeficiente de transmissão térmica.		
<b>c</b>	Indicação dos valores de referência.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Estanquidade das ligações da cobertura com elementos salientes</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas a localização dos vários tipos de ligações salientes.		
<b>b</b>	Indicação do tratamento das ligações.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Controlo da permeabilidade ao vapor</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Resistência térmica do isolante e lâmina de ar complementar (RTI).		
<b>b</b>	Resistência térmica do pano de parede interior (RTP).		
<b>c</b>	Resistência à difusão do pano de parede interior (RDP).		
<b>d</b>	Resistência térmica do pano de parede exterior (RTM).		
<b>e</b>	Características higrométricas dos compartimentos.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Aptidão à utilização</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Os projectos de especialidade contêm informações sobre a durabilidade e aptidão à utilização: segurança contra incêndios; protecção contra o ruído, estanquidade à água.		
<b>Observações:</b>			

<b>E</b>	<b>Pavimento em contacto com o solo</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte o desenvolvimento e a profundidade e localização da parede.		
<b>b</b>	Representação em desenhos de pormenor da constituição das paredes em contacto com o solo, legendada e cotada.		
<b>Observações:</b>			

## FV CBE 3.6

## CBE – Conceção Bioclimática de Edifícios

Indicador de Qualidade: CBE 3.6 - Conceção das Portas e Janelas

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Isolamento térmico</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Caracterização dos vãos envidraçados (tipo de janela, tipo de caixilharia, tipo de vidro, espessura e preenchimento da lâmina de ar, tipo de dispositivo de oclusão).		
<b>b</b>	Determinação do coeficiente de transmissão térmica.		
<b>c</b>	Indicação dos valores de referência.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Permeabilidade ao ar da caixilharia</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação da permeabilidade ao ar da caixilharia seleccionada.		
<b>b</b>	Indicação da permeabilidade ao ar da caixilharia recomendada.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Estanquidade à água</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação da estanquidade à água da caixilharia seleccionada.		
<b>b</b>	Indicação da estanquidade à água da caixilharia recomendada.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Resistência às solicitações do vento</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação da resistência ao vento da caixilharia seleccionada.		
<b>b</b>	Indicação da resistência ao vento da caixilharia recomendada.		
<b>Observações:</b>			

## FV CBE 3.7

## CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios

Indicador de Qualidade: CBE 3.7 - Tratamento das Pontes Térmicas

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Isolamento térmico das pontes térmicas</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em desenhos de pormenor de todas as ligações entre a fachada e os restantes elementos da envolvente.		
<b>b</b>	Indicar o valor do $U_{parede}$ corrente.		
<b>c</b>	Determinar o $U_{ponte}$ térmica.		
<b>d</b>	Determinar o desenvolvimento das pontes térmicas.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Localização do isolamento térmico</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Determinação do coeficiente de transmissão térmica.		
<b>b</b>	Representação em desenhos de pormenor da constituição das paredes e dos pavimentos, legendada e cotada.		
<b>c</b>	Indicação nas plantas a localização dos vários tipos de ligações.		
<b>d</b>	Identificação do tipo de ligação.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Ligação da fachada com vãos envidraçados</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em desenhos de pormenor da ligação da fachada com os vãos envidraçados, com localização do isolante e da caixilharia, legendada e cotada.		
<b>b</b>	Determinar a resistência térmica do isolamento térmico.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Pormenores construtivos</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Ligação da fachada com torsas ou caixa de estore (caso exista).		
<b>b</b>	Ligação entre paredes e vigas.		
<b>c</b>	Ligação entre paredes e pilares.		
<b>d</b>	Ligação entre paredes e lajes de cobertura.		
<b>e</b>	Ligações entre paredes e lajes de pavimento.		
<b>f</b>	Ligação entre paredes e pavimentos enterrados.		
<b>g</b>	Montagem de caixilharia.		
<b>Observações:</b>			

**FV CBE 4.1****CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios****Indicador de Qualidade: CBE 4.1 - Trocas de Calor por Convecção****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Ventilação Natural</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Verificação da conformidade com a NP 1037-1.		
<b>b</b>	Dimensionamento da ventilação natural.		
<b>c</b>	Definição do tipo de grelha de admissão.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Taxa de renovação nominal</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Determinação da taxa de renovação em função da classe de exposição do edifício, da existência de dispositivos de admissão na fachada, a existência de caixa de estore e a classe de permeabilidade ao ar da caixilharia.		
<b>b</b>	Determinação da classe de exposição do edifício.		
<b>c</b>	Identificação do tipo de dispositivos de admissão na fachada.		
<b>d</b>	Indicação do tipo de caixa de estore.		
<b>e</b>	Identificação da classe de permeabilidade ao ar da caixilharia.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Sistemas de refrigeração passiva</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte da profundidade e a largura dos compartimentos, a localização dos vãos envidraçados e a sua orientação, devidamente identificados e cotados.		
<b>b</b>	Localização das grelhas de admissão.		
<b>Observações:</b>			

**FV CBE 4.2****CBE – Concepção Bioclimática de Edifícios****Indicador de Qualidade: CBE 4.2 - Trocas de Calor por Radiação****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Dispositivos de protecção</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas a localização dos vãos envidraçados.		
<b>b</b>	Identificação das características e localização dos dispositivos de protecção.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Dispositivos de sombreamento</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas a localização dos vãos envidraçados.		
<b>b</b>	Identificação das características e localização dos dispositivos de sombreamento.		
<b>c</b>	Identificação das características da vegetação.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Refrigeração por radiação nocturna</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto informações para caracterizar os sistemas de refrigeração por radiação nocturna, caso estejam previstos.		
<b>Observações:</b>			

**Anexo B - Qualidade do Ambiente Interior****FV QAI 1.1****QAI – Qualidade do Ambiente Interior****Indicador de Qualidade: QAI 1.1 - Qualidade Térmica****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Temperatura do ar</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nas plantas da localização e distribuição dos vãos envidraçados.		
<b>b</b>	Indicação nas plantas a organização interna dos espaços.		
<b>c</b>	Indicação nas plantas o sistema de ventilação e a localização das fontes de aquecimento/arrefecimento (caso esteja prevista a climatização).		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Correntes de ar</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o sistema de ventilação		
<b>b</b>	Determinação da taxa de renovação em função da classe de exposição do edifício, da existência de dispositivos de admissão na fachada, a existência de caixa de estore e a classe de permeabilidade ao ar da caixilharia.		
<b>c</b>	Determinação da classe de exposição do edifício.		
<b>d</b>	Identificação do tipo de dispositivos de admissão na fachada.		
<b>e</b>	Indicação do tipo de caixa de estore.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Temperatura radiante</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Caracterização dos vãos envidraçados (tipo de janela, tipo de caixilharia, tipo de vidro, espessura e preenchimento da lâmina de ar, tipo de dispositivo de protecção/oclusão).		
<b>b</b>	Determinação do coeficiente de transmissão térmica.		
<b>c</b>	Representação em desenhos de pormenor da constituição das paredes adjacentes aos vãos envidraçados, legendada e cotada.		
<b>d</b>	Determinação do coeficiente de transmissão térmica.		
<b>e</b>	Determinação da relação entre o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado e o coeficiente de transmissão térmica do elemento opaco vertical adjacente.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Temperatura do pavimento</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Caracterização do revestimento do pavimento.		
<b>b</b>	Caracterização do sistema de aquecimento com piso radiante e sistema de controlo.		
<b>Observações:</b>			

## FV QAI 1.2

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

Indicador de Qualidade: QAI 1.2 - Qualidade do Ar

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Ventilação Natural</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema de ventilação		
<b>b</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre os dispositivos do sistema de ventilação		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Estratégias de Ventilação</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre a aplicação de outras estratégias para complementar a ventilação natural.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Concentrações de referência</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema de ventilação em função do tipo de utilização dos compartimentos.		
<b>b</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre os dispositivos do sistema de ventilação.		
<b>Observações:</b>			



## FV QAI 1.3

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

Indicador de Qualidade: QAI 1.3 - Conforto Visual

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Sistemas de Iluminação</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema de iluminação em função do tipo de utilização dos compartimentos.		
<b>b</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre os dispositivos do sistema de iluminação.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Níveis de iluminância</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema de iluminação em função do tipo de actividade nos compartimentos.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Contraste</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema de iluminação em função do tipo de utilização dos compartimentos.		
<b>b</b>	Indicação das reflectâncias luminosas das superfícies.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Encandeamento</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema de iluminação em função do tipo de utilização dos compartimentos.		
<b>b</b>	Indicação das reflectâncias luminosas das superfícies.		
<b>c</b>	Indicação nas plantas a localização dos vãos envidraçados.		
<b>d</b>	Identificação das características e localização dos dispositivos de protecção.		
<b>Observações:</b>			

## FV QAI 1.4

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

Indicador de Qualidade: QAI 1.4 - Conforto Acústico

## Verificação dos elementos do projecto.

A	$D_{2m,n,w}$		Elemento de Projecto
a	Caracterização dos vão envidraçados (tipo de janela, tipo de caixilharia, tipo de vidro, espessura e preenchimento da lâmina de ar, tipo de dispositivo de oclusão e da caixa de estore).		
b	Representação em desenhos de pormenor da constituição das paredes, legendada e cotada.		
c	Caracterização dos dispositivos de admissão de ar.		
d	Determinação do índice de isolamento a sons de condução aérea, normalizado da fachada.		
Observações:			

B	$D_{n,w}$		Elemento de Projecto
a	Representação em desenhos de pormenor da constituição das paredes e dos pavimentos, legendada e cotada.		
b	Determinação do índice de isolamento a sons de condução aérea.		
Observações:			

C	$L'_{n,w}$		Elemento de Projecto
a	Representação em planta e em corte da localização dos compartimentos e as suas ligações, devidamente identificados e cotados na planta e no corte.		
b	Representação em desenhos de pormenor da constituição dos pavimentos, legendada e cotada.		
c	Determinação do índice de isolamento a sons percussão.		
Observações:			

D	$L_{Ar}$		Elemento de Projecto
a	Representação em planta e em corte da localização dos compartimentos onde estão instalados os equipamentos colectivos.		
b	Os elementos escritos do projecto devem indicar as características do revestimento dos compartimentos.		
c	Os elementos escritos do projecto devem indicar as características dos equipamentos.		
Observações:			

## FV QAI 2.1

## QAI – Qualidade do Ambiente Interior

Indicador de Qualidade: QAI 2.1 - Sistemas de Controlo e Gestão

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Controlo dos Sistemas de Iluminação</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Representação em planta e em corte da localização dos sistemas de controlo da iluminação dos compartimentos.		
<b>b</b>	Caracterização dos sistemas de controlo.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Controlo da Incidência da radiação Solar</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Caracterização dos vãos envidraçados (tipo de janela, tipo de caixilharia, tipo de vidro, espessura e preenchimento da lâmina de ar, tipo de dispositivo de protecção/oclusão).		
<b>b</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre os dispositivos do controlo.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Controlo dos níveis de renovação de ar</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema de ventilação em função do tipo de utilização dos compartimentos.		
<b>b</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre os dispositivos de controlo do sistema de ventilação.		
<b>Observações:</b>			

**Anexo C - Impacto Ambiental dos Edifícios****FV IAE 1.1****IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios****Indicador de Qualidade: IAE 1.1 - Necessidades Anuais Globais de Energia****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Nic</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação no estudo de comportamento térmico do edifício do valor das necessidades nominais de aquecimento e das necessidades nominais de aquecimento máximas.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Nvc</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação no estudo de comportamento térmico do edifício do valor das necessidades nominais de arrefecimento e das necessidades nominais de arrefecimento máximas.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Nac</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação no estudo de comportamento térmico do edifício do valor das necessidades de energia para preparação da água quente sanitária e o limite máximo para as necessidades de energia para preparação da água quente sanitária nominais de aquecimento máximas.		
<b>b</b>	Indicação do tipo de equipamentos utilizado e o tipo de energia.		
<b>c</b>	Indicação da contribuição de sistemas solares de preparação de da água quente sanitária.		
<b>d</b>	Indicação da contribuição de outros sistemas de preparação de da água quente sanitária.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Ntc</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação no estudo de comportamento térmico do edifício do valor das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária e o limite máximo admissível de energia primária.		
<b>b</b>	Indicação do tipo de equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e de arrefecimento e o tipo de energia.		
<b>Observações:</b>			

## FV IAE 2.1

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

Indicador de Qualidade: IAE 2.1 - Sistemas Mecânicos de Climatização

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Condições de dimensionamento</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento dos sistemas mecânicos de climatização em função do tipo de utilização dos compartimentos.		
<b>b</b>	Representação em planta e em corte da localização da caldeira, do circuito de distribuição, localização dos radiadores e dos sistemas de controlo.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Seleção das fontes de energia térmica</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Justificação da selecção das fontes de energia para um edifício.		
<b>b</b>	Características de funcionamento (aquecimento ou arrefecimento) e o tipo de energias disponíveis na zona.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Distribuição eficiente da energia térmica</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Justificação da selecção de estratégia de distribuição de energia eléctrica terá sempre de ser efectuada tendo em atenção as necessidades dos compartimentos.		
<b>b</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento dos sistemas mecânicos de climatização e dos sistemas de controlo em função do tipo de utilização dos compartimentos.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Plano de Manutenção</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Na concepção dos sistemas de climatização devem seleccionar-se materiais e componentes duráveis e prever-se o acesso a estes para a sua limpeza, manutenção e eventual substituição em caso de avaria.		
<b>Observações:</b>			

## FV IAE 2.2

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

Indicador de Qualidade: IAE 2.2 - Sistemas de Ventilação

## Verificação dos elementos do projecto.

A	Condições de Dimensionamento		Elemento de Projecto
a	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento dos sistemas de ventilação em função das necessidades dos compartimentos.		
b	Representação em planta e em corte da localização dos ventiladores, do circuito de alimentação, localização das grelhas de admissão, de exaustão e das condutas de extracção.		
Observações:			

B	Consumo de energia pelos ventiladores e sistemas de controlo		Elemento de Projecto
a	Indicação dos consumos de energia pelos ventiladores e sistemas de controlo.		
b	Características de funcionamento (permanente, durante a realização de actividades ou utilização).		
Observações:			

C	Plano de manutenção		Elemento de Projecto
a	Na concepção dos sistemas de climatização devem seleccionar-se materiais e componentes duráveis e prever-se o acesso a estes para a sua limpeza, manutenção e eventual substituição em caso de avaria.		
Observações:			

## FV IAE 2.3

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

Indicador de Qualidade: IAE 2.3 - Sistemas de Iluminação

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Sistemas de iluminação combinados</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento dos sistemas de iluminação em função das necessidades dos compartimentos e da contribuição da iluminação natural.		
<b>b</b>	Representação em planta e em corte da localização dos dispositivos de controlo, dos circuitos de iluminação e dos pontos de luz.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Dispositivos de iluminação</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento dos sistemas de iluminação em função das necessidades dos compartimentos e da contribuição da iluminação natural.		
<b>b</b>	Representação em planta e em corte da localização dos dispositivos de controlo, dos circuitos de iluminação e dos pontos de luz.		
<b>c</b>	Indicação do tipo de lâmpada.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Dispositivos de controlo</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento dos sistemas de iluminação em função das necessidades dos compartimentos e da contribuição da iluminação natural.		
<b>b</b>	Representação em planta e em corte da localização dos dispositivos de controlo, dos circuitos de iluminação e dos pontos de luz.		
	Indicação do tipo de interruptores.		
<b>Observações:</b>			

## FV IAE 2.4

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

Indicador de Qualidade: IAE 2.4 - Energias Renováveis

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Sistema solar térmico para AQS</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema solar térmico para AQS em função do número de ocupantes e da localização do edifício.		
<b>b</b>	Representação em planta e em corte da localização dos elementos que constituem o sistema.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Sistema solar fotovoltaico</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico em função da localização do edifício.		
<b>b</b>	Representação em planta e em corte da localização dos elementos que constituem o sistema.		
<b>c</b>	Apresentação de um estudo de viabilidade para o sistema.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Biomassa, eólica, geotérmica, mini-hidrogeradores</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento de sistemas com utilização de energia renováveis.		
<b>b</b>	Apresentação de um estudo de viabilidade para o sistema.		
<b>Observações:</b>			

<b>D</b>	<b>Sistema de recuperação de calor</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação nos elementos escritos e desenhados do projecto de informações sobre o dimensionamento de sistemas com recuperação de calor.		
<b>b</b>	Apresentação de um estudo de viabilidade para o sistema.		
<b>Observações:</b>			



**FV IAE 2.5****IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios****Indicador de Qualidade: IAE 2.5 – Equipamentos / Electrodomésticos****Verificação dos elementos do projecto.**

<b>A</b>	<b>Certificação dos Equipamentos</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação da classe energética dos equipamentos ou informação sobre os consumos de energia		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Controlo do Funcionamento</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação dos consumos quando os equipamentos estão em stand-by.		
<b>b</b>	Indicação do modo como os equipamentos estão ligados à rede.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Reciclagem dos Equipamentos</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação de como e quais os componentes dos equipamentos podem ser reciclados.		
<b>b</b>	Indicação de como se podem actualizar os componentes dos equipamentos.		
<b>Observações:</b>			

## FV IAE 3.1

## IAE - Impacto Ambiental dos Edifícios

Indicador de Qualidade: IAE 3.1 - Materiais de Construção

## Verificação dos elementos do projecto.

<b>A</b>	<b>Escolha dos Materiais</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação da origem dos materiais, aplicando materiais existente na região.		
<b>b</b>	Indicação que todos os materiais aplicados devem ser certificados.		
<b>c</b>	Aplicação de materiais com baixa energia incorporada na transformação.		
<b>Observações:</b>			

<b>B</b>	<b>Reciclagem dos Materiais</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Indicação de como e quais os materiais que podem ser reciclados.		
<b>b</b>	Indicação de como e quais os materiais que podem ser reutilizados.		
<b>Observações:</b>			

<b>C</b>	<b>Novas Tecnologias</b>		<b>Elemento de Projecto</b>
<b>a</b>	Aplicação novas tecnologias depois de terem sido testadas com bons resultados.		
<b>Observações:</b>			