

# **A NORMA *PASSIVHAUS* EM CLIMAS QUENTES DA EUROPA: DIRECTRIZES DE PROJECTO PARA CASAS CONFORTÁVEIS DE BAIXO CONSUMO ENERGÉTICO**

Parte 1. Revisão de casas confortáveis de  
baixo consumo energético





# **A NORMA *PASSIVHAUS* EM CLIMAS QUENTES DA EUROPA: DIRECTRIZES DE PROJECTO PARA CASAS CONFORTÁVEIS DE BAIXO CONSUMO ENERGÉTICO**

Parte 1. Revisão de casas confortáveis de baixo consumo energético



Versão Inglesa editada e compilada por: Brian Ford, Rosa Schiano-Phan e Duan Zhongcheng, School of the Built Environment, University of Nottingham  
Versão Portuguesa editada por: Helder Gonçalves e Luisa Brotas, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.

O trabalho descrito neste relatório foi executado sob um contracto como parte do projecto financiado pela EU intitulado Passive-On ('Casas Passivas com potencial de Mercado com Conforto de Inverno e de Verão' EIE/04/091/S07.38644, 2004-'07). As opiniões expressas neste relatório são as dos parceiros de projecto e não reflectem necessariamente a opinião da Comissão Europeia.

## PARCEIROS

Politecnico di Milano, Italy  
Dipartimento di Energetica (e-ERG)  
Piazza Leonardo da Vinci 32  
20133 Milano  
*Andrew Pindar (Co-ordinator)*  
*Lorenzo Pagliano*

University of Nottingham, UK  
School of the Built Environment  
University Park  
Nottingham NG7 2RD  
*Brian Ford*  
*Rosa Schiano-Phan*

AICIA, Spain  
Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía  
Escuela Superior de Ingenieros. Camino de los Descubrimientos s/n  
E-41092, Sevilla  
*Servando Alvarez*  
*Jose' Manuel Salmeron Lissen*

ICE, France  
International Conseil Energie  
6 rue de Verdun  
93450 Ile-Saint-Denis  
*Sophie Attali*  
*Dominique Maigrot*

Natural Works, Portugal  
Projectos de Engenharia  
Calcada Marques de Abrantes N48 2D  
1200-719 Lisboa  
*Maria Malato Lerer*  
*Guilherme Carrilho da Graça*

INETI, Portugal  
Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.  
Estrada do Paço do Lumiar  
1648-038 Lisboa  
*Helder Gonçalves*  
*Luisa Brotas*

## SUB-CONTRACTANTE PRINCIPAL

Passivhaus Institut  
Rheinstraße 44/46  
D-64283 Darmstadt  
*Juergen Schnieders*

## AGRADECIMENTOS

Este documento é resultado do trabalho de todos os parceiros e sub-contratante principal do projecto Passive-On. Em adição gostaríamos de expressar um agradecimento aos parceiros industriais pela sua contribuição inestimável para este projecto: Nicola Agnoli, Rockwool Italia; Daniela Origgi, BASF; Massimo Gattolin, Provincia di Venezia.

Um especial agradecimento é dirigido aos revisores do texto que amavelmente deram os seus comentários a uma versão inicial deste relatório: Simos Yannas, Architectural Association; Mark Brinkley, Jornalista; Gavin Hodgson, BRE; Julian Marsh, Arquitecto; Derek Trowell, Arquitecto.

A NORMA PASSIVHAUS EM CLIMAS QUENTES DA EUROPA:  
DIRECTRIZES DE PROJECTO PARA CASA CONFORTÁVEIS DE BAIXO  
CONSUMO ENERGÉTICO  
Parte 1. Revisão de casas de baixo consumo energético

Julho 2007

**ÍNDICE**

INTRODUÇÃO .....	1
1 <i>PASSIVHAUS</i> PARA CLIMAS TEMPERADOS .....	3
1.1 O QUE É UM PROJECTO PASSIVO? .....	3
1.2 A NORMA <i>PASSIVHAUS</i> .....	4
2 CONFORTO INTERIOR .....	6
2.1 MODELOS DE CONFORTO NO VERÃO .....	6
2.2 CONFORTO INTERIOR E A NORMA <i>PASSIVHAUS</i> .....	8
3 PROPOSTAS <i>PASSIVHAUS</i> .....	9
3.1 INTRODUÇÃO .....	9
3.2 <i>PASSIVHAUS</i> NO REINO UNIDO .....	10
3.2.1 A casa .....	10
3.2.2 A estratégia .....	11
3.2.3 Desempenho: energia e conforto .....	12
3.3 <i>PASSIVHAUS</i> EM ESPANHA .....	13
3.3.1 A casa .....	13
3.3.2 A estratégia .....	14
3.3.3 Desempenho: energia e conforto .....	14
3.4 <i>PASSIVHAUS</i> EM PORTUGAL .....	16
3.4.1 A casa .....	16
3.4.2 A estratégia .....	17
3.4.3 Desempenho: energia e conforto .....	17
3.5 <i>PASSIVHAUS</i> EM ITÁLIA .....	19
3.5.1 A casa .....	19
3.5.2 A estratégia .....	20
3.5.3 Desempenho: energia e conforto .....	21
3.6 <i>PASSIVHAUS</i> NA FRANÇA .....	22
3.6.1 A casa .....	22
3.6.2 A estratégia .....	23
3.6.3 Desempenho: energia e conforto .....	24
4 APLICABILIDADE DO CLIMA .....	25
4.1 INTRODUÇÃO .....	25
4.2 APLICABILIDADE DO CLIMA .....	25
4.3 INDÍCE DE SEVERIDADE CLIMÁTICA .....	26
4.4 MAPAS DE POUPANÇA ENERGÉTICA .....	27
5 CUSTO DA CASA <i>PASSIVHAUS</i> .....	30
5.1 INTRODUÇÃO .....	30
5.2 CUSTO INICIAL & CUSTOS EXTRA .....	30
5.3 ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA .....	31
6 BIBLIOGRAFIA .....	32



## INTRODUÇÃO

O sucesso obtido pelo Instituto Passivhaus com o desenvolver e implementar de um método para o projecto de uma casa, que não só é energeticamente eficiente mas também cumpre os objectivos de conforto durante o ano, naturalmente suscitou a questão de este método poder ser aplicado em outros países e climas.

Esta questão é central para dois programas de investigação e disseminação financiados pelo Programa IEE da Comissão Europeia (os projectos 'Passive-On' e o 'PEP'). O projecto 'Passive-On' (<http://www.passive-on.org/en/>) fundamentalmente analisa a questão da sua aplicabilidade a países do sul da Europa (Portugal, Espanha e Itália), mas também está associado países como o Reino Unido e a França como climas 'temperados'.

Nos países quentes do sul da Europa, as necessidades de aquecimento são geralmente inferiores às dos países nórdicos da Europa. Isto não está só relacionado com o número de 'graus dias' de uma localização particular mas também na quantidade de radiação solar. Este assunto foi abordado na definição de 'Índice de Severidade Climática' (descrito no Capítulo 4) que pode ser usado como base para catalogar e comparar os benefícios do aumento do nível de isolamento ou as especificações dos vidros em diferentes partes da Europa.

Os termos 'Passivo' e '*Passivhaus*' podem originar uma confusão, pelo que os parceiros do projecto (Itália, França, Alemanha, Espanha, Portugal e o Reino Unido) acordaram na distinção entre sistemas 'Passivos' de projecto e a norma '*Passivhaus*' (Capítulo 1). Mais ainda, atendendo a que o conforto térmico é tão central para o conceito da '*Passivhaus*' como a eficiência energética, uma revisão sucinta da análise de conforto da norma Passivhaus é incluída no Capítulo 2.

Cada parceiro do projecto apresenta uma proposta de casa 'de custo aceitável' (descrita no Capítulo 3) que tem a preocupação de cumprir a norma Passivhaus em termos de ambos os critérios relativos ao consumo energético e ao conforto térmico. Conquanto as propostas estão associadas aos países dos diferentes parceiros, foram elaboradas para uma determinada região, não se devendo concluir que as propostas são também apropriadas para outras localizações do país. De facto, as variações

climáticas mesmo dentro do país podem ser bastante grandes, assim, o Índice de Severidade Climática (CSI) pode permitir que analogias ou comparações com sentido possam ser feitas.

Compreende-se que não é só o clima que varia na Europa, mas a natureza do mercado da habitação, os custos de construção e as práticas construtivas variam substancialmente. Contudo, pode ser útil efectuar comparações entre os custos das diferentes estratégias de projecto nos diferentes países (Capítulo 5).

Na generalidade pode-se concluir que quando o custo de vida de um projecto é efectuado, então a norma *Passivhaus* da eficiência energética e do conforto térmico podem ser atingidas nos países da Europa em análise. (fig. 1.0).



Fig. 1.0 – Países parceiros do projecto 'Passive-On'





# 1 PASSIVHAUS PARA CLIMAS TEMPERADOS

## 1.1 O QUE É UM PROJECTO PASSIVO?

A época dos combustíveis fósseis baratos, que tem perdurado aproximadamente nos últimos 100 anos, poderá estar próxima do fim. Durante estes anos, numerosos aparelhos mecânicos e eléctricos foram desenvolvidos de modo a aquecer, arrefecer, ventilar e iluminar o interior dos edifícios. Uma nova classe de profissionais, os engenheiros dos sistemas de edifícios, surgiu para projectar e especificar apropriados sistemas 'activos' (mecânicos) para os diferentes tipos de edifícios. Um dos pressupostos de um interior mecanicamente climatizado é que a envolvente do edifício deixa de ser o principal moderador do clima exterior no ambiente interior, e os arquitectos abdicaram da responsabilidade do controlo do ambiente interior para o engenheiro. Contudo, na sequência das crises do petróleo de 1973, muitos arquitectos e engenheiros entenderam o interesse em reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e desenvolveram um renovado interesse no rico, variado e subtil vocabulário de uma arquitectura que consegue moderar as condições interiores com as estações do ano por meio do desenho de projecto. Isto levou à redescoberta dos princípios do controle ambiental através da manipulação da forma do edifício, a disposição das aberturas e o desempenho térmico dos materiais: o chamado desenho 'passivo'.

O projecto passivo procura maximizar os benefícios térmicos e ambientais que podem surgir através de uma consideração pensada do desempenho dos componentes e sistemas do edifício de modo a minimizar as perdas no inverno e os ganhos de calor no verão. Um desenho 'passivo' puro não considera sistemas activos. Contudo isto não é por vezes o mais apropriado, tendo em consideração que a incorporação de sistemas mecânicos e eléctricos (principalmente com a função de controlo) é normalmente desejável de modo a permitir que os elementos 'passivos' funcionem correctamente.

O 'Desenho Passivo' é assim um termo genérico, e é usado para definir uma abordagem estratégica ao projecto que é aberta a interpretação por diferentes pessoas em diferentes localidades e climas, com o objectivo de minimizar o consumo energético de combustíveis fósseis para aquecimento, ventilação, iluminação e arrefecimento. No norte da Europa, as necessidades de aquecimento ainda são as mais significativas, ao contrário no sul da Europa onde as necessidades para aquecimento no sector

residencial são reduzidas, enquanto que as necessidades de arrefecimento mecânico têm aumentado rapidamente. Surge assim um aumento no interesse em estratégias para atingir tanto o 'aquecimento passivo' como 'arrefecimento passivo'.

Estratégias de projecto para aquecimento e arrefecimento passivo baseiam-se na exploração de recursos naturais (ex.: o sol, o céu nocturno). Muito da investigação nesta área foi feita nos Estados Unidos nos anos setenta sobre a administração de Carter. Nos anos oitenta, a Europa continuou e desenvolveu mais ainda esta investigação principalmente sobre financiamento da Comissão Europeia em programas de I&D (Investigação e Desenvolvimento). É neste contexto que o conceito *Passivhaus* foi desenvolvido.



Fig. 1. 1 – Uma casa *Passivhaus* na Alemanha



Fig. 1. 2 – Paredes brancas e ruas estreitas do bairro de Santa Cruz em Sevilha, na Espanha. Duas de várias estratégias adoptadas na arquitectura tradicional para manter as casas frescas no verão.

## 1.2 A NORMA PASSIVHAUS

Em 1991 Wolfgang Feist e Bo Adamson aplicaram o método do desenho passivo a uma casa em Darmstadt, com o objectivo de proporcionar um caso estudo de uma casa de baixo consumo a um custo aceitável para o clima da Alemanha. O projecto mostrou ser um sucesso tanto em termos de consumo energético e das condições de conforto que os mesmos sistemas passivos foram aplicados uma vez mais, numa segunda construção em 1995 em Groß-Umstadt.

Em 1995, baseado na experiência obtida nos primeiros casos estudo, Feist classificou os conceitos passivos adoptados nas casas de Darmstadt e Groß-Umstadt na **norma Passivhaus**. A norma consiste fundamentalmente de três requisitos:

- um limite de energia (aquecimento e arrefecimento)
- um requerimento de qualidade (conforto térmico)
- um conjunto definido de sistemas passivos preferenciais que permitem cumprir o limite energético e de qualidade sem um custo elevado

Já incluía todas as características do que é hoje considerada a norma Alemã *Passivhaus*: elevados níveis de isolamento, incluindo pontes térmicas reduzidas e janelas bem isoladas, espaços com infiltrações de ar reduzidas e um sistema de ventilação com um sistema eficiente de recuperação de calor. Para os climas centrais da Europa, verificou-se que estas melhorias em eficiência energética resultaram na possibilidade de simplificar o sistema de aquecimento. É possível manter o edifício confortável com o aquecimento do ar que é necessário fornecer ao edifício para garantir uma boa qualidade do ar interior. Assim, todo o sistema de distribuição de calor pode ser reduzido a um pequeno sistema com recuperador de calor. Esta solução resulta num sistema com alta eficiência energética e um bom custo/benefício: considerando o ciclo de vida do edifício, uma casa Passivhaus não necessita de ser mais cara que um apartamento novo convencional (ver capítulo 5).

No total mais de 8.000 casas foram construídas na Alemanha e na Europa central (na Áustria, Bélgica, Suíça e Suécia) cumprindo a actual norma *Passivhaus*. Para a grande maioria dos profissionais da Alemanha e para grande parte do público em geral uma Casa Passiva é associada à norma *Passivhaus* mas a sua aplicabilidade em outras regiões da Europa ainda necessita de ser testada.



Fig. 1. 3 – Casa unifamiliar *Passivhaus* em Ganderkesee, Norte da Alemanha.  
(Arquitecto: team 3, Oldenburg)

A definição de uma norma para casas de baixo consumo oferece um número de vantagens para ambos a indústria da construção e para o mercado Alemão em particular. De facto, foi uma das principais razões para a explosão de casas de baixo consumo energético na Alemanha. De seguida apresentam-se os cinco pontos que define a **actual norma Alemã Passivhaus para os países da Europa central**:

- Critério de aquecimento: As necessidades úteis de aquecimento não podem exceder o limite de 15 kWh por m<sup>2</sup> por ano de área útil.
- Critério de energia primária: consumo de energia primária de todos os serviços energéticos, incluindo o aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias e os equipamentos eléctricos não deverá exceder o limite de 120 kWh por m<sup>2</sup> por ano de área útil.
- Estanquidade do ar: A envolvente do edifício deve ter um teste de pressurização de acordo com a norma EN 13829 não superior a 0.6 h<sup>-1</sup>.

- Critério de conforto da temperatura interior no inverno: A temperatura operativa do espaço pode ser mantida acima de 20 °C no inverno, utilizando a referenciada quantidade de energia.
- Todos os cálculos dos consumos energéticos são calculados com o software Pacote de Planeamento de Casa Passiva (PHPP) e são relativos à área útil, ex. a soma de todas as áreas úteis de todos os compartimentos habitáveis.

Contudo, apesar de na Europa central (ex. Alemanha, Áustria, Norte de Itália, etc.) o desenho passivo ser crescentemente associado com a norma Passivhaus, tal não é necessariamente o caso nos países Sul da Europa (ex. Espanha, Itália, Portugal e Grécia). Aí, para a maioria dos arquitectos uma casa passiva geralmente significa qualquer casa construída segundo os princípios do desenho solar passivo. Mais ainda, muitos profissionais da área discordam com o associar do termo genérico “passivo” com uma norma específica de edifícios, na qual se propõe um sistema activo de ventilação.

**O consórcio ‘Passive-On’ elaborou assim uma proposta de revisão para a aplicação da norma *Passivhaus* em climas quentes da Europa** tomando em consideração as variações climáticas e filosóficas mencionadas anteriormente. Os seis pontos que definem a norma Passivhaus proposta para Climats quentes da Europa são enumerados de seguida:

- Critério de aquecimento: As necessidades úteis de aquecimento não podem exceder o limite de 15 kWh por m<sup>2</sup> por ano de área útil.
- Critério de arrefecimento: As necessidades de calor sensível úteis, para o arrefecimento não devem exceder o limite de 15 kWh por m<sup>2</sup> por ano de área útil.
- Critério de energia primária: A energia primária para todos os consumos, incluindo o aquecimento ambiente e de águas quentes sanitárias, arrefecimento, iluminação e outros equipamentos eléctricos não exceda o limite de 120 kWh por m<sup>2</sup> por ano da área útil.

Estanquidade ao ar: Se a qualidade do ar interior e o elevado nível de conforto térmico é obtido por meio de um sistema mecânico de ventilação, a envolvendo do edifício deve cumprir o teste de pressurização (50 Pa), de acordo com a norma EN 13829, em não mais de 0.6 rph<sup>-1</sup>. Em localizações com condições de projecto com temperaturas acima de 0 °C, o teste de pressurização com um limite de 1.0 rph<sup>-1</sup> é normalmente suficiente para atingir o critério de aquecimento.

- O critério de conforto da temperatura interior durante o inverno: A temperatura operativa dos espaços deve ser mantida acima dos 20 °C no inverno, utilizando os acima mencionados consumos de energia.
- Critério de conforto da temperatura dos espaços durante a estação de verão: Na estação quente, a temperatura operativa dos espaços permanece entre a banda de conforto definida na norma EN 15251. Se existir um sistema principal de arrefecimento activo, a temperatura operativa do espaço consegue ser mantida abaixo de 26 °C.

Esta definição, especialmente em relação ao arrefecimento, será revista quando for adquirida maior experiência com casas *Passivhaus* em climas quentes.

## 2 CONFORTO INTERIOR

As discussões sobre edifícios de baixo consumo podem negligenciar alguns aspectos importantes do desenho dos edifícios. De facto, deve ser lembrado que o uso de energia é um meio e não um fim. Uma das mais importantes funções é que o edifício proporcione um ambiente confortável para trabalhar, viver ou de lazer.

Apesar das casas no sul da Europa ainda necessitarem de ser aquecidas no inverno, há também a necessidade de garantir o conforto no verão, o que em alguns casos pode mesmo ser o factor predominante. Tal como referido na secção anterior a norma *Passivhaus* foi recentemente revista para se tornar pertinente e útil para as necessidades específicas de climas quentes. Uma das maiores alterações com relação à anterior definição, que estava relacionada com climas da Europa Central, foi assim a introdução explícita de requisitos para condições de conforto de verão.

Para se atingir a norma *Passivhaus* é agora necessário que as temperaturas interiores no verão, mais especificamente a temperatura operativa, permaneçam inferior ao limite máximo de temperaturas definido na norma EN 15251.

De acordo com a norma EN 1525, temperaturas de conforto aceitáveis actualmente dependem do sistema utilizado para obter o conforto no verão. Se o arrefecimento é fornecido por um sistema activo então as temperaturas interiores devem respeitar os limites definidos no modelo de Fanger. Por outro lado se o conforto de verão é obtido com estratégias de arrefecimento passivo então o limite superior é definido pelo modelo adaptativo.

A diferença entre os modelos de Fanger e Adaptativo é apresentada sucintamente na secção seguinte e em maior detalhe na segunda parte das directrizes. Contudo, deixando de lado a actual temperatura interior de conforto definida nos diferentes modelos, provavelmente o mais importante aspecto é que as temperaturas interiores de conforto no Verão são agora um requisito explícito da norma *Passivhaus*. Como consequência a norma *Passivhaus* proporciona uma classificação geral de qualidade para casas passivas ainda não disponível em outras normas relacionadas com o desempenho energético.

### 2.1 MODELOS DE CONFORTO NO VERÃO

Os Modelos de Conforto descrevem quantitativamente (baseados em um elevado número de inquéritos a pessoas) em que banda de condições as pessoas sente que estão termicamente confortáveis nos edifícios. Escolher limites de condições demasiado estreitos pode originar um desnecessário consumo energético.

Para a avaliação do conforto térmico nos edifícios pode-se optar pela escolha entre:

- o modelo de conforto originalmente proposto por Fanger ou o modelo *Predicted Mean Vote* (PMV),
- o modelo que toma em consideração a capacidade dos ocupantes do edifício de se adaptarem ao clima existente (modelo do conforto adaptativo)

Os dois modelos são aplicáveis em diferentes condições; de um modo geral o modelo de Fanger aplica-se em edifícios mecanicamente condicionados (entre uma determinada banda de valores de temperaturas, humidade, velocidade do ar,...) e o modelo Adaptativo em espaços não condicionados mecanicamente ou em edifícios ventilados naturalmente. Estão em curso investigações sobre os limites de aplicabilidade dos dois modelos, onde alguns estudos têm testado o modelo Adaptativo em edifícios mecanicamente controlados. Uma correcção deve ser efectuada quando se avalia as condições de Verão para tomar em consideração o aumento de conforto produzido pelo aumento da velocidade do ar com a utilização de ventilação natural ou ventoinhas.

No modelo de Fanger a condição interior óptima de um edifício (a qual os ocupantes registam como confortável) está correlacionada exclusivamente a parâmetros relativos às condições internas dos edifícios (por exemplo temperatura do ar e velocidade, temperatura média radiante, humidade do ar) e ao nível de vestuário e metabolismo dos ocupantes. O modelo de Fanger é baseado em correlações entre a impressão subjectiva dos ocupantes do conforto e as condições térmicas (i.e. temperaturas operativas, humidade relativa, metabolismo e nível de vestuário) numa célula de teste controlada artificialmente. Apesar do modelo de Fanger permitir uma variação de como as pessoas estão vestidas e a actividade que estão a desenvolver, quando frequentemente se assumem na prática 'valores típicos' de vestuário e de metabolismo, pode-se levar os projectistas

a especificar uma banda reduzida e estática de temperaturas 'confortáveis' a serem aplicadas uniformemente aos espaços e ao longo do tempo. Temperaturas estáticas desfavorecem as tecnologias passivas, que são efectivas a moderar as flutuações da temperatura exterior mas que são geralmente ineficientes a completamente separar as condições ambientes interiores das exteriores.

Atenção deve ser dada no sentido de aplicar o modelo de Fanger dentro dos seus limites, como prescrito na norma ISO 7730 (editada em 1994 e revista em 2005)

O modelo de Conforto Adaptativo propõe uma correlação entre a temperatura de conforto do interior de um edifício e a temperatura exterior. O conceito subjacente está documentado no processo pelo qual o corpo humano se adapta (incluindo alterações no metabolismo) às variações sazonais e ao clima do local. Como consequência os ocupantes consideram diferentes temperaturas interiores como confortáveis dependendo da estação do ano e da localização. O modelo Adaptativo está baseado em correlações medidas entre a impressão subjectiva de conforto descrita pelos ocupantes e a temperatura interior em centenas de edifícios reais.

Comparado com o modelo de Fanger, o modelo Adaptativo considera uma banda de temperaturas confortáveis mais alargada e portanto permite uma maior integração de estratégias de arrefecimento passivo. Por exemplo, aplicar o algoritmo Adaptativo definido na norma EN 15251 a ficheiros meteorológicos típicos anuais pode prever as temperaturas de verão neutras máximas (em correspondência com uma sequência de dias quentes) para Franquefurte, Milão, Lisboa e Sevilha como sendo respectivamente 26.1 °C, 27.2 °C, 26.7 °C e 28.7 °C. Em comparação, um edifício arrefecido com um sistema activo, trabalhará sob uma temperatura de referência escolhida entre 23 °C e 26 °C.

O modelo de Conforto Adaptativo tem vindo a ser refinado ao longo dos anos e testado em vários estudos reais (Humphreys, 1975; 1978; 1979; Nicol, 1993; de Dear, 1998; Nicol & McCartney, 2001). Na maioria da regulamentação de edifícios em vigor, a definição de conforto térmico segue a norma ISO 7730 que é baseada no modelo estático de Fanger.

Contudo, nos anos mais recentes, algumas das normas internacionais (ex. a norma USA ASHRAE 55 2004 e a norma Europeia EN 15251) também propõem os modelos de conforto Adaptativo baseados em inquéritos de

conforto em espaços reais. Estes substituíram para edifícios naturalmente ventilados as anteriores normas baseadas em temperaturas interiores de 'Fanger' com temperaturas 'Adaptativas'.

## 2.2 CONFORTO INTERIOR E A NORMA PASSIVHAUS

As necessidades de arrefecimento são a energia necessária para manter as condições interiores uma determinada temperatura e humidade durante o período de verão. As características da envolvente do edifício, os ganhos internos e as temperaturas interiores de projecto definem o dimensionamento das necessidades de arrefecimento. Quanto o limite das temperaturas interiores de verão é mais baixo, maiores são cargas de arrefecimento (i.e. mais energia é necessária para manter o edifício a determinada temperatura).

Como observado, o modelo Adaptativo geralmente define temperaturas de conforto mais elevadas e variadas que as previstas pelo modelo de Fanger. Frequentemente a temperatura neutra do Conforto adaptativo pode ser atingida utilizando estratégias passivas de arrefecimento, como o sombreamento das janelas e a ventilação nocturna. Quando isto ocorre as necessidades de arrefecimento são efectivamente reduzidas a zero e não é necessária a utilização de sistemas mecânicos de arrefecimento.

Em algumas localizações, garantir as temperaturas de conforto definidas pelo Modelo adaptativo requer alguma energia. Por exemplo Palermo na Sicília tem reduzidas variações da temperatura diurna, onde as temperaturas exteriores nocturnas atingem valores um grau abaixo das ocorridas durante o dia. Nesta situação as estratégias de ventilação nocturna não proporcionam uma medida efectiva para arrefecer o edifício. Como consequência a Passivhaus em Palermo tem uma necessidade de arrefecimento de cerca de 2 kWh/m<sup>2</sup>.ano o que significa que a casa tem algum sistema activo de arrefecimento mecânico para reduzir as temperaturas de pico (embora o principal meio de arrefecimento ainda é passivo). Contudo, embora a casa *Passivhaus* de Palermo tenha necessidades de arrefecimento, estas são ainda relativamente baixas e as necessidades para aquecimento e arrefecimento são inferiores ao limite de 15 kWh/m<sup>2</sup>.ano definido pela norma *Passivhaus*.

Como o modelo de Fanger geralmente origina temperaturas interiores neutras de conforto inferiores às propostas pelo modelo Adaptativo, as cargas de arrefecimento e as necessidades de arrefecimento do edifício são maiores. Aqui existe uma vantagem óbvia em promover as técnicas solares passivas de arrefecimento.

Contudo, em algumas localizações, a aplicação de técnicas efectivas de

arrefecimento passivo pode ser problemático. Particularmente em cidades, pode ser difícil utilizar uma estratégia da ventilação nocturna eficiente (pela qual o ar frio da noite é usado para arrefecer a massa térmica do edifício) pois os ocupantes podem fechar as janelas para evitar o barulho do exterior ou atendendo a que as amplitudes térmicas diurnas são reduzidas devido a fenómenos de ilha de calor local. Neste caso outras técnicas de arrefecimentos podem ser exploradas (ver Parte 3) ou alternativamente, sistemas activos de arrefecimento podem ser instalados de modo a proporcionar condições interiores de verão aceitáveis para os ocupantes.

Como consequência, na proposta de revisão da norma para Climas Quentes da Europa, as casas devem agora cumprir os seguintes requisitos:

Se o arrefecimento é obtido por sistemas maioritariamente **passivos**

Requisitos do Conforto Interior: Como definido pelo modelo Adaptativo no Anexo A.2 ("Temperaturas interiores aceitáveis para projectos de edifícios sem sistemas mecânicos de arrefecimento") da norma EN 15251

Necessidades de aquecimento e Arrefecimento: < 15 kWh/m<sup>2</sup>.ano

Energia primária total: < 120 kWh/m<sup>2</sup>.ano

Se o arrefecimento é obtido por **sistemas activos**

Requisitos de Conforto Interior: Como definido pelo modelo de Fanger na norma EN 15251 (Ex. para edifícios arrefecidos mecanicamente)

Necessidades de aquecimento: < 15 kWh/m<sup>2</sup>.ano

Necessidades de arrefecimento: < 15 kWh/m<sup>2</sup>.ano (este limite poderá ser actualizado e possivelmente reduzido com base em resultados experimentais em edifícios reais)

Energia primária total: < 120 kWh/m<sup>2</sup>.ano

A norma proposta, contudo, recomenda que a utilização de sistemas mecânicos só deverá ser efectuada se existem limitações técnicas à utilização efectiva de técnicas passivas.



### 3 PROPOSTAS *PASSIVHAUS*

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta exemplos de como a norma *Passivhaus* pode ser aplicada nos cinco países dos parceiros (França, Espanha, Portugal, Itália e o Reino Unido) sob condições climáticas e socio-económicas distintas das originais de aplicação na Alemanha. Este exercício foi executado pelos parceiros com o objectivo de aplicar a norma *Passivhaus*, como detalhada nos capítulos 1 e 2, sendo a mesma entendida como uma norma de desempenho em vez de uma lista de requisitos prescritivos.

As propostas nacionais foram formuladas com referência a uma tipologia normalizada de uma casa em banda com três a quatro quartos. Isto foi adaptado e optimizado desde as fases iniciais de projecto de modo a obterem-se os necessários níveis de conforto e de baixo consumo energético. A análise de desempenho das propostas foi efectuada com um programa de simulação em regime dinâmico; contudo, não foi possível a utilização do mesmo software entre os participantes. A análise procurou explorar os limites das necessidades de aquecimento e arrefecimento para as várias localizações e a aplicabilidade da norma proposta.

O exercício revelou que as cargas de aquecimento são relativamente baixas na maioria dos países Europeus do sul e na generalidade são inferiores ao limite de 15kWh/m<sup>2</sup>. Contudo são reduzidas comparativamente aos consumos energéticos de outros equipamentos como o aquecimento das águas, iluminação e equipamentos. Ficou visível que em muitos casos se deve ter em consideração as cargas de arrefecimento mas que frequentemente as mesmas podem ser supridas totalmente com estratégias passivas.

Isto levou a uma grande quantidade de soluções de desenho reflectidas nas propostas nacionais a serem descritas em detalhe mais à frente. Estas mostram que é possível projectar casas confortáveis de baixo consumo energético se forem adoptadas uma série de soluções apropriadas que podem evitar o uso de sistemas activos de arrefecimentos em muitas das localizações. As referências a uma lista de estratégias genéricas de arrefecimento passivo são apresentadas em mais detalhe na Parte 2, onde os pressupostos e resultados detalhados das análises de desempenho efectuadas em cada proposta nacional estão incluídos na Parte 3.

## 3.2 *PASSIVHAUS* NO REINO UNIDO

### 3.2.1 A casa

O ponto de partida para a proposta de casa *Passivhaus* do reino Unido, desenvolvida pela School of the Built Environment (SBE) da Universidade de Nottingham é uma típica casa em banda de três quartos que cumpre os requisitos do regulamento térmico de edifícios de 2006. O requisitos de energia e conforto da norma *Passivhaus* Alemã foram adaptados ao contexto Inglês tendo em consideração o clima local, os standards da construção, o contexto técnico e económico, tal como as diferenças no estilo de vida e as expectativas que os compradores de casa do Reino Unido têm em relação ao uso de um espaço e a sua interacção com o edifício. Por exemplo, uma das principais características da casa *Passivhaus* Alemã é a ventilação mecânica com um sistema de recuperação de calor. Para este sistema trabalhar (isto é fornecer uma poupança de energia) a casa precisa de ser muito estanque ao ar. Contudo, no Reino Unido há um generalizado cepticismo entre os construtores acerca da necessidade de uma casa muito estanque ao ar e a necessidade de uma ventilação mecânica. Isto é em parte devido ao clima ameno de Inverno e a dificuldade óbvia de conseguir infiltrações de ar muito baixas. Assim, na proposta do SBE a ventilação é obtida por meios naturais com um baixo controlo (controlado manualmente) ou um alto controlo (controlo automático) das janelas. Isto tem o benefício de evitar o custo inicial e o custo de manutenção do sistema mecânico e permite aos ocupantes ter um nível de controlo sobre a abertura da janela. A estanquidade do ar ainda é importante, mas um mínimo de infiltração de ar é introduzido através do espaço tampão através de ductos de ventilação e dispositivos de admissão automáticos.

A casa típica *Passivhaus* do Reino Unido segue a planta da casa em banda com três quartos. O piso térreo inclui dois 'espaços tampão' a norte e a sul. Apesar de estes reduzirem um pouco a área habitável da área útil total, podem ser usados como arrumos temporário, espaço estufa ou áreas de secagem de roupa. O espaço tampão a norte também actua como antecâmara de entrada, enquanto que o do lado sul é como um espaço estufa incluído no volume do edifício. As outras características da casa *Passivhaus* do Reino Unido são a ventilação no topo do espaço da escada, que proporciona uma saída para a ventilação com efeito de chaminé, e os dispositivos de admissão automáticos com grelhas de ventilação ao longo da casa. O espaço estufa no lado sul é provido de estores venezianos para controlo solar no verão e estores isoladores contras as perdas de calor no

inverno. O custo extra de produzir uma casa *Passivhaus* no Reino Unido comparado com uma casa típica é de 49 £/m<sup>2</sup> com um tempo de retorno do investimento de 19 anos.



Fig. 3. 1 – Exemplo de uma casa no Reino Unido com consumo zero de energia fóssil, Bedzed (Arquitecto: Zed Factory)



Fig. 3. 2 – 3D da casa *Passivhaus* do Reino Unido proposta por SBE



### 3.2.2 A estratégia

A estratégia ambiental de projecto propõe variações da casa *Passivhaus* Alemã ao combinar a ventilação natural com uma grande capacidade térmica interior. No inverno, o ar infiltrado é pré-aquecido através do espaço estufa a sul que pode atingir temperaturas acima de 20 °C. Quando o espaço o permite, tubos enterrados podem ser instalados no jardim para fornecer ar pré-aquecido (ou pré-arrefecido) ao espaço estufa. As cargas residuais de calor são tão baixas que podem ser atingidas com uma fonte de carbono neutra como as caldeiras para desperdícios de madeira, que também podem fornecer água quente. No verão, durante os dias de calor intenso, o espaço estufa está aberto para o exterior de modo a evitar o sobreaquecimento e actuar como uma extensão do espaço de sala de estar. À noite no verão, controlos automáticos dos ventiladores a alto nível promovem o arrefecimento do edifício e da massa térmica interior. A segurança é mantida com o uso dispositivos de admissão/ extracção a uma altura elevada e grelhas de admissão a um nível baixo.

A grande capacidade térmica do interior pode ser obtida com painéis de betão pré-fabricados expostos, ou, quando uma construção mais leve é preferida, com o uso de materiais com mudança de fase (PCM) embebidos no reboco. A grande capacidade térmica interior é importante ao prevenir o sobreaquecimento e a necessidade de arrefecimento, que com o aquecimento global vai começar a ser uma prioridade crescente. Assim, a casa *Passivhaus* típica do Reino Unido procura evitar o uso de sistemas activos de arrefecimento pelo uso de sombreamentos e ventilação natural combinada com uma forte inércia térmica.

De modo a minimizar as perdas pela envolvente e pelas infiltrações, são assumidos elevados níveis de isolamentos com típicos valores de coeficiente de transmissão térmica (U) entre 0.2W/m<sup>2</sup>K e 0.15W/m<sup>2</sup>K para respectivamente as paredes e a cobertura. Vidro duplo baixo emissivo (a casa *Passivhaus* Alemã considera vidro triplo) é proposto para os envidraçados interiores, enquanto que o envidraçado exterior do espaço estufa é em vidro simples. O envidraçado exterior pode ser também em vidro duplo o que poderá melhorar substancialmente o desempenho, mas as simulações chegaram à conclusão que com o vidro descrito inicialmente se obtém os níveis requeridos de aquecimento. Valores típicos de U das janelas de 1.8W/m<sup>2</sup>K são assumidos, enquanto que são assumidas infiltrações na ordem de 3 rph a 50Pa.

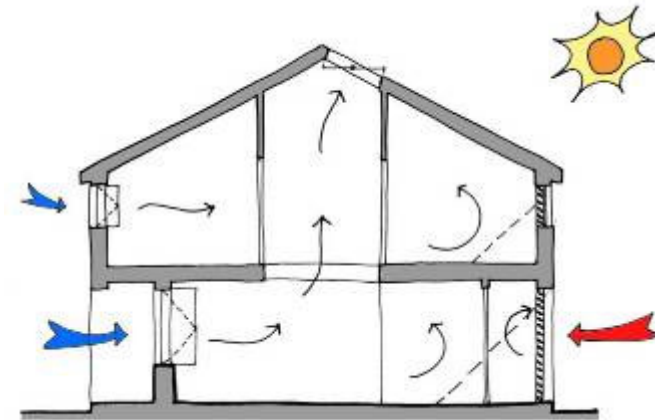


Fig. 3. 3 – Estratégia de ventilação de verão

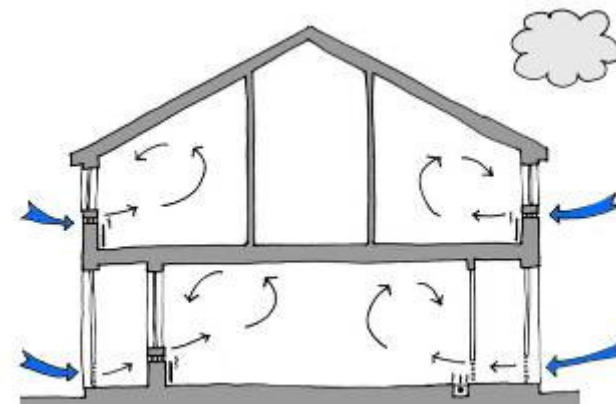


Fig. 3. 4 – Estratégia de ventilação de inverno

### 3.2.3 Desempenho: energia e conforto

As necessidades anuais de da casa *Passivhaus* do Reino Unido, proposta pelo SBE, foram estimadas em um total de 13.8kWh/m<sup>2</sup>. Esta necessidade energética cumpre o limite da norma *Passivhaus* de 15kWh/m<sup>2</sup>, e comparado com um valor de referência de necessidades energéticas típicas para aquecimento para uma mesma casa construída de modo a que cumpra o regulamento é de 55kWh/m<sup>2</sup>. Um sistema activo de arrefecimento não é necessário devido á utilização das estratégias passivas descritas acima. Deve ser recordado que esta casa, estando no topo da banda, incorpora uma parede lateral exterior e portanto uma casa em banda com a mesma planta pode atingir um desempenho equivalente com características ligeiramente atenuadas.

O critério de conforto adoptado durante a análise do verão foi baseado no cálculo de índices de conforto (ver Parte 2). Estes índices somam a distância entre a temperatura operativa, do quarto, prevista e a temperatura neutra a cada hora durante o ano inteiro. O índice do Conforto Adaptativo (AI2), aplicado a um edifício não condicionado (i.e. sem aquecimento e arrefecimento suplementar) refere-se à zona neutra de temperatura de conforto definido na base do modelo Adaptativo mensal como descrito no ASHRAE 55. Quando se analisa o conforto usando este índice, um valor baixo indica um melhor desempenho, sendo zero o desempenho óptimo. Para a casa *Passivhaus* do Reino Unido o AI2 resultou em zero. Com respeito às condições de temperaturas de verão, a temperatura resultante (ou operativa), que é a média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante, é mantida abaixo de 25°C durante 96% do tempo de ocupação (para uma discussão mais alargada sobre este assunto ver o Capítulo 2). No inverno, a temperatura do ar interior é mantida a 20°C por sistemas convencionais de aquecimento, para se determinar a necessidade residual de aquecimento. Contudo, sem o sistema de aquecimento suplementar, a percentagem de tempo em que a temperatura resultante interior é acima de 18°C é 68%. Na sala de estar as temperaturas típicas variam entre 10 e 24°C ultrapassando as temperaturas exteriores em 5 – 15°C.

O que se apresenta de seguida demonstra que a estratégia adoptada para o projecto da casa é bem sucedida no objectivo de cumprir a norma *Passivhaus* em termos de necessidades de aquecimento/arrefecimento e em termos de conforto térmico. Também ilustra que as medidas necessárias para atingir estes critérios de desempenho não necessitam de ser prescritivos. Isto permitirá a ambos arquitectos e construtores uma maior flexibilidade quando julgam as diferentes prioridades para atingir casas

passivas a baixo custo.

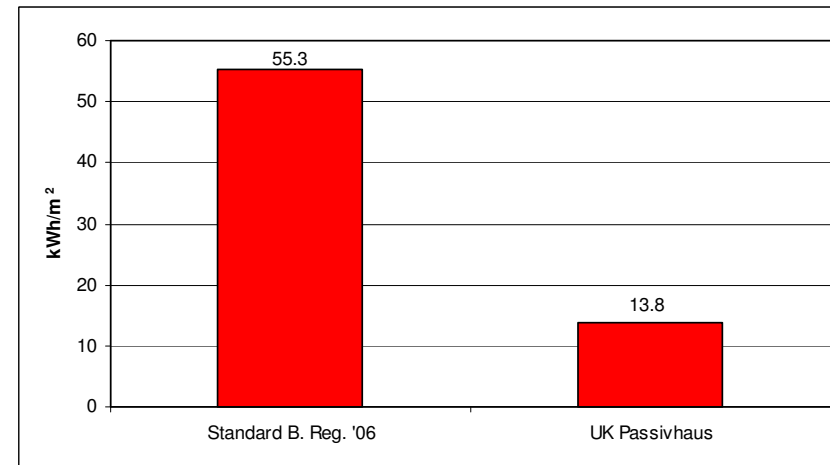


Fig. 3. 5 – Necessidade energética anual prevista para uma casa típica e uma *Passivhaus*

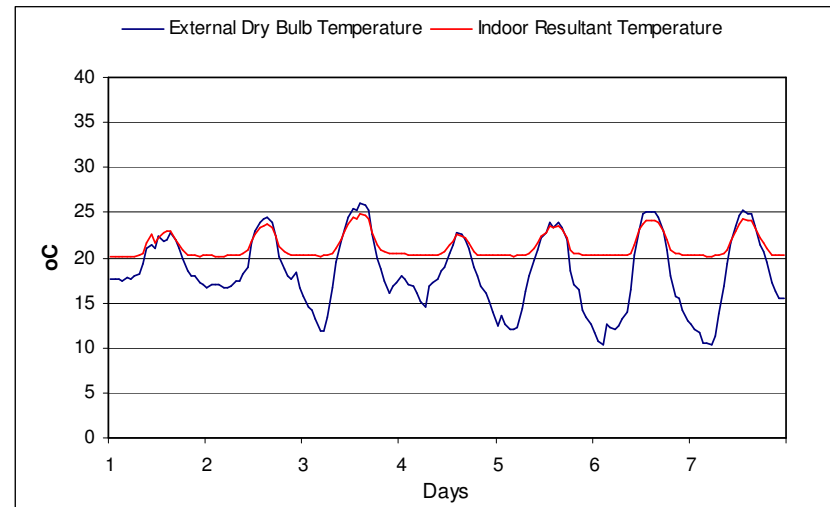


Fig. 3. 6 – Temperatura de bolbo seco resultante típica no verão sem qualquer sistema de arrefecimento adicional

### 3.3 PASSIVHAUS EM ESPANHA

#### 3.3.1 A casa

O ponto de partida é uma típica casa em banda ou uma vivenda pluri-familiar espanhola localizada próximo de uma grande cidade. É constituída por três ou quatro quartos com uma área útil total de 100 m<sup>2</sup>. O edifício cumpre os actuais regulamentos espanhóis, nomeadamente os "Códigos Técnicos de Edifícios" obrigatório desde 2007 e especificamente a parte que limita as necessidades energéticas máximas admissíveis.

O objectivo era aplicar os princípios da casa Passivhaus Alemã à casa espanhola e tendo em consideração as características climáticas de Espanha. A análise centralizou-se na região climática de Andaluzia: Sevilha e Granada. Ambas as localidades têm uma influência climática do Mediterrâneo mas com algumas particularidades que as tornam mais extremas e complexas que as outras localizações como Cadiz e Almeria. Sevilha têm um clima muito severo no verão e Granada tem um inverno muito severo.

Para além disso, é intenção de seleccionar um edifício que, em face à nova regulamentação de certificação energética, obtenha a etiquetagem mais elevada (A é a melhor, E a pior) fazendo uso de técnicas solares passivas de aquecimento e arrefecimento, a baixo custo, e satisfazendo as condições de conforto expressas na EN 15251.

A distribuição em planta da casa não é semelhante à típica casa espanhola. De facto, casas em banda ou as vivendas pluri-familiares têm uma área de paredes exteriores mais reduzida. E as paredes interiores de separação das fracções autónomas têm maior área. Esta opção maximiza a compactidade (ver Compactidade na Parte 2) o que é muito adequado para os climas severos de inverno e onde a radiação solar não é muito elevada. Contudo, em Sevilha e em Granada é preferível sacrificar a compactidade de modo a ter uma maior área de fachada orientada a sul, aumentando a área de captação solar e como resultado diminuir as necessidades energéticas de aquecimento. Neste sentido a proposta espanhola considera uma maior área de superfície exterior. A orientação predominante das fachadas é a sul – maior área envidraçada (cerca de 50%) e a norte – menor área de envidraçado (cerca de 10%). Esta disposição pode criar problemas em espaços urbanos porque não é a mais vulgar mas é sem dúvida a mais recomendada do ponto de vista energético.

O custo acrescido da casa Passivhaus espanhola é cerca de 25 €/m<sup>2</sup> – representando um acréscimo de 5% em relação ao custos de construção

típicos de edifícios – e o tempo de retorno médio é cerca de 5 anos. Esta figura é menor que em outros países devido ao facto da proposta espanhola ser mais baseada no desenho de projecto em vez de utilizar sistemas inovativos ou uma grande estanquidade ao ar.



Fig. 3. 7 – Casa de baixo consumo energético em ES, Sevilha

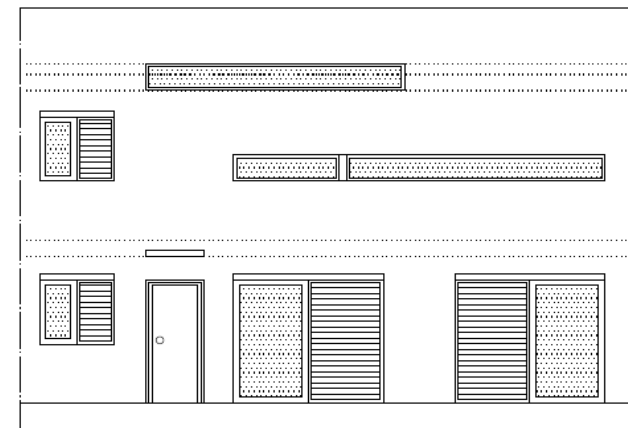


Fig. 3. 8 – Fachada norte da casa ES *Passivhaus* proposta

### 3.3.2 A estratégia

A estratégia ambiental do exemplo *Passivhaus* espanhol considera os elementos descritos de seguida:

#### Pré-aquecimento do ar admitido

Não foi considerado um sistema mecânico de ventilação (com elevados níveis de estanquidade ao ar) pois não é compatível com as características dos edifícios espanhóis.

#### Envidraçados

A elevada área de envidraçados a sul maximiza a captação de ganhos solares no inverno. A maior vantagem da orientação a sul em oposição a este e oeste é a possibilidade de receber baixos níveis de radiação no verão – quando esta é indesejável; Além disso é mais fácil de controlar a admissão de ganhos solares. O controle solar é obtido com o uso de dispositivos de sombreamento móveis (ver “Envidraçados e Energia Solar” na Parte 2). No lado norte é recomendado reduzir a área de envidraçado para o mínimo sem prejudicar os requisitos de iluminação natural. Em localizações com Invernos muito severos é sugerido melhorar-se o coeficiente U dos envidraçados a norte.

#### Massa térmica e inércia

Duas soluções são propostas: Baixa inércia tradicional com um tijolo de 6cm no pano interior, e outra com elevada inércia com blocos cerâmicos de baixa densidade. A estratégia com elevada inércia não é possível em Granada devido a considerações estruturais. De qualquer modo a solução com elevada inércia deve ser adoptada em combinação com:

- sistema de ventilação que coloca o ar fresco admitido em contacto com a elevada inércia (elevada massa térmica) das paredes interiores, visto que as outras paredes não tem elevada inércia.
- A distribuição correcta da massa, de modo a captar a radiação solar em superfícies com forte inércia.

#### Ventilação nocturna

O espaço das escadas a norte actua como uma chaminé que permite a extracção do ar durante o período nocturno do verão.

#### Iluminação

No topo das escadas foi projectado uma grande janela orientada a sul, que permite a admissão de luz natural na zona norte da casa.

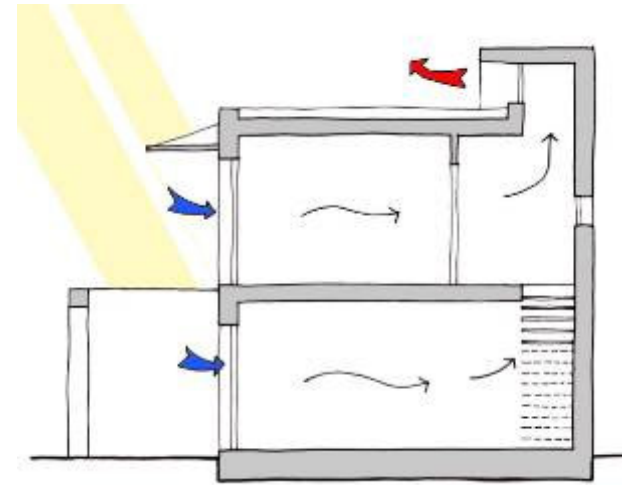


Fig. 3. 9 – Estratégia de ventilação-iluminação no verão

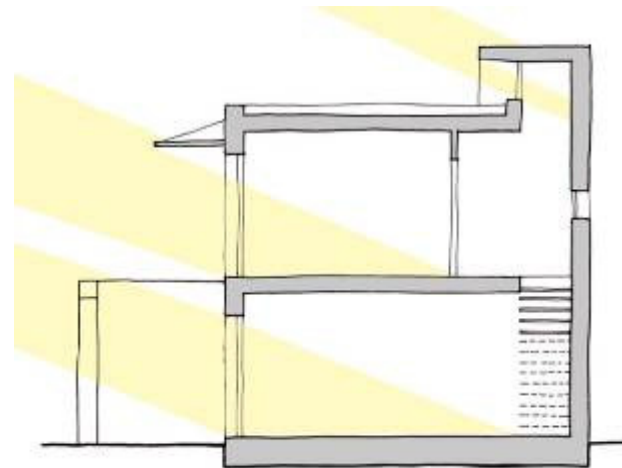


Fig. 3. 10 – Strategy of lighting-use of radiation in winter

### 3.3.3 Desempenho: energia e conforto

A necessidade energética total da casa de Sevilha é  $24.5 \text{ kWh/m}^2$  ( $2.8 \text{ kWh/m}^2$  necessidade de aquecimento e  $21.7 \text{ kWh/m}^2$  necessidade de arrefecimento); O valor de verão não cumpre o requisito da casa *Passivhaus*. Contudo, estes valores correspondem a uma classe elevada em termos da etiquetagem nacional (A no aquecimento – B no arrefecimento). A necessidade média total de energia para uma casa típica nova é  $57.3 \text{ kWh/m}^2$ , A proposta de desenho da casa *Passivhaus* espanhola resulta numa redução de 57% deste valor.

A necessidade total de energia da casa de Granada é  $16.6 \text{ kWh/m}^2$  ( $8.7 \text{ kWh/m}^2$  necessidade de aquecimento e  $7.9 \text{ kWh/m}^2$  necessidade de arrefecimento); Este valor total não cumpre o requisito da casa *Passivhaus*. A necessidade média total de energia para uma casa típica nova é  $69.0 \text{ kWh/m}^2$ , com o projecto proposto a atingir uma redução de 76% deste valor. Esta proposta de casa *Passivhaus* teria uma etiquetagem energética de A para o aquecimento e de B para o Arrefecimento.

Estes valores são tão baixos que não há necessidade de adoptar um sistema activo para arrefecimento ou aquecimento (exceptuando a elevada necessidade de arrefecimento em Sevilha). De facto, as simulações mostram que a estratégia global adoptada no desenho da casa espanhola preenche os requisitos necessários em termos de aquecimento/arrefecimento e conforto térmico.

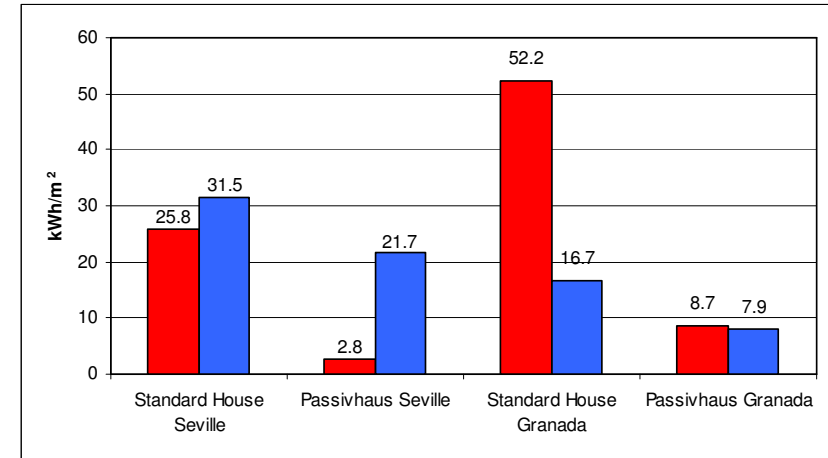


Fig. 3. 11 – Estimativa da necessidade energética anual de uma casa típica e de uma casa *Passivhaus* em Sevilha e Granada

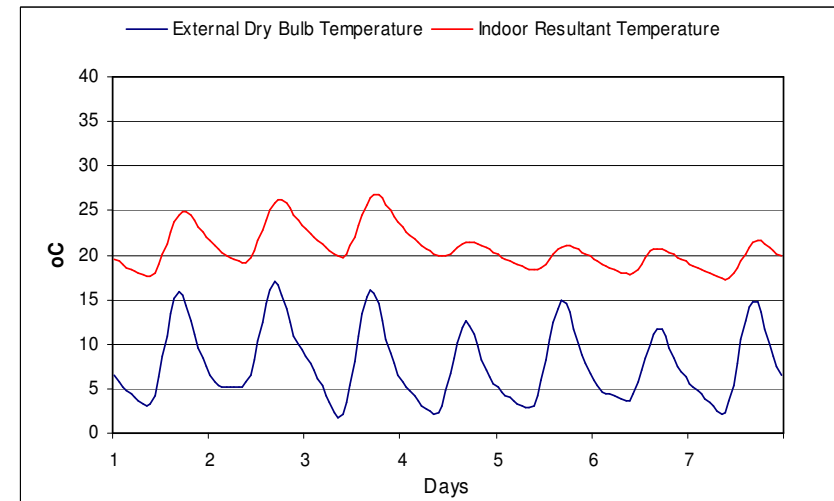


Fig. 3. 12 – Estimativa das temperaturas durante uma semana de inverno na casa *Passivhaus* em Granada, Espanha



### 3.4 PASSIVHAUS EM PORTUGAL

#### 3.4.1 A casa

O ponto de partida da proposta de casa *Passivhaus* em Portugal é uma casa com dois quartos distribuídos por um piso único, que cumpre a regulamentação energética em vigor (RCCTE, DL 80/2006). As estratégias energética e de conforto da norma *Passivhaus* foram adaptadas para o contexto Português, particularmente no que se refere à longa estação de arrefecimento. A proposta toma em consideração o clima local (caso estudo para Lisboa), as normas de construção e o contexto técnico e económico.

A proposta de um protótipo simples não condiciona os arquitectos na concepção do desenho da casa. Consiste numa planta rectangular, com dois quartos e um telhado plano, com uma área útil total de 110 m<sup>2</sup>. A planta tipo apresentada pode ser facilmente alargada, contemplando maior número de divisões e/ou área de pavimento.

O nível de isolamento nas paredes e na cobertura excedem os requisitos mínimos nacionais e a infiltração do ar é controlada (cerca de 0.8 rph a 50Pa). Contudo, isolamento e estanquidade do ar não são as características mais importantes nesta proposta. Os três maiores aspectos tidos em consideração na casa proposta são: relação com o sol, ventilação para arrefecimento e forte inércia térmica para controlar as variações de temperatura. A quantidade de radiação solar em Portugal é muito elevada, mesmo durante a estação de aquecimento. Assim, um factor importante nesta casa é a sua relação com a radiação solar, capturada directamente (janelas) e indirectamente (sistemas solares térmicos). Grandes janelas são orientadas principalmente a sul aumentando os ganhos úteis solares durante o inverno. Menores áreas de envidraçado estão localizadas a este e a oeste com áreas mínimas orientadas a norte. A protecção solar é escolhida de acordo com a orientação: palas nas janelas a sul, assim reduzindo a incidência solar no verão, e estores venezianos exteriores em todas as janelas.

Uma das características mais importante da proposta é o uso de um sistema solar térmico. A nova regulamentação térmica obriga a utilização de painéis solares para aquecimento de águas sanitárias (exceptuando os casos em que a cobertura não tem exposição solar conveniente). A proposta estende a instalação solar térmica para também contribuir para o aquecimento ambiente, com o aumento da área de captação de painéis e usando um sistema hidráulico de calor a baixa temperatura (por exemplo

pavimento radiante). Tal como proposto pela norma *Passivhaus*, a capacidade do sistema de aquecimento e arrefecimento é limitada a 10 W/m<sup>2</sup>. O custo extra da proposta *Passivhaus* em Portugal é de 57 €/m<sup>2</sup> com um período de retorno do investimento de 12 anos.



Fig. 3. 13 – Imagem de uma casa de baixo consumo energético em Portugal (Casas Janas)

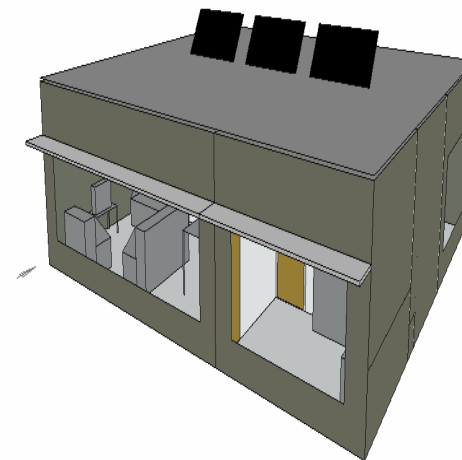


Fig. 3. 14 – 3D da casa *Passivhaus* proposta para Portugal

### 3.4.2 A estratégia

A casa combina a capacidade de captar radiação solar (grandes vãos envidraçados a sul) e a capacidade de regular a temperatura interior com a sua grande capacidade térmica. De modo a reduzir as perdas e os ganhos de calor, 150mm e 100mm de isolamento são propostos para o cobertura e paredes exteriores, com valores de U de  $0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $0.32 \text{ W/m}^2\text{K}$ , respectivamente. Isolar o pavimento (80 mm) é benéfico em climas frios. Contudo, quando as cargas de arrefecimento são mais significativas que as de aquecimento, somente uma faixa de 1m do perímetro por debaixo do pavimento deve ser isolada para permitir que o centro da casa liberte calor para o solo durante o verão. As janelas orientadas a sul correspondem a cerca de 60% da área total de envidraçado; cerca de 20% da área envidraçada está orientada a este e outros 20% a oeste. A casa tem aproximadamente  $1.2 \text{ m}^2$  de envidraçado a sul para cada  $10 \text{ m}^2$  de área útil (um total de  $2.1 \text{ m}^2$  de envidraçado por cada  $10 \text{ m}^2$  de área útil de pavimento). Vidros duplos baixo emissivo podem ser energeticamente eficientes nos climas frios de Portugal, mas na maioria das situações o vidro duplo típico é economicamente mais viável (valores de U de  $2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$  para o vidro duplo incolor e  $1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$  para o vidro baixo emissivo).

O sistema solar térmico fornece a maior parte das necessidades energéticas para aquecimento da casa. Os painéis solares estão orientados a sul com uma inclinação do plano horizontal de  $50^\circ$ , para aumentar a eficiência durante o inverno.

De modo a evitar o sobreaquecimento durante a estação de arrefecimento, particularmente em espaços orientados a sul e a oeste, é importante o uso de dispositivos de protecção solar (estores e palas), e combinar a forte inércia térmica com a ventilação, principalmente nocturna (a temperatura exterior desce consideravelmente durante a noite). A elevada inércia térmica pode ser conseguida deixando exposto o pavimento em betão, utilizando paredes interiores de tijolo e aplicando isolamento pelo exterior da cobertura e paredes. Contudo, ainda existe em Portugal algum cepticismo entre os construtores a cerca do desempenho mecânico do isolamento pelo exterior. Assim, é proposto a utilização da típica parede dupla de tijolo com isolamento na caixa-de-ar.

Uma estratégia de ventilação cruzada efectiva permite libertar o calor armazenado nas paredes e no pavimento. Nos quartos a ventilação dever acontecer no início da noite para evitar as correntes de ar durante o período de sono; em todos os restantes espaços, a ventilação durante a noite toda é

recomendada. Uma protecção solar efectiva e uma estratégia de ventilação nocturna, que dissipe os ganhos solares e os ganhos internos, podem permitir reduzir a potência de um sistema activo de arrefecimento ou mesmo tornar dispensável a sua instalação.

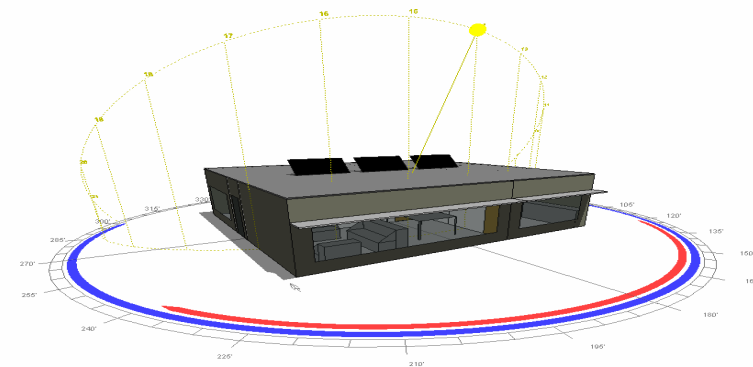


Fig. 3. 15 – Incidência solar de verão, vista de SW

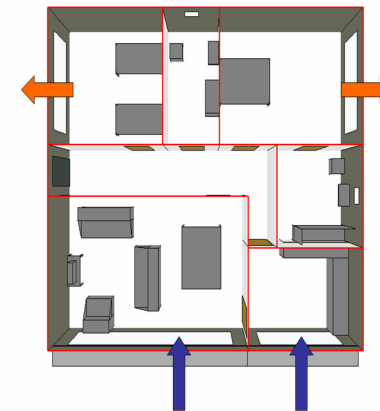


Fig. 3. 16 – Estratégia de ventilação no verão

### 3.4.3 Desempenho: energia e conforto

As necessidades anuais de aquecimento da casa *Passivhaus* proposta para Portugal foram estimadas em  $16.9 \text{ kWh/m}^2$ , das quais  $11 \text{ kWh/m}^2$  são fornecidas pelo sistema de painéis solares (nesta análise a prioridade foi dada ao aquecimento, sendo a fracção solar para aquecimento de águas sanitárias de 48%). As necessidades anuais de arrefecimento são  $3.7 \text{ kWh/m}^2$ . A soma das necessidades de aquecimento e arrefecimento são  $9.6 \text{ kWh/m}^2$ .ano. De acordo com a regulamentação térmica, os limites para as necessidades de aquecimento e arrefecimento para esta casa, construída em Lisboa, são  $73.5$  e  $32 \text{ kWh/m}^2$ .ano, respectivamente.

A análise do conforto térmico é baseada na temperatura resultante (ou operativa), que é a média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante. O critério de conforto adoptado para a análise durante o verão foi baseado no cálculo dos índices de conforto (ver Parte 2). A soma dos índices durante um período contabiliza a 'distância' entre a temperatura operativa do espaço prevista e a temperatura neutral a cada hora. Assim, um baixo índice é sinónimo de um melhor desempenho.

A mesma casa, com um sistema activo de arrefecimento, tem um Índice de Conforto de Fanger de 811 (a casa é penalizada pela influência da temperatura radiante de uma grande superfície envidraçada). Se não existir um sistema activo de arrefecimento, deve aplicar-se o Índice de Conforto Adaptativo (AI2) (ASHRAE 55). Para a proposta de casa *Passivhaus* em Portugal o AI2 foi 16. Para esta casa a temperatura resultante é mantida abaixo de  $25^\circ\text{C}$  durante 71% do tempo de ocupação e abaixo de  $28^\circ\text{C}$  em 98% do tempo ocupado. Se não estiver prevista a instalação de um sistema activo de arrefecimento, a dimensão das janelas e o isolamento das paredes deve ser reduzido (apesar de esta solução poder aumentar as necessidades de aquecimento).

Durante o inverno, está em funcionamento o sistema de aquecimento com uma potência de  $10 \text{ W/m}^2$ , onde a temperatura resultante está abaixo de  $19.5^\circ\text{C}$  somente em 8% do tempo (a mais baixa temperatura resultante obtida é  $18^\circ\text{C}$ ).

As análises anteriores mostram que as estratégias adoptadas para o desenho de uma casa *Passivhaus* para o aquecimento e arrefecimento, no clima de Lisboa podem ter sucesso, em ambos os limites de necessidades energéticas e os níveis de conforto. Apesar de um projecto específico poder ser bastante diferente da planta simplificada apresentada, as estratégias aplicadas mostraram-se efectivas na sua relação com o clima.

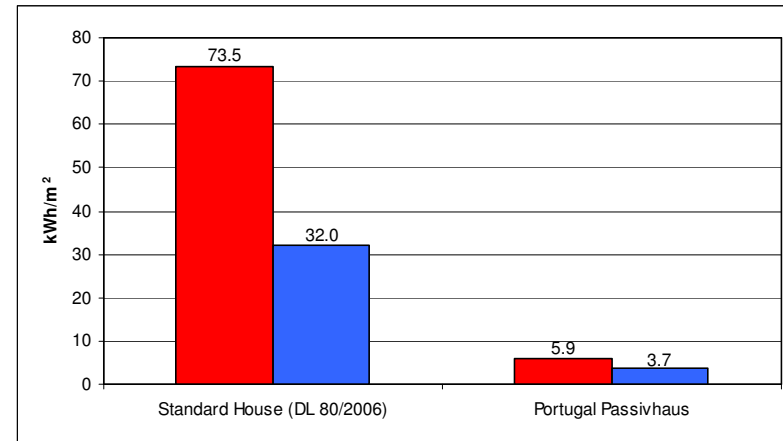


Fig. 3. 17 – Estimativa das necessidades anuais de aquecimento (vermelho) e de arrefecimento (azul) para uma casa típica e uma casa *Passivhaus*

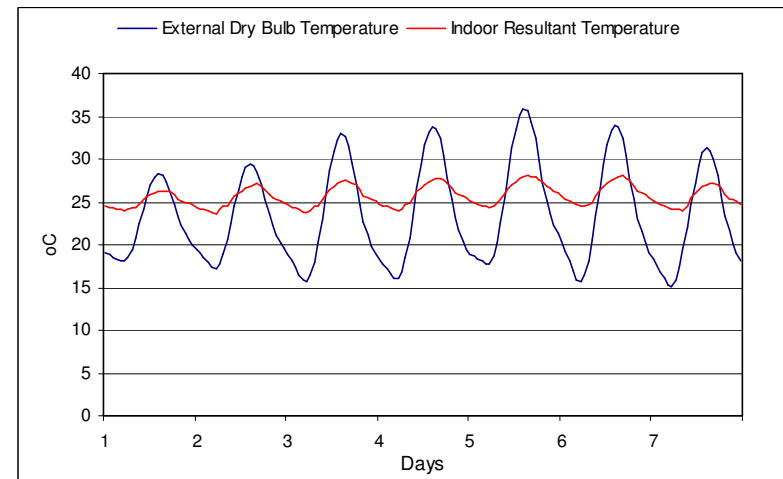


Fig. 3. 18 – Temperatura resultante durante uma semana de muito calor, sem um sistema activo de arrefecimento



### 3.5 PASSIVHAUS EM ITÁLIA

#### 3.5.1 A casa

A casa *Passivhaus* Italiana é desenvolvida no pressuposto que as soluções de projecto habitualmente implementadas na *Passivhaus* da Europa central, nomeadamente elevados níveis de isolamento, inexistência de pontes térmicas, ventilação activa com recuperação de calor são também pertinentes em grande parte da Itália com invernos severos, apesar de curtos (ex. Milão e o norte em geral) e também nas regiões montanhosas mais a sul. O outro pressuposto é que estas soluções podem, quando integradas com medidas adicionais, proporcionar uma estratégia efectiva passiva para o arrefecimento de verão. Contudo, a casa *Passivhaus* Italiana adopta estratégias tradicionais como o sombreamento proporcionado pelos beirados do telhado ou estores persas reduzindo o ganho solar através das janelas. Mais ainda, adopta uma estratégia de ventilação natural nocturna complementada com sistemas activos de arrefecimento, usando uma bomba de calor reversível de baixo consumo, em dias particularmente quentes.

As vantagens de aplicar à casa *Passivhaus* italiana os conceitos passivos da versão *Passivhaus* aplicados na Europa central é que os conceitos podem ser logo integrados em casas com uma estética e uma organização de planta que têm tradição de serem aceites. A casa *Passivhaus* recentemente completada (2006) em Cherasco, próximo de Cuneo, no norte da Itália, graficamente confirma este pressuposto (ver foto na direita). Por exemplo não existe uma necessidade particular de grandes envidraçados a sul ou espaços de estufa para captar os ganhos solares de inverno.

Do mesmo modo a casa *Passivhaus* em análise nesta brochura segue o estilo “casa rústica”, que representa uma parte significativa da construção nova na província nos anos mais recentes, pelo menos no norte de Itália. A casa é orientada a sul no fim de uma banda de casas com 120 m<sup>2</sup> de área útil. Esta banda de casas é posicionada de modo a que 50% da área da parede oeste de uma casa é protegida pela parede este da casa adjacente. As simulações em regime dinâmico mostraram que com pequenos ajustamentos das várias estratégias de desenho (ex. Mudanças do nível de isolamento) a proposta proporciona casas confortáveis ao longo do ano em Milão, Roma e Palermo. As características térmicas da casa *Passivhaus* recentemente construída em Cherasco confirmam a uma larga escala as especificações detalhadas nesta brochura.

Para Milão o custo extra da casa *Passivhaus* está calculado em 84.00 Euro/m<sup>2</sup> o que é sensivelmente 7% mais que uma casa construída com os requisitos mínimos da regulamentação em vigor. Considerando uma poupança energética da ordem dos 924 Euro/ano isto resulta num tempo de retorno sensivelmente de 12 anos.



Fig. 3. 19 – A casa *Passivhaus* construída em Cherasco, Cuneo, Norte de Itália

### 3.5.2 A estratégia

Apesar da casa *Passivhaus* Italiana adoptar muitos dos conceitos da casa *Passivhaus* Alemã, alguns detalhes são diferentes. Na generalidade o clima mais ameno de Itália permite de os limites de energia e de conforto da norma *Passivhaus* sejam atingidos utilizando critérios não tão rígidos em relação a:

- Níveis de isolamento: Uma casa *Passivhaus* típica da Alemanha requer 25cm de isolamento nas paredes exteriores e 40cm na cobertura. Contudo em Roma 10 cm de isolamento nas paredes e 15 cm na cobertura é tido como suficiente;
- Estandaridade ao ar da envolvente: A casa *Passivhaus* da Europa central exige que a envolvente do edifício tenha uma renovação de ar máxima de  $0.6 \text{ h}^{-1}$  para uma diferença de pressão de 50 Pa; este limite é actualmente parte da actual norma *Passivhaus* ( $n_{50} < 0.6 \text{ h}^{-1}$ ). Contudo em Milão e Roma um valor de  $1 \text{ h}^{-1}$  a  $n_{50}$  deve ser suficiente e em Palermo poder-se-á aceitar valores ainda mais elevados.

Em particular para o conforto de inverno a casa *Passivhaus* Italiana:

- Minimiza as perdas de calor no inverno devido ao elevado isolamento da envolvente do edifício e à eliminação das pontes térmicas
- Providencia ventilação activa com recuperação de calor
- Providencia aquecimento activo utilizando uma bomba de calor (pavimento radiante) de baixo consumo (potência máxima no inverno e no verão = 1.5 kW)
- Permite a captação de ganhos solares ao utilizar envidraçados em 30% da fachada a sul e reduzindo as perdas ao limitar as áreas de envidraçados na fachada norte.

Enquanto que para o conforto de verão:

- Minimizar os ganhos solares através de uma envolvente muito isolada e janelas sombreadas.
- Extrai os ganhos solares e os ganhos internos utilizando um sistema de ventilação natural e activo durante a noite.

Relativamente ao último assunto utilizar uma estrutura muito bem isolada proporciona uma base efectiva para utilizar o arrefecimento do ar durante a noite no verão ao arrefecer a massa térmica do edifício. O ar da noite deve

atravessar o edifício através do efeito do vento e das diferenças de pressão, ou utilizando uma ventoinha de um sistema de ventilação activo. A estratégia funciona em Milão apesar de ser mais efectiva em Roma.

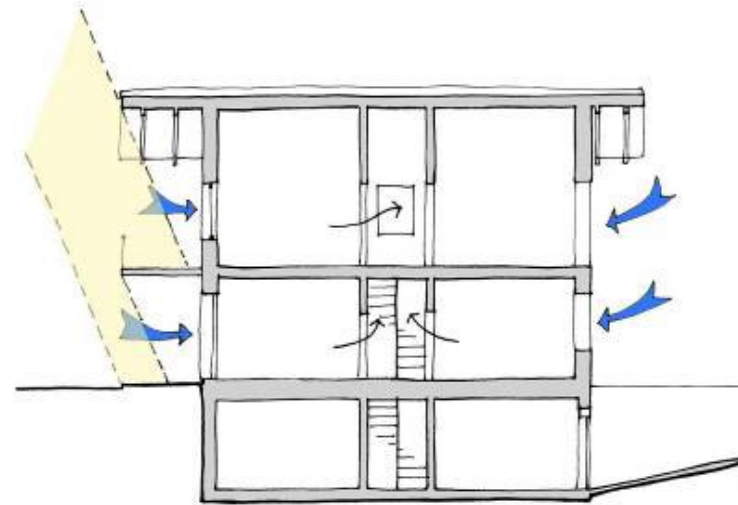


Fig. 3. 20 – Estratégias de verão

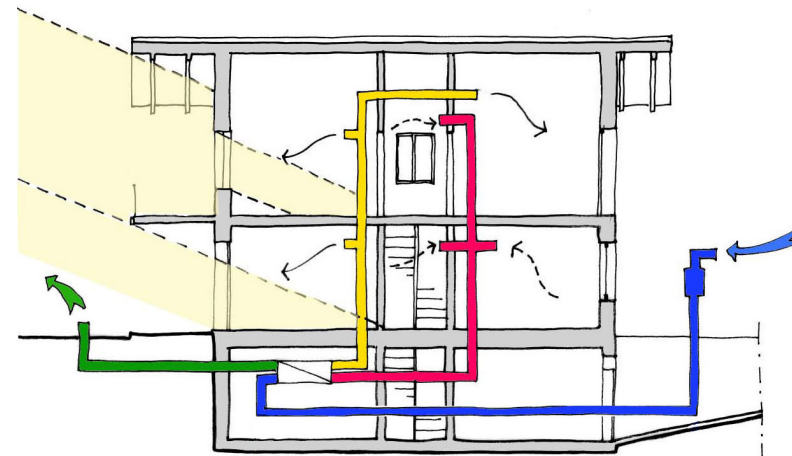


Fig. 3. 21 – Estratégias de Inverno

### 3.5.3 Desempenho: energia e conforto

Em Milão e em Roma as condições de conforto podem ser atingidas exclusivamente com técnicas passivas. Mais precisamente:

- Em Milão a temperatura superior limite do Conforto Adaptativo, de acordo com a (EN 15251) nunca é excedida, apesar da temperatura neutra ser excedida ocasionalmente em Agosto.
- Em Roma a temperatura superior limite do Conforto Adaptativo nunca é excedida, apesar da temperatura neutra ser excedida ocasionalmente em Agosto.

Em qualquer dos casos arrefecimento passivo origina uma temperatura interior máxima em Milão e Roma de cerca de 30°C.

Apesar da estratégia de ventilação natural funcionar, as temperaturas interiores podem ser reduzidas utilizando uma bomba de calor reversível de pequena potência. Consumos de energia reduzidos permitem levar as temperaturas interiores de verão para valores abaixo da temperatura neutra definido no modelo de Conforto Adaptativo. (Temperatura máxima cerca de 27.5°C)

Em Palermo, a estratégia de ventilação é menos efectiva e algum tipo de sistema activo de arrefecimento é necessário para fornecer condições de conforto aceitáveis no verão. Utilizando exclusivamente meios passivos origina temperaturas de 32.5°C, que são superiores ao limite superior das temperaturas de conforto do modelo Adaptativo durante grande parte do mês de Agosto. De facto diferenças de temperatura diurnas de somente 3°C em Julho, Agosto e Setembro tornam a estratégia de ventilação nocturna ineficiente. Mesmo com um significativo sistema activo de arrefecimento (9 kWh/m<sup>2</sup>.ano) em Palermo a temperatura de conforto neutra é excedida durante os dias em Agosto, embora as temperaturas interiores permaneçam sempre significativamente abaixo do máximo das temperaturas aceitáveis. Foi também efectuada uma análise aumentando a as temperaturas exteriores de verão em 3°C, para examinar o comportamento de casas em climas de verão particularmente quentes. As casas em Milão e Roma continuaram a oferecer condições de conforto confortáveis. Contudo, em Palermo, as temperaturas interiores foram consistentemente superiores as temperaturas neutras mesmo com um sistema de arrefecimento activo.

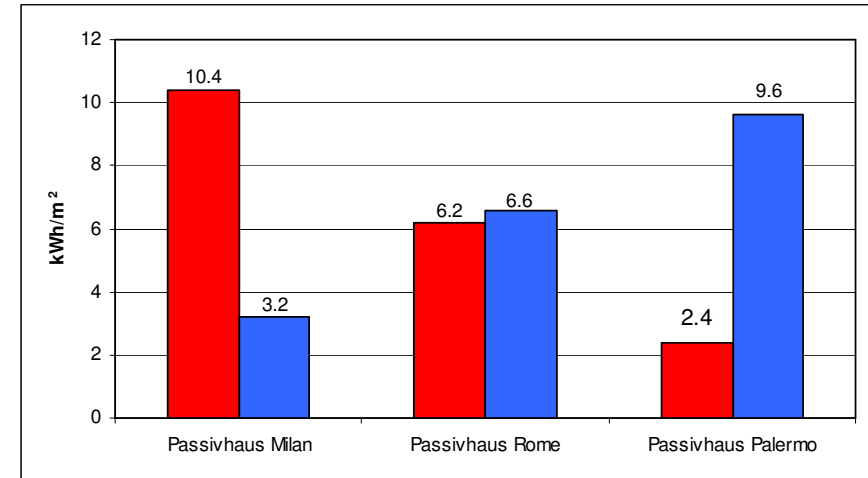


Fig. 3. 22 – Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento da casa *Passivhaus Italiana*

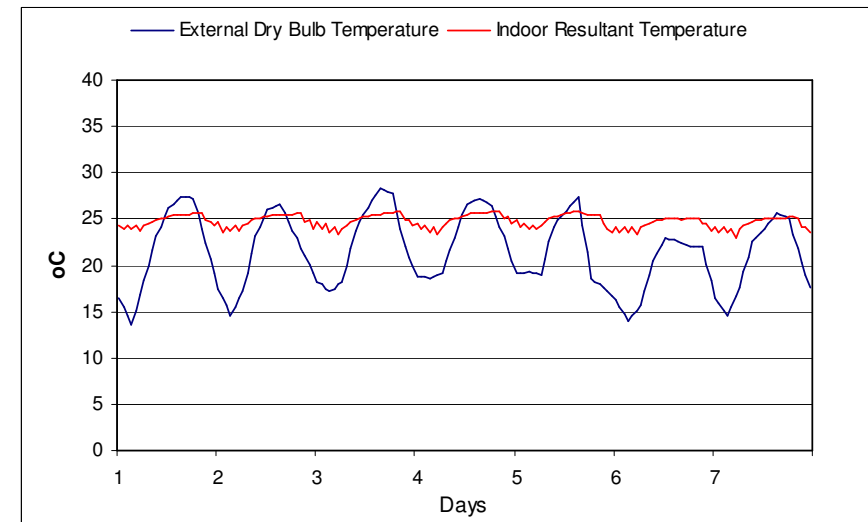


Fig. 3. 23 – Temperaturas de verão na sala de estar em Milão usando arrefecimento passivo

### 3.6 PASSIVHAUS NA FRANÇA

#### 3.6.1 A casa

O clima no norte da França é bastante semelhante ao clima da Alemanha, embora um pouco mais ameno devido à influência do Oceano Atlântico. Assim, uma casa *Passivhaus* no norte da França poderá parecer uma casa *Passivhaus* na Alemanha: elevados níveis de isolamento em toda a envolvente do edifício (tipicamente 25 a 40 cm de isolamento) sem significativas pontes térmicas, perdas por infiltrações reduzidas ao mínimo, fornecimento e extracção de ar com um eficiente sistema de recuperação de calor, caixilhos com corte térmico e vidros triplos baixo emissivos com gás no espaço de ar. Isto permite uma simplificação no sistema mecânico: o sistema de distribuição de calor pode ser substituído por um sistema central de fornecimento de ar quente para toda a casa.

Para dois climas Mediterrâneos do sul de França, nomeadamente Nice e Carpentras, as casas *Passivhaus* propostas foram desenvolvidas adaptando estes conceitos a climas mais quentes do sul. A disposição em planta corresponde à típica casa em banda de dois andares, como estão a ser construídas em larga escala por toda a Europa, com uma cave não aquecida, um espaço aberto no piso térreo e três quartos no primeiro piso. As casas são orientadas a sul com um distanciamento para a banda em frente de 23m.

Para Carpentras, o nível de isolamento pode ser reduzido para 15 cm nas paredes e 8 cm no pavimento. Para o clima ameno de Nice, é suficiente o nível de isolamento legalmente exigido pela regulamentação. A redução das pontes térmicas aplica-se a toda a envolvente, com excepção das paredes de separação da cave e do primeiro andar. Especificamente isto corresponde à utilização de isolamento pelo exterior, de modo a que as paredes interiores e os tectos não têm um efeito relevante de pontes térmicas, quando as dimensões exteriores são consideradas.

Vidro baixo emissivo com caixilharia convencional foi considerado apropriado em ambos os climas. Ventilação com recuperação de calor com reduzidas perdas nos dispositivos de admissão é também aplicável. Nos climas amenos do Mediterrâneo, os mesmos baixos consumos energéticos de aquecimento podem ser atingidos através de um sistema de extracção do ar típico, mas em Carpentras é necessário que os níveis de isolamento sejam superiores a 300mm e os caixilhos tem de ter corte térmico.



Fig. 3. 24 – Bandas *Passivhaus* em Hannover-Kronsberg (em frente). A geometria do edifício é similar à proposta de casa *Passivhaus* em França

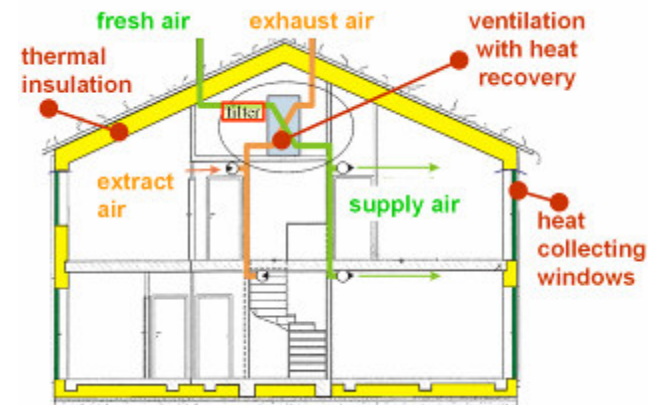


Fig. 3. 25 – Secção da casa *Passivhaus* em França. A aparência visual do edifício pode ser facilmente alterado para melhor se adaptar às preferências do local



### 3.6.2 A estratégia

As cargas máximas médias diárias são suficientemente baixas para serem suprimidas por um sistema simples de pré-aquecimento do ar. Radiadores e um sistema separado de distribuição de calor já não são mais necessários. O princípio de geração de calor não é de grande importância, mas deve ser evitado o aquecimento através de uma resistência eléctrica directa.

Devido à reduzida carga de pico de aquecimento, os sistemas do edifício podem ser significativamente simplificados. Isto reduz os custos do investimento global e assim justifica o maior investimento no isolamento da envolvente. Uma redução significativa dos custos pode ser obtida quando bombas de calor compactas são usadas. Estes sistemas utilizam o calor extraído do ar. A bomba de calor também aquece as águas quentes domésticas. Todos os serviços do edifício, ex. aquecimento, águas quentes domésticas e ventilação, estão integrados num sistema, com controlos integrados, o que podem ser simplesmente ligados sem a necessidade de um sistema de refrigeração no local. Não sendo necessária a instalação de qualquer outro fornecimento energético que não seja a electricidade.

Durante o período de verão, o isolamento das paredes e da cobertura ajuda a reduzir que a radiação solar incidente seja conduzida para o interior do edifício. Sombreados exteriores são necessários para minimizar a radiação solar através dos envidraçados. Como a média da temperatura exterior é inferior a 25 °C durante a maior parte do tempo, o sistema de ventilação com recuperador de calor é contornado durante a estação de arrefecimento.

As restantes estratégias de arrefecimento variam dependendo da localização. Em Carpentras, devido às baixas temperaturas nocturnas e aos aceitáveis níveis de humidade, a ventilação por abertura de janelas é suficiente para se atingir o conforto térmico. Para Nice, com níveis de humidade mais elevados e menos pronunciadas amplitudes térmicas diárias, o sistema activo de arrefecimento é accionado se necessário, deste modo obtendo também alguma desumidificação. É tecnicamente possível construir uma bomba de calor compacta que também providencie arrefecimento do ar, embora este sistema ainda não esteja disponível no mercado. As renovações de ar mecânicas ainda são determinadas pelos requisitos de qualidade do ar interior. Somente uma ventilação natural moderada é aceite, o que também tem em consideração a abertura das janelas quando as condições exteriores são agradáveis.

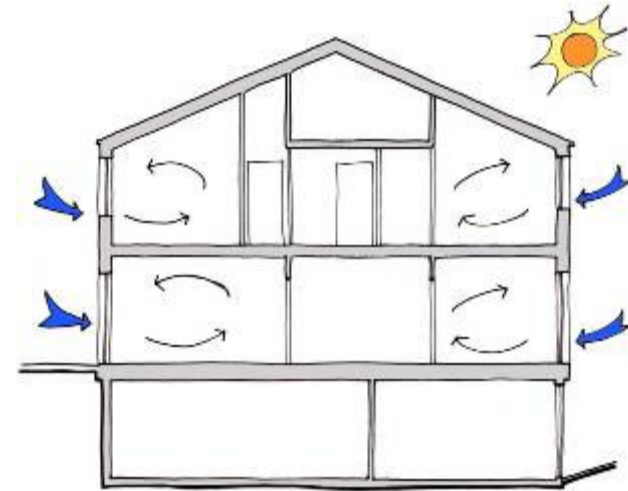


Fig. 3. 26 – Estratégia de verão

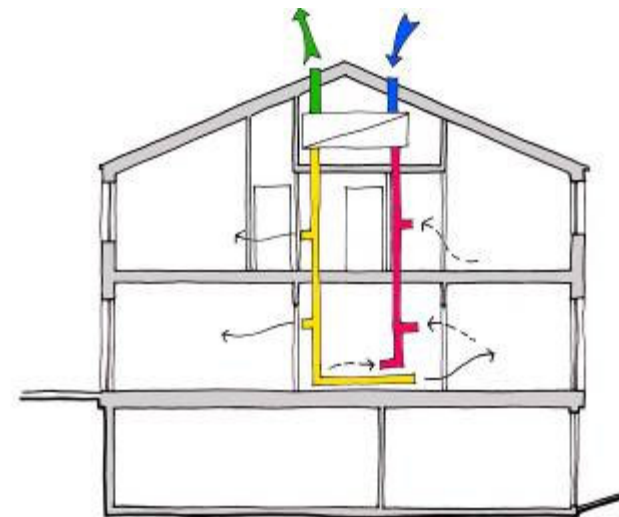


Fig. 3. 27 – Estratégia de Inverno

### 3.6.3 Desempenho: energia e conforto

Em ambas Carpentras e Nice, as necessidades anuais de aquecimento são ligeiramente abaixo de 15 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Ocasionalmente, em dias de sol de inverno, a temperatura interior sobe 1 ou 2 K acima da referência de 20 °C.

Como descrito anteriormente, os exemplos em Nice e Carpentras seguem abordagens diferentes para o arrefecimento de verão. Em Carpentras, devido ao arrefecimento passivo não é necessária qualquer energia para arrefecer. Sombreamentos e uma ventilação elevada durante períodos favoráveis (principalmente à noite) mantêm as temperaturas abaixo de 25 °C durante mais de 99% do ano, em todas as divisões. Em Nice, um resultado semelhante é obtido com o fornecimento de ar arrefecido e adicional ventilação moderada pelas das janelas. Em ambos os casos, as temperaturas resultantes mantêm-se abaixo das temperaturas de conforto adaptativo durante o período de verão.

Um assunto que merece mais análise é a humidade. Acima de 12g/kg de humidade, as pessoas começam a sentir-se desconfortáveis, independentemente da temperatura. Em adição, a humidade relativa deve manter-se entre 30 a 70%.

No caso de Carpentras, constatou-se que estes requerimentos podem ser obtidos com uma estratégia passiva durante a maioria do tempo. O limite superior da humidade relativa é excedido durante menos de 4% ao ano em todas as divisões; a fracção durante a qual o limite da humidade absoluta é excedido é ainda menor.

Em Nice, ao contrário, os níveis de humidade do ar exterior são significativamente mais elevados que nas regiões do interior. Se só se tivesse em consideração as temperaturas, as estratégias passivas poderiam facilmente ser aplicadas a este clima, semelhante ao de Carpentras. Contudo, sem desumidificação, ambos os limites superiores de humidade seriam excedidos em cerca de 13 a 15% do ano, em todas as divisões. O fornecimento de ar arrefecido e a correspondente desumidificação, por outro lado originam condições de conforto.

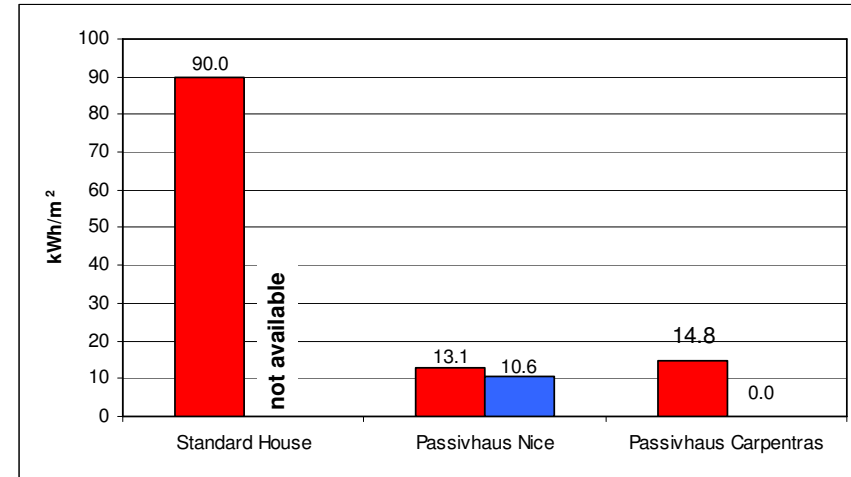


Fig. 3. 28 – Necessidades anuais de aquecimento numa casa típica e numa *Passivhaus*

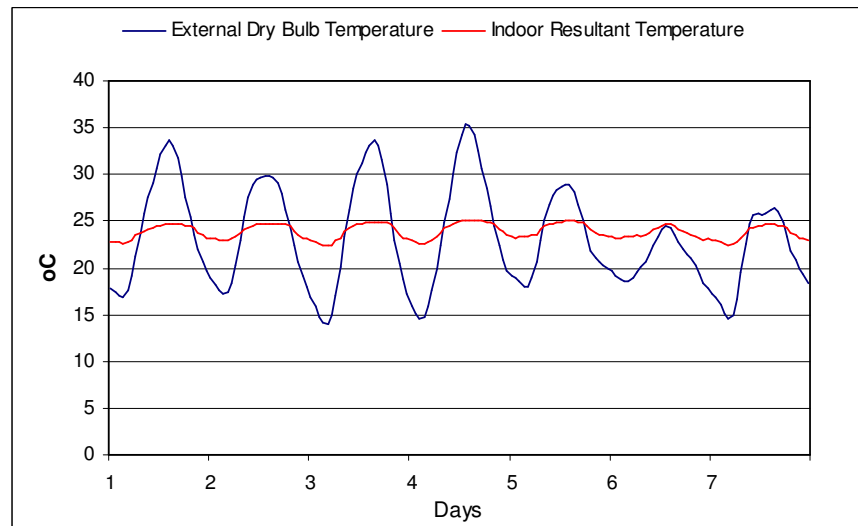


Fig. 3. 29 – Temperaturas resultantes de bolbo seco típicas no verão sem arrefecimento passivo (Carpentras, máximo de todas as divisões de habitação)

## 4 APLICABILIDADE DO CLIMA

### 4.1 INTRODUÇÃO

O objectivo deste capítulo é investigar a aplicabilidade do clima das estratégias e cenários introduzidos nas propostas de casas nacionais Passivhaus. Embora cada proposta nacional contenha uma ou duas localizações climáticas por país, isto não significa que os exemplos apresentados podem ser generalizados para o respectivo país. Diferentes climas, mesmo dentro do mesmo país, podem implicar que uma solução específica ou uma estratégia passiva possa funcionar num contexto mas não no outro.

### 4.2 APLICABILIDADE DO CLIMA

As necessidades energéticas de um edifício dependem do clima e das características térmicas da envolvente do edifício. Os parâmetros do clima que influenciam as necessidades energéticas do edifício são a temperatura exterior e a radiação solar. Potencialmente, as necessidades de aquecimento e arrefecimento podem ser analisadas com base nos 'graus dias' mas este método só toma em consideração a temperatura, não considerando a radiação solar. Assim, de modo a comparar dois climas diferentes deve-se comparar tanto a temperatura exterior como a radiação solar. Isto significa que é possível extrapolar o uso de técnicas passivas/estratégias de projecto de uma localização para outra localização quando ambas têm valores similares de temperatura e radiação solar. Este pressuposto coloca duas novas questões: será que é possível comparar temperaturas exteriores? E será que é possível comparar níveis de radiação em diferentes localidades?

Graus dias de inverno e de verão podem ser utilizados para comparar temperaturas exteriores de diferentes localidades e determinar as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Quanto maiores forem os graus dias de aquecimento e de arrefecimento, mais elevadas serão as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Contudo, ao comparar a radiação solar e os graus dias de inverno e de verão em duas localizações e constatando que todos os factores são iguais, então as soluções ou técnicas válidas num clima também são válidas no outro.

Com os próximos quatro mapas, figuras 4.1 to 4.4, podem-se comparar os parâmetros climáticos em diferentes localizações e se estes quatro

parâmetros são iguais, podem usar-se todas as técnicas utilizadas na casa *Passivhaus* de uma localização na correspondente noutra localidade.

Fig. 4. 1 – Graus-dias de inverno

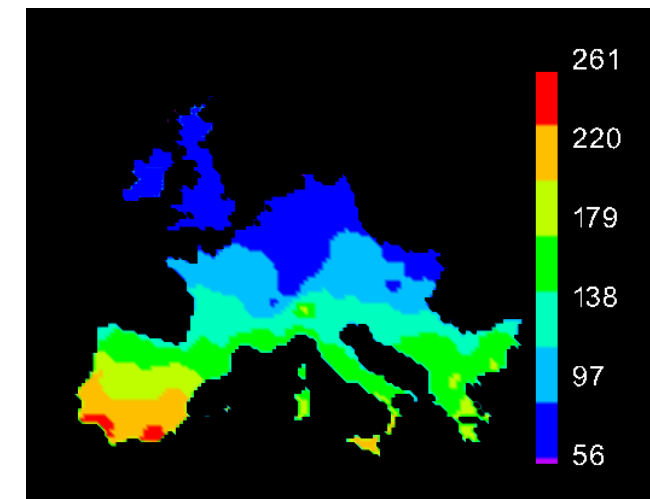
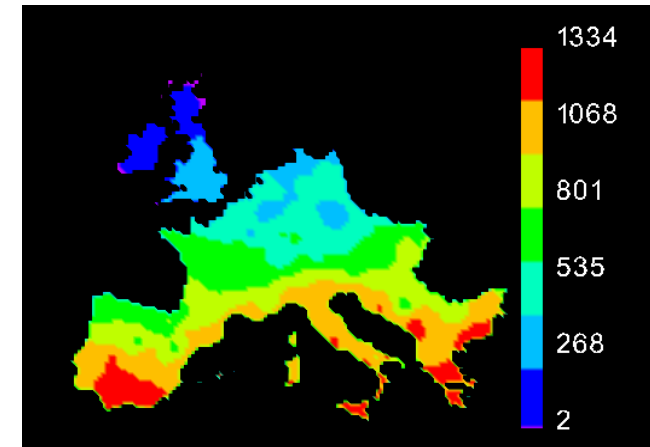


Fig. 4. 2 – Graus-dias de verão

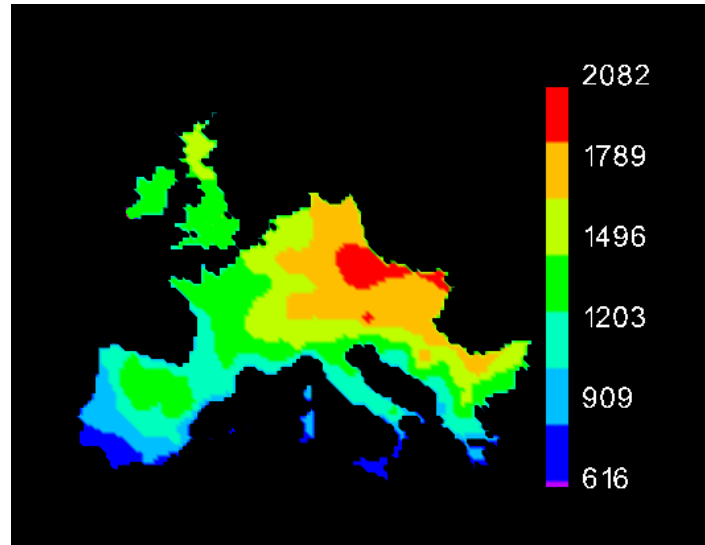


Fig. 4. 3 – Radiação em superfície horizontal no inverno ( $\text{kW/m}^2$ )

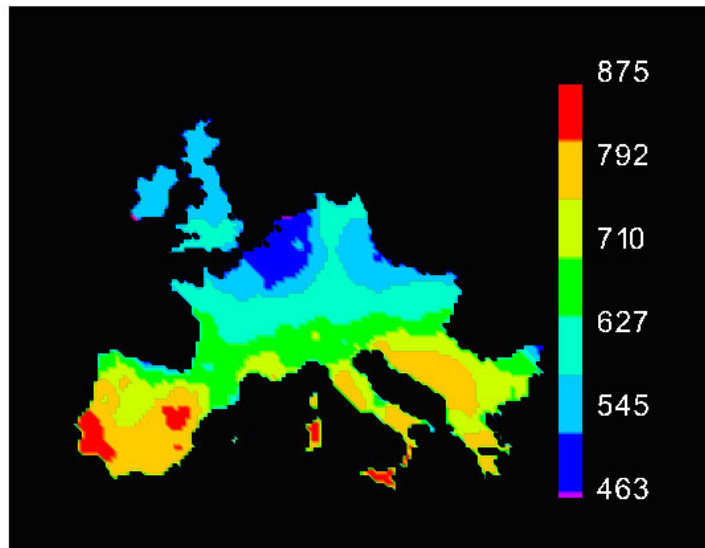


Fig. 4. 4 – Radiação em superfície horizontal no verão ( $\text{kW/m}^2$ )

### 4.3 ÍNDICE DE SEVERIDADE CLIMÁTICA

O impacto do clima nas cargas de aquecimento e de arrefecimento é por vezes expressa em termos do número de 'graus-dias' dessa localidade. Contudo, como se pode ver em 4.2, isto não toma em consideração a influência da radiação solar ou das características térmicas de um edifício em particular.

O 'Índice de Severidade Climática' (CSI) foi desenvolvido para permitir que a caracterização do clima em relação a um edifício, de conhecidas características da envolvente (Markus et al 1984). O CSI (um número único numa escala adimensional) é específico para cada edifício e localização e tem em consideração a temperatura e a radiação solar. O CSI é calculado separadamente para representar as condições de inverno e de verão.

Duas condições climáticas diferentes de inverno podem ser consideradas idênticas se as necessidades de aquecimento são as mesmas num determinado edifício. Neste caso, pode-se dizer que ambas condições climáticas de inverno têm a mesma Severidade Climática de Inverno (WCS). A mesma definição é válida para as necessidades de arrefecimento e o termo a adoptar poderia ser a Severidade Climática de Verão (SCS). É possível que duas condições climáticas tenham uma Severidade Climática de Inverno (WCS) igual, mas uma Severidade Climática de Verão (SCS) diferente. Isto pode ocorrer se por exemplo se comparar Brighton, no Reino Unido com Milão em Itália na Tabela 4.1.

Para ilustrar esta variação na Europa, as necessidades de aquecimento e arrefecimento foram determinadas para 8 edifícios em 18 localizações. Considerando a média das necessidades de aquecimento e a média das necessidades de arrefecimento de todos os edifícios em cada localização, uma necessidade de aquecimento e uma de arrefecimento foram associadas a cada localização, e todos os valores foram divididos pelo valor de Madrid. Os resultados são apresentados na Tabela 4.1 e ilustrados para o CSI de inverno e de verão (fig. 4.4 e 4.5).

Estes mapas, contudo, são úteis para comparar climas e para identificar diferentes zonas climáticas num determinado país, mas não são apropriados para verificar a aplicabilidade de uma técnica específica em diferentes localizações. Para tal devem ser utilizados os mapas e a metodologia explicada em 4.2.

Tabela 4.1 – Índice de Severidade Climática em localizações Europeias



Localização	Severidade Climática de Inverno (WCS)	Severidade Climática de Verão (SCS)
Alemanha (Dresden)	3.31	0.00
Alemanha (Braunschweig)	2.56	0.05
Alemanha (Freiburg)	2.14	0.10
Reino Unido (Brighton)	1.83	0.01
Reino Unido (Glasgow)	2.59	0.00
Reino Unido (Londres)	2.22	0.01
Reino Unido (Newcastle)	2.59	0.00
Reino Unido (Nottingham)	2.36	0.00
França (Agen)	1.44	0.19
França (Carcassonne)	1.24	0.37
Itália (Milão)	1.81	0.46
Itália (Roma)	0.83	1.19
Itália (Trapani)	0.32	1.87
Portugal (Lisboa)	0.37	1.05
Espanha (Sevilha)	0.32	2.56
Espanha (Madrid)	1.00	1.00
Espanha (Granada)	0.81	1.11
Espanha (Burgos)	1.96	0.05

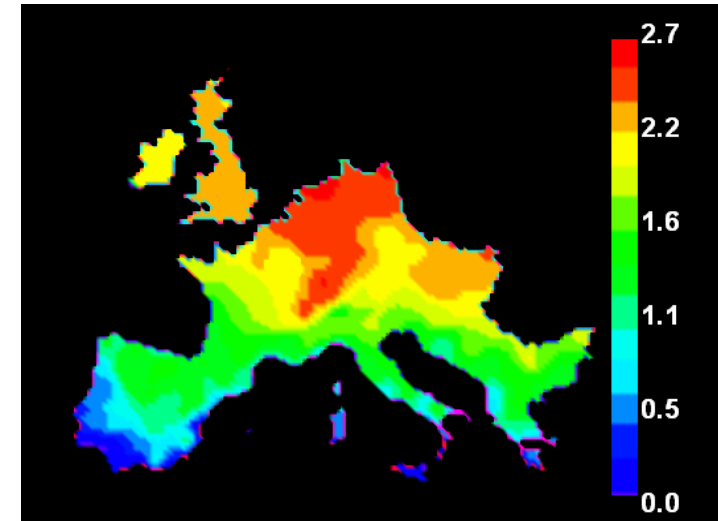


Fig. 4.5 – Índice de Severidade Climática de Inverno (WCS)

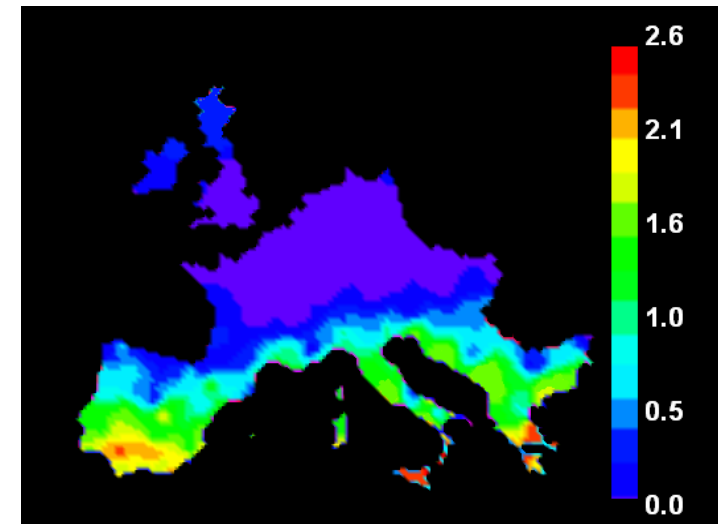


Fig. 4.6 – Índice de Severidade Climática de Verão (SCS)

#### 4.4 MAPAS DE POUPANÇA ENERGÉTICA

Os próximos mapas, de 4.6 a 4.9, apresentam a poupança média

expectável quando de melhoram alguns componentes. Para a cobertura e as paredes, as poupanças são apresentadas em todos os casos em kWh/m<sup>2</sup> dos componentes quando a melhoria dos seus valores de U é 0.10 W/m<sup>2</sup>K; no caso das janelas, as poupanças foram expressas em todos os casos em kWh/m<sup>2</sup> de envidraçado quando os vidros duplos são substituídos por vidros baixo emissivo.

Um exemplo é apresentado de seguida de modo a clarificar os conceitos subjacentes. Por exemplo, considerando uma cobertura com um valor de U de 0.45 W/m<sup>2</sup>K, uma redução de 0.1 W/m<sup>2</sup>K (ex. melhorando o isolamento) resultará num novo valor de U de 0.35 W/m<sup>2</sup>K. Isto pode ser facilmente obtido com 200mm de isolamento com uma condutividade térmica de 0.031 W/mK. Em sumário, ao acrescentar 200mm de isolamento à solução inicial levará a uma poupança energética média de 6 kWh/m<sup>2</sup> em Paris ou em Londres; de notar que esta figura pode ser tão alta como 7 na Alemanha e tão baixa, como 3 em Lisboa (figure 4.7).

Como as poupanças energéticas são proporcionais à redução do valor de U, se este é diferente de 0.1 W/m<sup>2</sup>K, as poupanças energéticas médias podem ser calculadas dividindo a redução do valor de U por 0.1 e multiplicando o número resultante pela figura no mapa. Por exemplo, se a redução do valor de U do exemplo anterior era 0.15, a esperada poupança energética média seria de 9 kWh/m<sup>2</sup> de cobertura em Paris ou Londres, sendo este o valor da figura 4.7 multiplicado por 1.5 (i.e. 0.15/0.10).

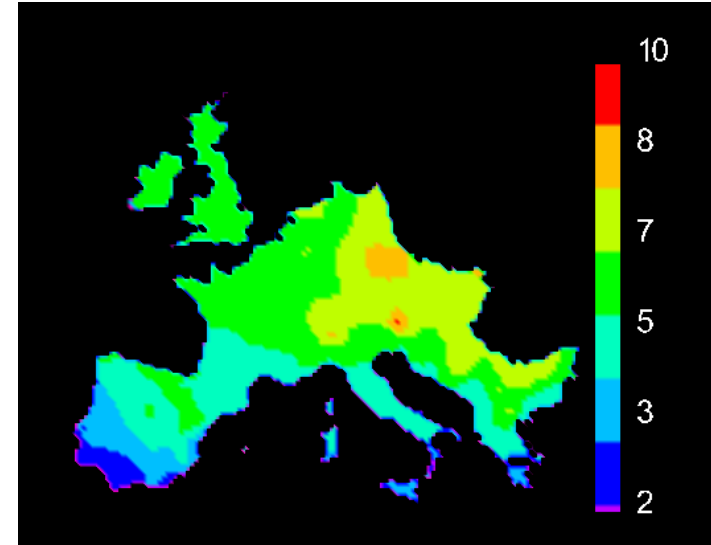


Fig. 4. 7 – Poupança média em kWh/m<sup>2</sup> por componente: melhoramento da cobertura

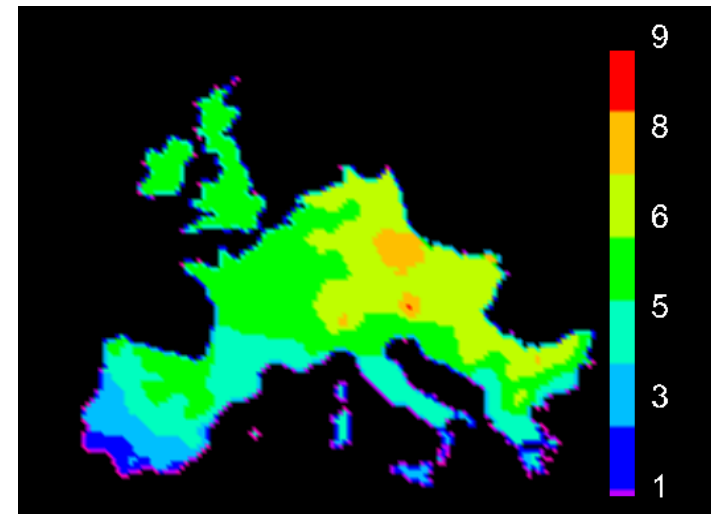


Fig. 4. 8 – Poupança média em kWh/m<sup>2</sup> por componente: melhorando as fachadas orientadas a sul

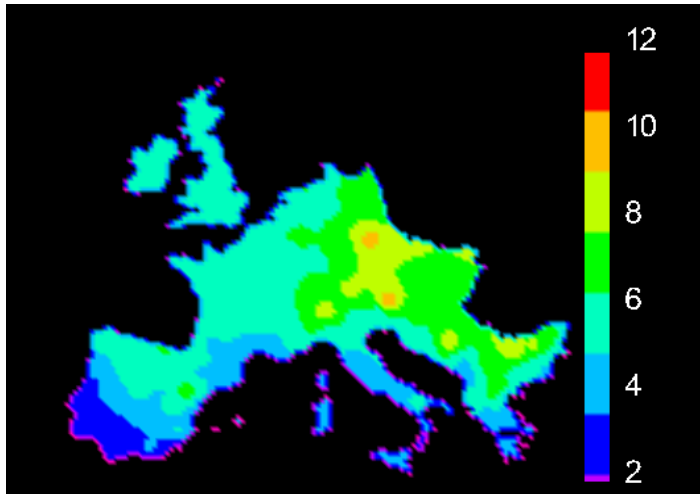


Fig. 4. 9– Poupança média em kWh/m<sup>2</sup> por componente: melhorando as fachadas orientadas a norte

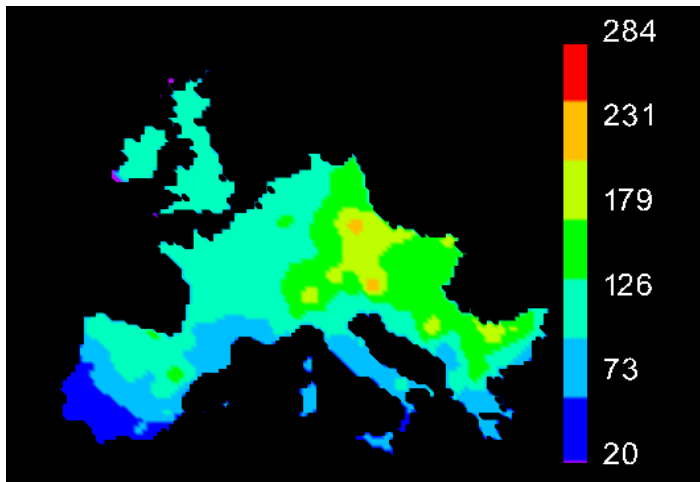


Fig. 4. 10 – Poupança média em kWh/m<sup>2</sup> por componente: melhorando os envidraçados a norte de vidro duplo para vidro baixo emissivo

## 5 CUSTO DA CASA PASSIVHAUS

### 5.1 INTRODUÇÃO

O custo da casa *Passivhaus* proposta foi investigado no contexto do ciclo de vida do edifício. A análise económica de cada alternativa nacional foi efectuada com o resultado da colaboração de todos os participantes no projecto, sendo o conhecimento especializado, o conhecimento local e contactos com a indústria da construção uma parte vital do processo.

O trabalho procurou estimar a energia e a poupança na manutenção da casa *Passivhaus* otimizada proposta de acordo com os diferentes cenários do ciclo de vida do edifício. Comparou-se o custo inicial de construção de uma casa típica e da casa *Passivhaus* proposta nos vários países, tal como o foi estimado o custo detalhado das opções *Passivhaus*, de modo a comparar as diferenças de custo relativo entre as duas soluções e para a análise do tempo de vida do edifício.

Os custos iniciais foram estimados baseados em informação disponível, principalmente de fonte governamental e relatórios estatísticos da indústria, sobre os custos associados com o desenvolvimento de edifícios residenciais típicos. Os custos iniciais associados às soluções passivas optimizadas foram estimados com base nas diferentes estratégias propostas por cada parceiro e os seus componentes associados e custos dos materiais.

Foi efectuado um estudo detalhado do custo inicial extra das soluções passivas optimizadas através da identificação das diferentes estratégias adoptadas e da determinação dos produtos associados, dos materiais e custos de mão-de-obra. Estes custos extras foram estimados com referência a um edifícios típico local. O presente trabalho apresenta valores para a Alemanha, França, Espanha (Granada e Sevilha), Itália e o Reino Unido.

A análise do custo do ciclo de vida (LCCA) é uma técnica de análise económica que determina as despesas totais associadas a uma propriedade e manutenção da mesma durante um determinado período de tempo. Assim, no presente caso, os princípios do LCCA são usados para analisar os benefícios económicos da casa '*Passivhaus* optimizada' por cada parceiro em comparação com uma casa típica de referência, e concentra os seus esforços em determinar tanto os custos iniciais como os de futuro associados com a manutenção do edifício. Os benefícios económicos

esperados são analisados pela perspectiva do proprietário – locatário, ou alternativamente, pelo ponto de vista do construtor/promotor que transferirá os benefícios para os futuros proprietários.

De notar que a importância de uma análise LCCA não é só o calcular de todas as despesas associadas com as alternativas passivas optimizadas durante um período de tempo, mas a capacidade de comparar os seus custos totais associados com os derivados de uma alternativa de referência típica. Isto permite determinar qual a opção que promove o melhor 'valor do dinheiro'. Mais ainda, atendendo a que LCCA é baseada num modelo de análise dinâmico, considera os aumentos esperados de custos específicos – i.e. custo do combustível e da electricidade – enquanto considera a oportunidade de investimento e da valorização do dinheiro.

As principais variáveis de LCCA são assumidas aqui: o custo inicial e os custos futuros de propriedade (1-2%); o período de tempo durante o qual estes custos existem ou, alternativamente um pré-determinado período de análise (10 a 20 anos); e o desconto que é aplicado aos custos futuros para equaciona-los ao presente (3.5%)

### 5.2 CUSTO INICIAL & CUSTOS EXTRA

A tabela seguinte apresenta os custos médios de construção de casas típicas e os custos esperados associados a alternativas passivas. Os custos extra iniciais estimados necessários para 'actualizar' a casa típica de referência para uma casa de qualidade 'passiva' são também apresentados.

	Casa típica €/m <sup>2</sup>	<i>Passivhaus</i> €/m <sup>2</sup>	Custos Extras €/m <sup>2</sup>	Custos Extras (%)
França	1100	1203	103	9
Alemanha	1.400	1.494	94	6.71
Itália	1.200	1.260	60	5
Espanha (Granada)	720	744,1	24,1	3,35
Espanha (Sevilha)	720	740,5	20,5	2,85
Reino Unido (€)	1.317	1390	73	5,54
Reino Unido (£)	881	930	49	5,54

Como a tabela apresenta, o custo extra inicial varia entre 2.85% (Sevilha) a

10% (França) do custo respectivo da casa típica de referência. Esta variação reflecte as diferentes realidades em termos do custo de construção, tradições de construção e regulamentação em vigor.

### 5.3 ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA

Os custos do ciclo de vida associados às medidas passivas adicionais para reduzir a necessidade de aquecimento e de arrefecimento na casa típica de referência e na casa *Passivhaus* foi calculado para Itália, Espanha, França, Alemanha e o Reino Unido, (um limite de 15kWh/m<sup>2</sup>.ano para aquecimento e arrefecimento – equivale a 'Classe A' de casas ou apartamentos no Reino Unido).

A tabela seguinte sumariza os resultados individuais e permite uma comparação directa entre os diferentes países parceiros. Como referido anteriormente, as comparações devem ser feitas com cautela pois as realidades locais e as restrições de mercado, que estão reflectidas nos cálculos, têm um efeito significativo nos resultados aqui apresentados.

Concluiu-se que os custos extras variam entre 3 a 10% entre os diferentes centros (a Espanha representa o melhor investimento adicional). As poupanças de energia totais medidas em comparação a uma casa típica, com a mesma área de pavimento, revelaram ser na ordem dos 25 a 65%. Em todos os casos os custos do ciclo de vida acima de 20 anos foram menores para a *Passivhaus* do que para a casa típica. Em Espanha um custo do ciclo de vida reduzido foi obtido em 10 anos.

O período de retorno variou de 4 a 19 anos para os diferentes países. Quanto mais se dirige para o sul da Europa o período de retorno diminui, de 19 anos no Reino Unido e Alemanha, para 8 anos na Itália e 4-5 no sul de Espanha.

Isto indica que, para os proprietários das casas e para as associações de habitação social, o investimento inicial pode ser visto como muito vantajoso.

#### Quadro Sumário

		França	Alemanha	Itália	Espanha a Granad a	Espanha a Sevilha	Reino Unido
Custo Extra Inicial (€/m <sup>2</sup> )		103	94	60	24,1	20,5	73
Custo Extra Inicial (%)		9%	6,71%	5%	3,35%	2,85%	5,54%
Poupança Energética Total (kWh/m <sup>2</sup> .ano)		55	75,0	86,0	65,5	37,6	39,7
Poupança Energética Total (%)		45%	50,0%	65,4%	57,3%	40,7%	26,4%
Custo Extra por poupança kWh/m <sup>2</sup> .ano		1,87	1,25	0,70	0,37	0,55	1,84
LCC 10 anos €	Típica	143.731	184.716	193.817	101.828	98.385	108.337
	Passiva	152.621	190.104	190.437	95.676	96.100	111.988
LCC 20 anos €	Típica	160.343	204.942	221.148	117.928	108.689	117.875
	Passiva	160.552	200.579	198.458	103.647	102.290	117.256
Quociente Custo-Benefício, 10 anos		-0,72	-0,48	0,39	2,13	0,93	-0,65
Quociente Custo-Benefício, 20 anos		0,02	0,39	2,63	4,94	2,60	0,11
Período de Retorno do Capital (anos)		19.5	19	8	4	5	19

## 6 BIBLIOGRAFIA

*A Green Vitruvius - Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*, James & James (Science Publishers) Ltd. For the European Commission, Directorate General XVII for Energy and the Architect's Council of Europe, London, 1999

Allard, Francis (Editor): *Natural Ventilation in buildings – a design handbook* James & James (Science Publishers) Ltd. UK 1998

Anderson, Bruce: *Solar Energy: Fundamentals in Building Design*, McGraw-Hill Book Company, USA 1977

Anink, David; Chiel, Boonstra; Mak, John: *Handbook of Sustainable Building*, James & James, London, 1996

Auliciems, Andris; Szokolay, Steven V.: *Thermal Comfort*, PLEA Notes, note 3, 1997

Burton, Simon (Editor): *Energy efficient office refurbishment*, James & James, London, 2001

Carotti A., *La Casa Passiva*, Ed. Clup 2004 (Collana "Innovazione e hi-tech in Architettura ed Edilizia")

Carotti A., *La Casa Passiva in Europa*, Ed. Clup 2005.

CIBSE: *Energy efficiency in buildings*, CIBSE Guide F, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London 2006

CIBSE: *Environmental design*, CIBSE Guide A, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London 2006

Cofaigh, Eoin O.; Olley, John A.; Lewis, J. Owen: *The Climatic Dwelling: An introduction to climate-responsive residential architecture*, James & James on behalf of the European Commission, 1996

Daniels, Klaus: *Advanced Building Systems*, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin, 2002

De Herde, A., Liébard, A.: *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques* Editions Observ'er, Observatoire des énergies renouvelables, Paris,

Architecture et climat, Le Moniteur, 2005, ISBN 2-913620-37-X

DGGE / IP-3E: *Reabilitação Energética da envolvente de edifícios residenciais*, Lisboa 2004

Flanagan, Roger; Norman, George: *Life cycle costing for construction*, Royal Institution of Chartered Surveyors, 1989

Franklin Research Center: *The First Passive Solar Home Awards*, U.S. Department of Housing and Urban Development, in cooperation with the U.S. Department of Energy, Philadelphia 1979

Gissen, David (Editor): *Big & Green*, Princeton Architectural Press, New York, 2002

Givoni, Baruch: *Climate considerations in building and urban design*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1998

Givoni, Baruch: *Passive and low energy cooling of buildings*, John Wiley, New York, 1994

Gonçalves, Helder; Graça, João Mariz: *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, INETI, 2004

Gonçalves, Helder; Joyce, António; Silva, Luis (Editores): *Forum Energias Renováveis em Portugal*, ADENE / INETI, Lisboa 2002

Goulding, John R.; Lewis, J. Owen; Steemers, Theo C.: *Energy in Architecture: the European Passive Solar Handbook*, Commission of the European Communities, 1992

Goulding, John R.; Lewis, J. Owen; Steemers, Theo C.: *Energy Conscious Design: A primer for architects*, Commission of the European Communities, 1992

Hulme et al. Climate Change Scenarios for the United Kingdom. The UKCIP02 Scientific Report, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK. 120pp (2002). (available from <http://www.ukcip.org.uk/resources/publications> )

International Energy Agency - IEA: *Solar energy in building renovation*, James & James, London, 1997

Liddament, Martin W.: *A Guide to Energy Efficient Ventilation*, International Energy Agency, AIVC, Oscar Fager Plc, 1996

Mazria, Edward: *The Passive Solar energy Book – A complete guide to passive solar house, greenhouse and building design*, Rodale Press, Emmaus, Pa. 1979

Moore, Fuller: *Environmental Control Systems: heating cooling lighting*, McGraw-Hill International Editions, Singapore 1993

Nascimento, Carlos; Gonçalves, Helder: *Prémio DGE 2003 – Eficiência Energética em Edifícios*, DGGE / IP-3E, Lisboa 2005

Olgay, Victor: *Design with Climate*, Princeton University Press, Princeton 1973

Ray-Jones, Anna (Editor): *Sustainable Architecture in Japan: The Green Buildings of Nikken Sekkei*, Wiley-Academy, 2000

RCCTE: *Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios*, Decreto-Lei N. 80/06 de 4 de Abril

RCESE: *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*, Decreto-Lei N. 79/06 de 4 de Abril

Santamouris, M.; Asimakopoulis, D. (Editores): *Passive Cooling of Buildings*, James & James, London 1996

Santamouris, Mat (Editor): *Environmental design of urban buildings: An integrated approach*, Earthscan, London, Sterling, VA, 2006

SCE: *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios*, Decreto-Lei N 78/06 de 4 de Abril

Schnieders, Jürgen und Wolfgang Feist: *Wärmebrückenfreies Konstruieren*, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 6, Fachinformation PHI-1999/5, Darmstadt, Passivhaus Institut, Januar 1999

Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R. und Kah, O.: *CEPHEUS – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht*, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 22, Fachinformation PHI-2001/9, Darmstadt, Passivhaus Institut, Juli 2001  
(A slightly modified version of this project report is also available in English

and for free from  
[http://www.passiv.de/07\\_eng/news/CEPHEUS\\_final\\_long.pdf](http://www.passiv.de/07_eng/news/CEPHEUS_final_long.pdf))

Søren Peper, Wolfgang Feist, Vahid Sariri: *Luftdichte Projektierung von Passivhäusern. Eine Planungshilfe*. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 7, Fachinformation PHI-1999/6, Darmstadt, Passivhaus Institut, 1999

Szokolay, S. V.: *Solar energy and building*, The Architectural Press, London, Halsted Press, a Division of John Wiley & Sons Inc., New York, first published 1975 in Great Britain, second edition reprinted 1978

Szokolay, Steven V.: *Solar Geometry*, PLEA Notes, note 1, 1996

Szokolay, Steven V.: *Environmental Science Handbook*, The Construction Press, Lancaster 1980

Turnpenny, J.R., Etheridge, D.W., Reay, D.A. 'Novel ventilation system for reducing air-conditioning in buildings. Part 2: Testing of prototype.' In *Applied Thermal Engineering* 21 (2001) 1203-1217. Pergamon

United Nations Development Programme: *World Resources*, World Resources Institute, Washington, 2000

Watson, Donald: *Designing & Building a Solar House*, Garden Way Publishing, Vermont 1977

Wienke U., *L'edificio Passivo*, Standard, Requisiti, Esempi, Alinea 2002

Wines, James: *Green Architecture*, Taschen 2000

Wright, David: *Natural Solar Architecture: a passive primer*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne, 1978

Yannas, Simos: *Solar Energy and Housing Design*, Volume 1: Principles, Objectives, Guidelines, Architectural Association Publications, London, 1994

Zöld, András; Szokolay, Steven V.: *Thermal Insulation*, PLEA Notes, note 2, 1995.