

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

João Rui Santos Pires Gavião

**Princípios para a aplicação do
conceito *Passive House* em Portugal**

Tese de Mestrado em Construção e Reabilitação
Sustentáveis

Trabalho efectuado sob a orientação da Professora
Doutora Sandra Maria Gomes Monteiro da Silva

Novembro de 2012

É autorizada a reprodução integral desta tese/trabalho apenas para efeitos de investigação,
mediante declaração escrita do interessado, que a tal se compromete

Agradecimentos

Agradeço à minha família e em especial à Diana Gavião, aos meus amigos, à Homegrid e à professora Sandra Silva por todo o apoio prestado para a realização deste trabalho.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Resumo

O actual padrão de consumo energético, baseado sobretudo no recurso ao petróleo e com os índices de crescimento que tem registado, está na génese de muitos problemas com que a humanidade se depara. As reservas de petróleo são finitas e caminham para a sua extinção. A segurança e as condições do abastecimento energético têm em sido postas em causa. A actual concentração de CO₂ na atmosfera é já uma ameaça à estabilidade do planeta. Se nada for feito, a humanidade terá de se adaptar a viver com uma temperatura média superior em 6°C. Nesse cenário, o equilíbrio do planeta terá já sido totalmente posto em causa.

Mudar de paradigma energético não é só o desafio do futuro. No presente, têm de ser dadas respostas firmes e traçados objectivos ambiciosos para que tal mudança se verifique. É fundamental reduzir o consumo e alterar as fontes de energia.

Segundo Wolfgang Feist, “The best energy is less energy”. Feist defende que a eficiência energética é a mais importante, mais económica e mais segura opção energética. O sector dos edifícios, como grande consumidor de energia, tem um considerável potencial de poupança energética. O conceito *Passive House* surge, assim, como uma resposta eficiente sob o ponto de vista energético, económico e do conforto.

O desafio passa por aplicar o conceito Passive House na construção em Portugal e por transportar o parque edificado existente para padrões de grande eficiência energética e conforto e com custos acessíveis. Deste modo, poderá ser dado um importante contributo para a redução do consumo energético e das emissões de CO₂ e para a independência energética do país.

Palavras-Chave: Reabilitação, Eficiência Energética, *Passive House*, Conforto Térmico, Qualidade do Ambiente Interior

Principles for the application of the Passive House concept in Portugal

Abstract

The current energy consumption, based particularly in oil resources and with its growth rates, is the basis of many problems that human kind faces. The oil reserves are finite and are going towards its end. The safety of energy supply has been constantly challenged. The current CO₂ concentration in the atmosphere is already a threat to the stability of the planet. If nothing is done, human kind will have to adjust our lives and way of living with a temperature increase by 6 ° C. In this scenario, the balance of the planet has already been totally undermined.

To switch the energy paradigm it isn't a future challenge. Right now it must be given solutions and set ambitious targets for such switch occurs. It is essential to reduce consumption and change energy sources.

According to Wolfgang Feist "The best energy is less energy". Feist defends that energy efficiency is the most important, the most economic and the safest energy option. The buildings sector, as a major energy consumer, has considerable potential for energy savings. The Passive House concept arises as an efficient response in terms of energy, economy and comfort.

The challenge is to apply the Passive House concept in building sector in Portugal and to move the existing building stock standards to high energy efficiency and comfort standards in an affordable way. This may be an important contribution to the reduction of energy consumption and CO₂ emissions aiming the country's energy independence.

Keywords: Building Renovation, Energy Efficiency, *Passive House*, Thermal comfort, Indoor Air Quality

Índice

1. Introdução	
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	2
2. A energia e o ambiente construído	
2.1 O panorama energético mundial	5
2.1.1 Os consumos energéticos a nível mundial	5
2.1.2 Os riscos do actual padrão de consumo	6
2.2 As emissões de CO ₂ e as alterações climáticas	7
2.3 Cenários para o consumo energético e para as emissões de CO ₂	8
2.3.1 O Cenário de Referência da IEA	9
2.3.2 O Cenário 450 da IEA	10
2.3.3 Outros cenários	12
2.4 O sector dos edifícios	12
2.5 O panorama energético em Portugal	14
2.5.1 O consumo energético	14
2.5.2 A dependência externa	15
2.6 O ambiente construído em Portugal	17
2.6.1 A explosão do sector da construção	17
2.6.2 O parque habitacional	18
2.6.3 O consumo energético dos edifícios	19
2.7 Eficiência energética	19
2.7.1 A eficiência energética como prioridade	19
2.7.2 A eficiência energética nos edifícios	20
2.7.3 O enquadramento legislativo em Portugal	21
2.8 A reabilitação do parque edificado em Portugal	25
2.8.1 A reabilitação de edifícios	25
2.8.2 Mudança de paradigma no sector da construção	26
2.8.3 O peso actual da reabilitação	27
2.8.4 Os programas de incentivo à reabilitação	28
3. O conceito <i>Passive House</i>	29
3.1 O que significa ser <i>Passive House</i>	29
3.2 Origem e desenvolvimento do conceito	29
3.3 A implementação do conceito	33
3.4 Os padrões <i>Passive House</i>	36
3.5 Os princípios fundamentais	39
3.6 Envolvente opaca do edifício	40
3.7 Vãos envidraçados	41

3.8	Estanquidade	42
3.9	Ventilação	45
3.10	Ganhos solares e ganhos internos	49
3.11	Modelação energética – cálculo balanço energético	50
3.12	A certificação <i>Passive House</i>	51
3.13	Comparação entre <i>Passive House</i> e Solar Passivo	51
3.14	<i>Passive House</i> como padrão para o NZEB	58
3.15		60
3.15.1	<i>Passive-On</i>	61
3.15.2	Estudo - <i>Passive Houses in South West Europe</i>	63
3.15.3	Exemplos de edifícios <i>Passive House</i> em países do Sudoeste Europeu	65
3.16	A reabilitação nos padrões <i>Passive House</i>	70
3.16.1	A certificação EnerPHit	71
3.16.2	Exemplos de edifícios reabilitados de acordo com os padrões <i>Passive House</i>	72
4.	Caso de Estudo – primeiras <i>Passive Houses</i> em Portugal	
4.1	Metodologia	77
4.2	O processo de adaptação ao conceito <i>Passive House</i>	78
4.3	A definição dos princípios <i>Passive House</i>	83
4.4	A melhoria da envolvente do edifício	84
4.4.1	Parede exterior	85
4.4.2	Cobertura	87
4.4.3	Janelas	88
4.5	O sistema de ventilação	89
4.6	A estanquidade	91
4.7	Equipamentos	93
4.8	Resultados do PHPP	94
4.9	Monitorização	95
4.10	Custos	96
4.11	Outras considerações	97
5.	Princípios para a reabilitação <i>Passive House</i>	
5.1	<i>Passive House Planning Package</i> (PHPP)	99
5.2	Levantamento do edifício	99
5.3	Alterações à arquitectura	100
5.4	Melhoria da envolvente do edifício	101
5.4.1	Isolamento	101
5.4.2	Coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente	102

5.4.3 Minimização das pontes térmicas	106
5.4.4 Janelas	108
5.5 Estanquidade	110
5.6 Sistema de Ventilação	112
5.7 Equipamento	112
5.8 Custos	113
6. Conclusões e trabalhos futuros	
6.1 Conclusões	115
6.2 Trabalhos futuros	117
Referências bibliográficas	119

Lista de figuras

Figura 1	Evolução do consumo mundial de energia final, por região, em Mtep	3
Figura 2	Evolução do consumo mundial de energia final, por fonte, em Mtep	4
Figura 3	Evolução das emissões mundiais de CO ₂ , por região, em Mt	6
Figura 4	Cenário de Referência - procura de energia primária a nível mundial, por fonte	7
Figura 5	Cenário de Referência – evolução das emissões mundiais de GEE, por tipo de gás	8
Figura 6	Cenário de Referência e Cenário 450 – evolução das concentrações de GEE	9
Figura 7	Cenário 450 – evolução das emissões de GEE, por tipo de gás	9
Figura 8	Evolução do consumo total de energia primária em Portugal, por fonte, em Ktep	13
Figura 9	Evolução do consumo total de energia final em Portugal, por sector, em Ktep	12
Figura 10	Evolução da dependência energética de Portugal, em percentagem	14
Figura 11	Evolução do défice da dependência energética de Portugal, em percentagem do PIB	14
Figura 12	Distribuição do stock habitacional na UE-25	15
Figura 13	Evolução das reabilitações e construções novas em Portugal	17
Figura 14	Peso do investimento na reabilitação, dentro do sector da construção, em percentagem	25
Figura 15	Vista geral do Philips Experimental House Project em Aachen, Alemanha	28
Figura 16	Vista geral do edifício sede do Rocky Mountain Institute no Colorado, EUA	29
Figura 17	Vista interior do edifício sede do Rocky Mountain Institute no Colorado, EUA	29
Figura 18	Vista do alçado Sul, no Verão de 1992, do primeiro edifício <i>Passive House</i> , em Darmstadt	30
Figura 19	Vista geral, na Primavera de 2006, do primeiro edifício <i>Passive House</i> , em Darmstadt	31
Figura 20	Exemplo <i>Passive House</i> – edifício de habitação colectiva concluído em 2009 em Innsbruck, Áustria	32
Figura 21	Exemplo de <i>Passive House</i> – edifício de habitação unifamiliar em Namakura (Japão)	33
Figura 22	Preservação de energia vs desperdício de energia	37

Figura 23	Princípios fundamentais de um edifício <i>Passive House</i>	38
Figura 24	Isolamento contínuo na envolvente do edifício	39
Figura 25	Representação da ocorrência de condensações devido a juntas e fissuras	41
Figura 26	Representação do blower door test no primeiro edifício <i>Passive House</i> em Darmstadt	43
Figura 27	Gráfico da evolução da concentração de CO ₂ no quarto com 2 ocupantes	44
Figura 28	Representação esquemática de um permutador de calor	46
Figura 29	Vista da estufa na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento	54
Figura 30	Vista da fachada Sul	55
Figura 31	Vista da fachada Sul	55
Figura 32	Relação entre valor de U e área da envolvente/volume, em diferentes edifícios	57
Figura 33	Vista do modelo e a incidência solar no Verão	59
Figura 34	Estimativa das necessidades anuais de aquecimento e de arrefecimento para uma casa convencional e uma <i>Passive House</i>	60
Figura 35	Vista do edifício de escritórios em Bolonha	63
Figura 36	Vista do edifício de habitação em Bessancourt	64
Figura 37	Vista do edifício de habitação em Granada	65
Figura 38	Vista do edifício de habitação em Navarra	66
Figura 39	Vista do edifício de habitação em Lleida	67
Figura 40	Vista do edifício de habitação reabilitado em Nova Iorque	71
Figura 41	Vista do edifício de habitação reabilitado em Magny Les Hameaux	72
Figura 42	Vista do edifício de habitação colectiva reabilitado em Freiburg	73
Figura 43	Vista aérea da localização das moradias	76
Figura 44	Vista do início da execução da obra	76
Figura 45	Vista da execução das fundações	77
Figura 46	Vista da execução da estrutura	77

Figura 47	Vistas da execução das alvenarias	77
Figura 48	Plantas das habitações, respectivamente: rés-do-chão, 1º andar e sótão	79
Figura 49	Vista geral das moradias - modelo 3D	80
Figura 50	Vista geral das moradias - modelo 3D	80
Figura 51	CrITÉrios <i>Passive House</i> para as duas moradias	82
Figura 52	Corte construtivo da fachada	83
Figura 53	Solução inicial e final da parede exterior	84
Figura 54	Vista da execução das alvenarias exteriores	84
Figura 55	Solução inicial e final da cobertura	85
Figura 56	Vista da execução da cobertura	85
Figura 57	Solução inicial e final da janela	86
Figura 58	Vista da execução das caixas de estore	87
Figura 59	Esquema de princípio do sistema de ventilação	88
Figura 60	Vista da execução das tubagens do sistema de ventilação	89
Figura 61	Aplicação de banda betuminosa flexível na ligação da tubagem de ventilação com a parede	90
Figura 62	Aplicação de vedantes à base de poliuretano nas caixas das tomadas	90
Figura 63	A Homegrid e a equipa do ITeCons na realização do Blower Door Test	91
Figura 64	Resultado instantâneo do Blower Door Test	91
Figura 65	Folha de rosto do PHPP com os dados da verificação da moradia B	93
Figura 66	Diagrama com as seis vertentes e as vinte e duas áreas do sistema LiderA	95
Figura 67	Comparação entre soluções construtivas para a ligação em L de uma parede e as diferenças das temperaturas obtidas	99
Figura 68	Exemplo de solução construtiva de pavimento térreo, existente e reabilitada	101
Figura 69	Exemplo de solução construtiva de parede exterior, existente e reabilitada	102
Figura 70	Exemplo de solução construtiva de tecto sob sótão não aquecido, existente e reabilitada	102

Figura 71	Fotografia termográfica com um edifício reabilitado com isolamento pelo exterior, à direita, e um edifício existente, à esquerda	104
Figura 72	Comparação entre soluções construtivas para a correcção térmica de uma varanda existente	105
Figura 73	Comparação entre soluções construtivas para a correcção térmica do embasamento de um edifício existente	105
Figura 74	Comparação entre janelas: edifício existente, reabilitação convencional e reabilitação Passive House, respectivamente, da esquerda para a direita	106

Lista de tabelas

Tabela 1	Dados dos modelos de Lisboa e do Porto	61
Tabela 2	Dados relativos ao edifício de escritórios em Bolonha	64
Tabela 3	Dados relativos ao edifício de habitação em Bessancourt	65
Tabela 4	Dados relativos ao edifício de habitação em Granada	66
Tabela 5	Dados relativos ao edifício de habitação em Navarra	67
Tabela 6	Dados relativos ao edifício de habitação em Lleida	68
Tabela 7	Dados relativos ao edifício de habitação reabilitado em Nova Iorque	71
Tabela 8	Dados relativos ao edifício de habitação reabilitado em Magny Les Hameaux	72
Tabela 9	Dados relativos ao edifício de habitação colectiva reabilitado em Freiburg	73

Lista de Abreviações

AQS	Águas Quentes Sanitárias
CEPHEUS	Cost Efficient <i>Passive Houses</i> as European Standards
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ -eq.	Dióxido de Carbono equivalente
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
EnerPHit	Energy Retrofit with <i>Passive House</i> Components
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
ETP	Energy Technologies Perspectives
GEE	Gases com Efeito de Estufa
Gt	Gigatoneladas
IEA	Agência Internacional de Energia
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas
IPHA	International <i>Passive House</i> Association
Ktep	Quilo-toneladas equivalentes de petróleo
KWE	Key World Energy
LEB	Low-Energy Building
Mt	Milhões de toneladas
Mtep	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OMS	Organização Mundial de Saúde
PEP	Promotion of European <i>Passive Houses</i>
PHPP	<i>Passive House</i> Plannign Package
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
PNAER	Plano de Nacional Acção para as Energias Renováveis
ppm	partes por milhão
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
Tep	Toneladas equivalentes de petróleo
UE	União Europeia

WEO World Energy Outlook
WWF World Wide Fund for Nature

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Nas últimas décadas tem-se assistido ao aumento do consumo energético a nível mundial, apesar do abrandamento do consumo nos países mais ricos.

Um dos grandes problemas é o facto do consumo actual ainda estar dependente de fontes de energia finitas, sobretudo do petróleo, cujas reservas caminham para o seu fim.

A escassez, aliada à dependência de um pequeno grupo de países produtores, são responsáveis por problemas no abastecimento energético. Países como Portugal, muito dependentes do exterior, são mais vulneráveis e estão mais expostos a esses problemas.

O crescimento do consumo energético, com o recurso às actuais fontes energéticas, implica o crescimento das emissões de dióxido de carbono (CO₂). A actual concentração de CO₂ na atmosfera é já uma ameaça à estabilidade do planeta. É, assim, fundamental reduzir o consumo e alterar as fontes de energia.

É fundamental também perceber quais são as implicações do actual padrão de consumo energético a nível mundial e, fundamentalmente, saber como actuar para mudar de paradigma.

O sector dos edifícios, como grande consumidor de energia, tem um considerável potencial de poupança energética. Tornar os edifícios cada vez mais eficientes e com necessidades energéticas cada vez menores é o caminho defendido pelas entidades europeias e internacionais.

Segundo o professor Wolfgang Feist, director do *Passivhaus Institut*, “The best energy is less energy”, defendendo que a eficiência energética é a mais importante, mais económica e mais segura opção energética.

O conceito *Passive House*, comprovado como eficiente sob o ponto de vista energético, confortável e economicamente acessível, é já uma realidade. Ele está fortemente implantado na Europa Central e é assumido como o caminho a seguir, a médio e longo prazo, pela União Europeia (UE) e pela Agência Internacional de Energia (IEA).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Após os primeiros passos na implementação do conceito em Portugal, conclui-se que é possível obter edifícios confortáveis, com um consumo energético extremamente baixo e com impactos ambientais reduzidos, associados a um baixo custo do ciclo de vida.

O parque edificado em Portugal é dos mais recentes a nível europeu, resultado do crescimento do sector da construção, sobretudo, durante a década de 1990. A evolução das novas construções apresenta uma queda acentuada desde o início do século.

Se a este facto se associarem os consumos energéticos dos edifícios em Portugal e as necessidades de obras de reparação, pode concluir-se que o caminho terá de passar pelo aumento do peso da reabilitação no sector da construção.

É necessário também enquadrar a realidade do país, para perceber quais as suas potencialidades e limitações. A estratégia passa por contribuir para a independência energética do país, actuando no sector do parque edificado, novo e existente. As metas a estabelecer têm de ser ambiciosas, para que os resultados obtidos possam ter capacidade de mudança.

1.2 Objectivos

Pretende-se com este trabalho analisar as consequências dos actuais padrões de consumo e o papel da norma *Passive House* no actual panorama energético mundial.

O objectivo deste estudo é demonstrar a aplicabilidade do conceito *Passive House* em Portugal, através do caso de estudo relativo à construção das primeiras *Passive Houses* no país. Os requisitos e princípios para a aplicação do conceito *Passive House* são analisados, tendo em conta a experiência de 20 anos de construção e monitorização de *Passive Houses*.

Pretende-se aferir o processo de implementação do conceito *Passive House* num caso de estudo e verificar as dificuldades e potencialidades da aplicação deste conceito em Portugal, determinando o balanço energético e, por conseguinte, os consumos energéticos previstos. Este estudo é realizado utilizando as ferramentas e procedimentos definidos na metodologia *Passive House*.

Pretende-se também definir os princípios que poderão ser aplicados na reabilitação de um edifício existente para elevar os seus níveis de eficiência energética e conforto aos padrões

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Passive House, através de soluções adaptadas ao clima português e às características próprias do sector da construção em Portugal.

2. A energia e o ambiente construído

2.1 O panorama energético mundial

2.1.1 Os consumos energéticos a nível mundial

Nas últimas décadas tem-se assistido a um aumento do consumo energético a nível mundial. Em 1971 o consumo de energia final era 4.676 Mtep, tendo quase duplicado em 2008 com um consumo de 8.428 Mtep (KWE Statistics, 2010). Exceptuando os períodos subsequentes às crises petrolíferas em 1973 e em 1978/83, em que houve um decréscimo do consumo, o aumento foi uma constante. A maior fatia corresponde ao conjunto dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), quase 43,8% da energia final consumida no mundo em 2008, apesar do peso do seu consumo energético ter vindo a diminuir de forma clara, com 60,1% em 1973 (KWE Statistics, 2010).

O efeito da crise financeira actual fez com que a procura descresse ou estagnasse na generalidade dos países. No entanto, o contínuo crescimento económico da China e o correspondente crescimento das suas necessidades energéticas, fez com que se mantivesse o ritmo de crescimento do consumo energético global, tal como mostra a Figura 1.

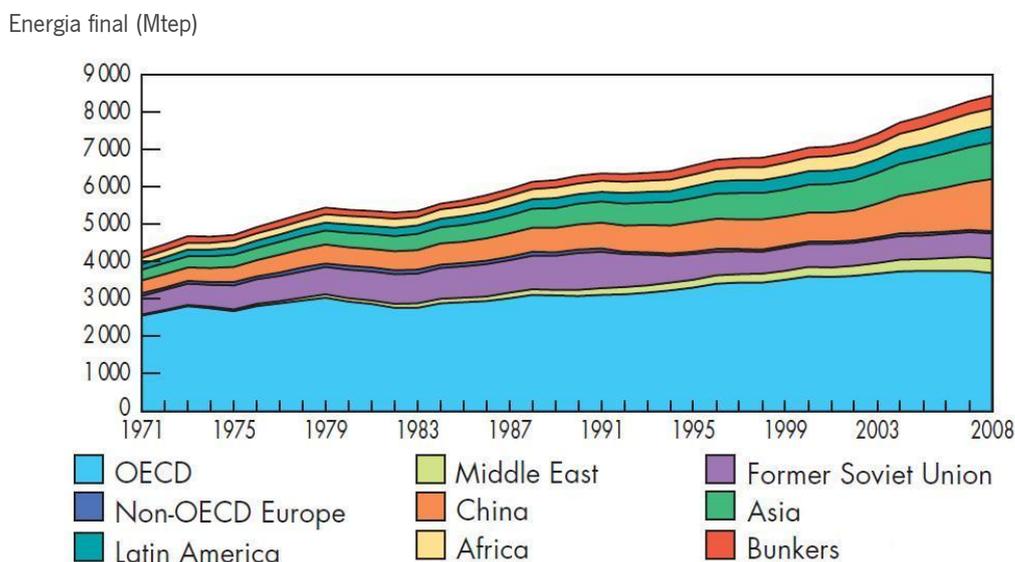


Figura 1 – Evolução do consumo mundial de energia final, por região, em Mtep (Fonte: KWE Statistics, 2010)

O consumo energético da China (Figura 1) correspondeu a 16,4% da energia final consumida no mundo em 2008 enquanto em 1971 correspondia a 7,9%.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Em relação aos tipos de energia consumida, com a excepção do carvão, verifica-se um aumento generalizado do consumo de todas as formas de energia. O petróleo mantém-se como a fonte de energia mais utilizada e há um significativo aumento da procura energética sob a forma de electricidade tal como mostra a Figura 2.

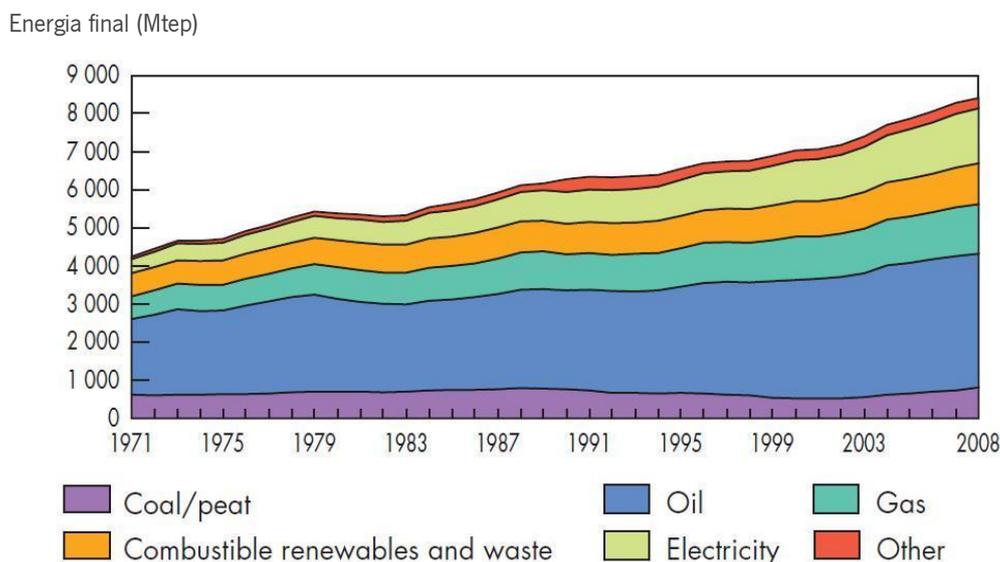


Figura 2 – Evolução do consumo mundial de energia final, por fonte, em Mtep (Fonte: KWE Statistics 2010)

2.1.2 Os riscos do actual padrão de consumo

Um dos grandes problemas no panorama energético mundial, reside no padrão de consumo energético para responder às necessidades, de crescimento e desenvolvimento, dos países.

Se o consumo energético da população mundial fosse equivalente ao consumo médio de um habitante de Singapura ou dos Estados Unidos, as reservas de petróleo seriam consumidas em 9 anos (WWF, 2011).

Outro problema é o facto do consumo actual ainda estar dependente de fontes de energia finitas e, por conseguinte, as reservas caminharem para o seu fim. As reservas, conhecidas, de petróleo e de gás irão diminuir entre 40 e 60% em 2030 relativamente às reservas de 2009 (WEO, 2009).

A dependência energética, sobretudo de petróleo, obriga os países produtores a encontrarem soluções de curto prazo, como a pesquisa de novas reservas e a extracção em zonas arenosas.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Como a escassez de um produto aumenta o seu preço de comercialização, os elevados preços que hoje em dia são praticados servem de amparo aos elevados preços de produção do crude, associados a sondagens e extracções com custos elevados, que não seriam possíveis de realizar se o produto tivesse baixos valores de mercado (Kunzig, 2009).

O preço do barril de petróleo deverá aumentar gradualmente atingindo valores médios próximos de 90 dólares em 2012 (Banco de Portugal, 2010). A IEA, em finais de 2008, estimou que o preço do barril de petróleo seria de 120 dólares em 2030, valor que justificaria o esforço associado à sua extracção da areia betuminosa (Kunzig, 2009).

A insegurança no abastecimento é outro factor de preocupação. Os países consumidores são cada vez mais dependentes da energia de um pequeno número de países produtores. Estas preocupações ficaram claras na Europa durante o impasse de fornecimento entre a Rússia e a Ucrânia que terminou em 2010 e cujas disputas remontam a 2005.

Uma maior insegurança de curto prazo parece inevitável à medida que a diversidade geográfica da oferta diminui e aumenta a dependência de rotas de fornecimento vulneráveis. Quanto maior for a procura de petróleo e gás destas regiões, mais provável é que estas regiões estabeleçam preços elevados e os mantenham, adiando o investimento e limitando a produção (Biol, 2009).

2.2 As emissões de CO₂ e as alterações climáticas

O crescimento do consumo energético, com o recurso às actuais fontes energéticas, implica o crescimento das emissões de dióxido de carbono (CO₂). As emissões de CO₂ em todo o mundo correspondiam a um valor superior a 15 Gt de CO₂ em 1973. Em 2008, estas emissões quase que duplicaram ao chegarem às 29 Gt (KWE Statistics, 2010).

Apesar das emissões a nível mundial terem aumentado neste período de tempo, o seu valor nos países da OCDE manteve-se estável nos últimos anos. Com tendência contrária, encontram-se os países asiáticos e, sobretudo, a China que é já responsável por uma fatia significativa das emissões totais tal como mostra a Figura 3.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

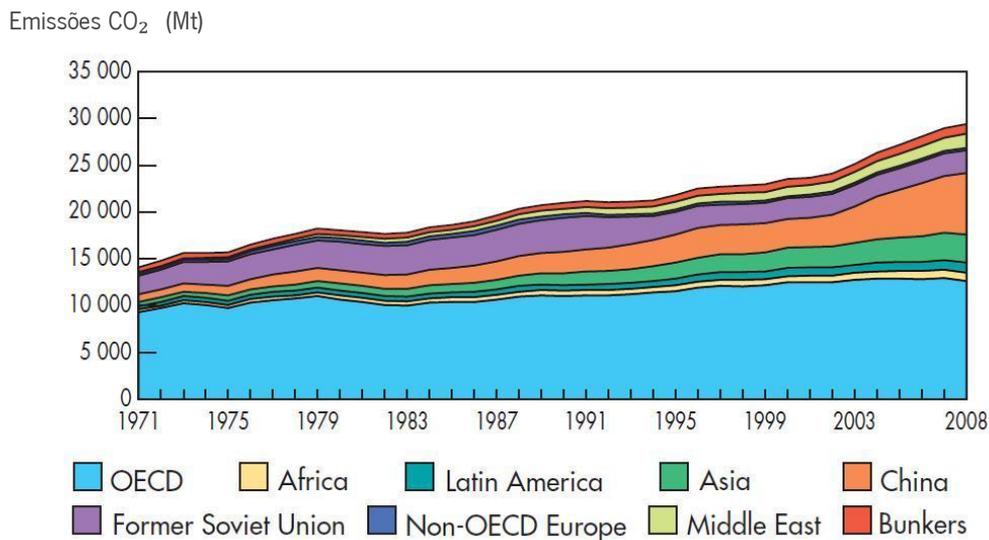


Figura 3 – Evolução das emissões mundiais de CO₂ por região, em Mt (Fonte: KWE Statistics, 2010)

O CO₂, originado pela acção humana, é o mais importante gás com efeito de estufa (GEE), representando 77% do total dos GEE (IPCC, 2007). O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) refere que a maior parte do aquecimento que se tem observado desde meados do século XX no planeta, deve-se, muito provavelmente, a um aumento dos GEE de origem humana (IPCC, 2007).

Está prevista a subida da temperatura global da superfície terrestre entre 1,4° C e 5,8° C; o aquecimento vai incidir sobre áreas mais extensas e sobre latitudes mais altas; a frequência de situações climáticas extremas será maior originando mais cheias e secas; haverá mais ondas de calor; a frequência e intensidade de fenómenos como o El Niño irão aumentar; estima-se uma subida do nível do mar entre 9 e 88 cm até ao fim do século (OMS, 2005).

A quantificação dos efeitos na saúde provocados pelas alterações climáticas é aproximada. No entanto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que as alterações climáticas ocorridas desde meados da década de 1970 possam causar 150.000 mortes por ano. A OMS concluiu também que estes impactos têm uma clara tendência de aumentar no futuro (OMS, 2005).

2.3 Cenários para o consumo energético e para as emissões de CO₂

Existem vários cenários resultantes de diversos estudos, mais ou menos exigentes nas suas metas e objectivos. São cenários que têm em conta as alterações climáticas, as emissões de

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

gases com efeito de estufa, os consumos energéticos, as medidas a definir por sector, os prazos, as exigências financeiras necessárias para a implementação, entre outros factores. De seguida apresentam-se, de forma breve, alguns desses cenários.

2.3.1 O Cenário de Referência da IEA

A IEA definiu um Cenário de Referência no “World Energy Outlook (WEO) 2009”, com extensão até 2030, que corresponde à evolução dos mercados energéticos globais sem que haja mudanças de políticas ou de estratégia. Este cenário estima um crescimento médio anual da procura global de energia primária de 1,5% até 2030, correspondendo a um aumento total de 40%, de 11.730 Mtep a 16.790 Mtep (WEO, 2009), tal como mostra a Figura 4.

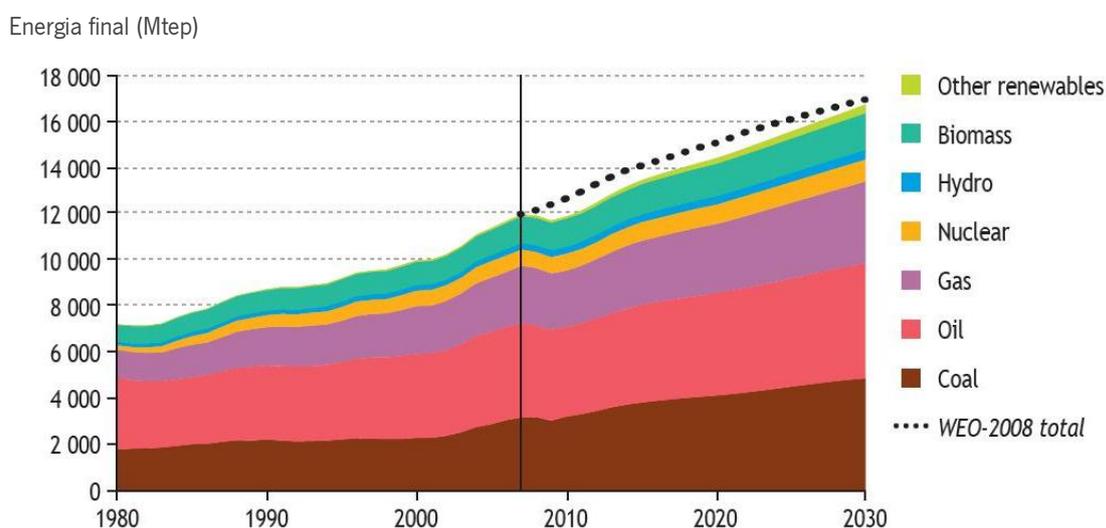


Figura 4 – Cenário de Referência da IEA – consumo mundial de energia final, por fonte (Fonte: WEO, 2009)

Os resultados deste cenário reflectem o impacto da crise financeira de 2008 na procura energética, já que o Cenário de Referência do “WEO 2008” estimava um aumento total da procura até 2030 de 45% (WEO, 2008). O Cenário de referência tem como principais impulsionadores a China e a Índia, seguidos dos países do Médio Oriente. Os países não membros da OCDE representam 80% deste aumento (WEO, 2009).

As emissões de CO₂ associadas ao consumo energético irão aumentar de 28,8 Gt em 2007 a 40,2 Gt em 2030, correspondendo a um aumento de quase 40% (WEO, 2009), tal como mostra a Figura 5.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Emissões GEE (Gt CO₂-eq)

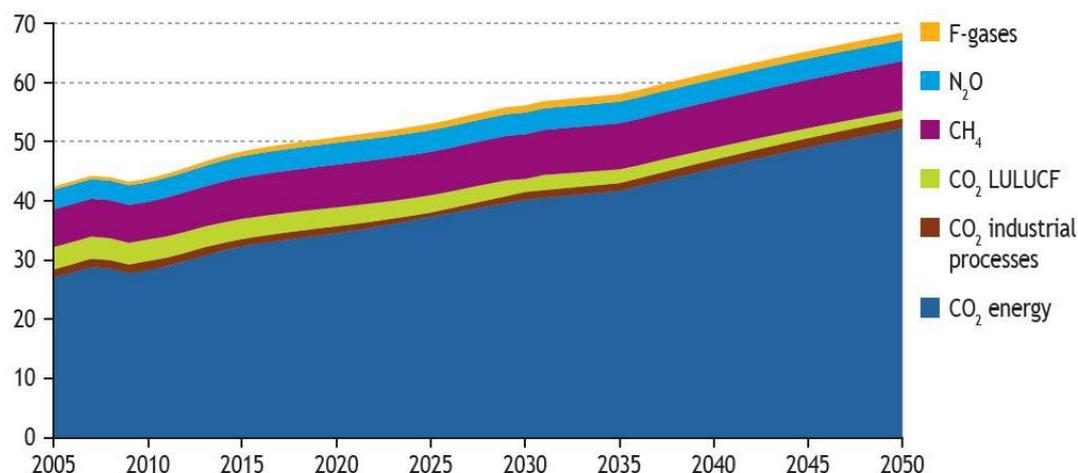


Figura 5 – Cenário de Referência da IEA – emissões mundiais de GEE, por tipo de gás (Fonte: WEO, 2009)

Três quartos do CO₂ extra serão emitidos pela China, Índia e Médio Oriente, sendo 97% da responsabilidade de países não membros da OCDE. Este Cenário de referência alerta que se está a caminho da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera na proporção de 1000 ppm de CO₂-eq., implicando um aumento da temperatura média de 6°C (WEO, 2009).

2.3.2 O Cenário 450 da IEA

O Cenário 450, presente no estudo “WEO 2009” da responsabilidade da IEA, detalha as medidas que seriam necessárias para conseguir a redução dos gases com efeito de estufa na atmosfera para 450 ppm de CO₂-eq até 2030 (WEO, 2009).

Segundo Birol (2009), “o cenário 450 representa um enorme desafio”. O nível de emissões mundial em 2030 seria inferior às emissões previstas no cenário de referência para os países que não pertencem à OCDE (Birol, 2009). Mesmo que os países da OCDE reduzam a emissões a zero, sozinhos não conseguiriam colocar o mundo na trajectória deste objectivo. Isso implicaria uma alteração de tecnologia - em termos de escala e de velocidade de desenvolvimento – sem precedentes (Birol, 2009).

O Cenário 450 corresponde à estabilização nas 450 ppm de CO₂-eq. a longo prazo, como mostra a Figura 6, que só será alcançável com acções coordenadas no âmbito energético e das emissões (WEO, 2009). Este cenário corresponde 50% de probabilidade de restringir o aumento da temperatura média em 2°C (WEO, 2009).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Concentrações de GEE (ppm CO₂-eq)

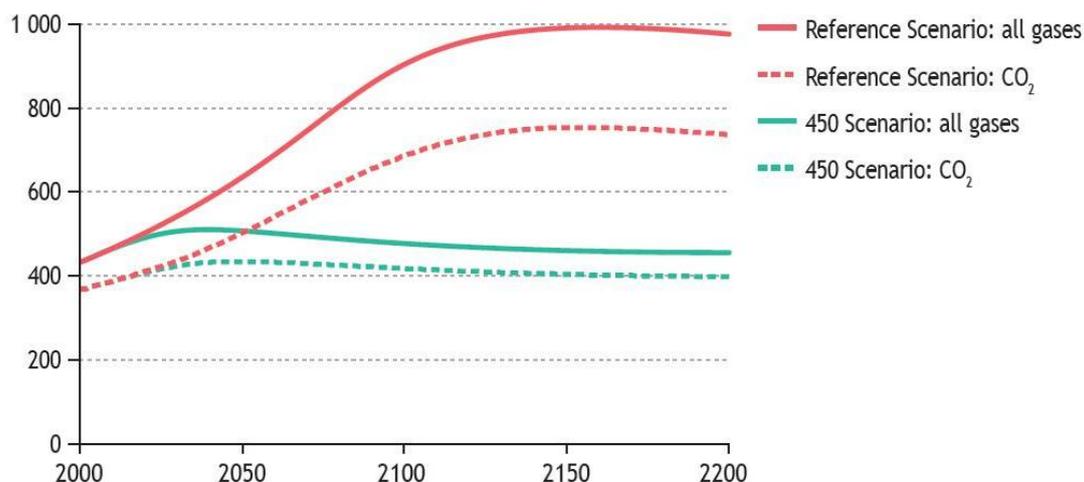


Figura 6 – Cenário de Referência e Cenário 450 – evolução das concentrações de GEE (Fonte: WEO, 2009)

O Cenário 450 indica que as emissões de CO₂, associadas ao consumo energético, irão aumentar de 28,8 Gt em 2007 a 30,9 Gt em 2020, decrescendo a partir desse momento até 26,4 Gt em 2030 (WEO, 2009). A Figura 7 mostra também que será necessária uma redução significativa dos outros GEE.

Concentrações de GEE (ppm CO₂-eq)

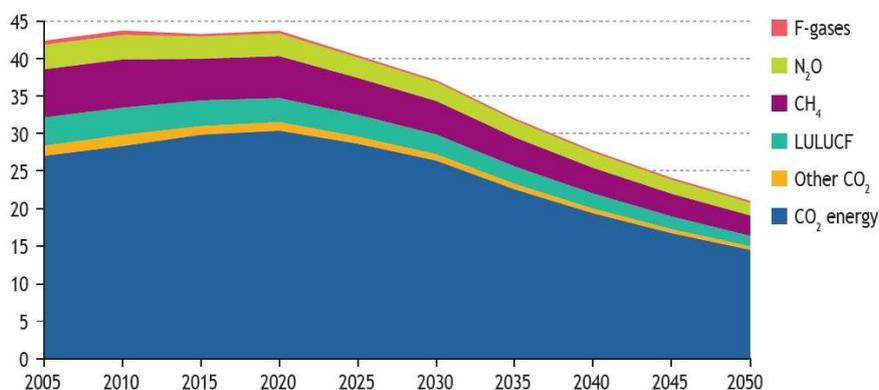


Figura 7 – Cenário 450 – evolução das emissões de GEE, por tipo de gás (Fonte: WEO, 2009)

No Cenário 450 o maior contributo para a redução das emissões de CO₂ em 2030, em comparação com o Cenário de Referência, está na eficiência energética, ao nível da utilização final, nomeadamente no sector dos edifícios, da indústria e dos transportes (WEO, 2009). Devido às acções e políticas agressivas a que obriga, neste cenário o consumo energético aumentaria

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

20% até 2030. É considerável a diferença para o Cenário de Referência, em que o consumo energético aumentaria 40%, até e 2030 (WEO, 2009).

2.3.3 Outros cenários

Mesmo que as metas do Cenário 450 sejam alcançadas, tal não evitará a ocorrência de um aumento significativo do nível do mar, extinção de espécies e aumento da frequência de desastres naturais (IPCC, 2009).

As evidências paleoclimáticas e as alterações globais que estão a ocorrer mostram que concentração actual de 385 ppm de CO₂-eq. é já muito elevada para manter o clima ao qual a humanidade, a vida selvagem e a restante biosfera estão adaptadas (Hansen et al., 2008). Uma meta mais ambiciosa passaria pela redução até às 350 ppm de CO₂-eq., sendo depois ajustável à medida que se adquire o conhecimento científico e as evidências empíricas dos efeitos climáticos (Hansen et al., 2008).

Outro cenário, apresentado pelo World Wide Fund for Nature (WWF), em parceria com a Ecofys e o Office for Metropolitan Architecture (OMA), é mais radical nos objectivos a atingir. Neste cenário é defendido que 95% de toda a energia utilizada tenha origem em fontes renováveis, utilizando, para tal, apenas a tecnologia existente hoje (WWF, 2011). Para atingir este objectivo seria necessário abandonar o paradigma actual de resposta às necessidades energéticas com combustíveis fósseis, criando uma nova ordem nos mercados energéticos (WWF, 2011).

Os cenários apresentados no estudo “Energy Technology Perspectives (ETP) 2008” da responsabilidade da IEA, estão mais centrados no papel particular da tecnologia, sobretudo no lado da procura, e estende-se até 2050 (ETP, 2008). Os cenários de ambos os estudos, “WEO 2009” e “ETP 2008”, da IEA são compatíveis, mas focalizam aspectos diferentes.

2.4 O sector dos edifícios

O sector dos edifícios é dos maiores consumidores de energia, tendo sido responsável por 38% do consumo energético mundial, em 2005, com um valor de 2.900 Mtep. O consumo de electricidade foi de 57% relativamente ao consumo total (ETP, 2008).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Se não forem tomadas medidas o consumo energético nos edifícios crescerá 80%, sendo de 5.257 Mtep em 2050, sendo o sector residencial responsável por 58% do consumo, e o de serviços por 31% (ETP, 2008). O crescimento das emissões de CO₂ associadas será de 129%, passando de 8,8 Gt em 2005 a 20,1 Gt em 2050 (ETP, 2008).

O cenário da estratégia “Blue Map”, o mais ambicioso e exigente da IEA, revela o papel crucial deste sector de actividade na capacidade de redução do consumo energético e das emissões de CO₂. Este cenário antevê um consumo energético associado aos edifícios de 3.114 Mtep em 2050 e um total de emissões de CO₂ de 8,6 Gt, um valor inferior ao registado em 2005 (ETP, 2008).

Para se alcançar tais resultados no sector dos edifícios, a IEA definiu como prioritárias as seguintes medidas (ETP, 2008):

- Todos os edifícios novos a partir de 2015, em climas frios, deverão atingir os padrões *Passive House* (em 2030 este objectivo deverá ser alargado aos edifícios em climas moderados);
- Deverá haver uma renovação dos edifícios existentes, de modo a atingir os padrões *Passive House*;
- Deverá haver uma alteração nas fontes energéticas de abastecimento do edifício;
- Deverão ser aplicadas as melhores tecnologias existentes nos sistemas da envolvente do edifício, nos sistemas de AVAC, na iluminação e equipamentos.

Este cenário exige que o sector dos edifícios adopte novas práticas e técnicas na construção que haja um investimento muito significativo em novas tecnologias. Obriga também à transferência do conhecimento e tecnologias aplicadas nos novos edifícios na renovação dos edifícios existentes e uma maior e melhor articulação entre os decisores, investidores, promotores, construtores e instaladores e os consumidores (ETP, 2008).

A reduzida taxa de desactivação (desocupação e/ou demolição dos edifícios) do parque habitacional nos países da OCDE é considerada pela IEA, um entrave na redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento, sobretudo nos cenários mais ambiciosos para a

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

redução das emissões de CO₂. É estimada a necessidade de renovação, tendo em vista os novos padrões energéticos, de 200 milhões de edifícios nos países da OCDE, para se alcançar os objectivos traçados a longo prazo (ETP, 2008).

2.5 O panorama energético em Portugal

2.5.1 O consumo energético

O consumo energético em Portugal tem vindo a sofrer alterações. As fontes como o petróleo e o carvão têm diminuído o seu peso, em contraponto às fontes renováveis e ao gás natural (Alves & Silva, 2011).

A diversificação das fontes energéticas foi, e é, essencial na sustentabilidade dos recursos energéticos e do ambiente. Esta diversificação é também vantajosa para a competitividade das empresas e para a redução do desequilíbrio da balança corrente (Alves & Silva, 2011).

O consumo de energia primária, em Portugal, em 2009 foi de 24.142 Ktep e o de energia final de 18.060 Ktep (DGEG, 2011a). Em Portugal, o consumo de energia tem descido de forma constante desde 2005, em que se atingiu o pico do consumo, tal como mostra a Figura 8.

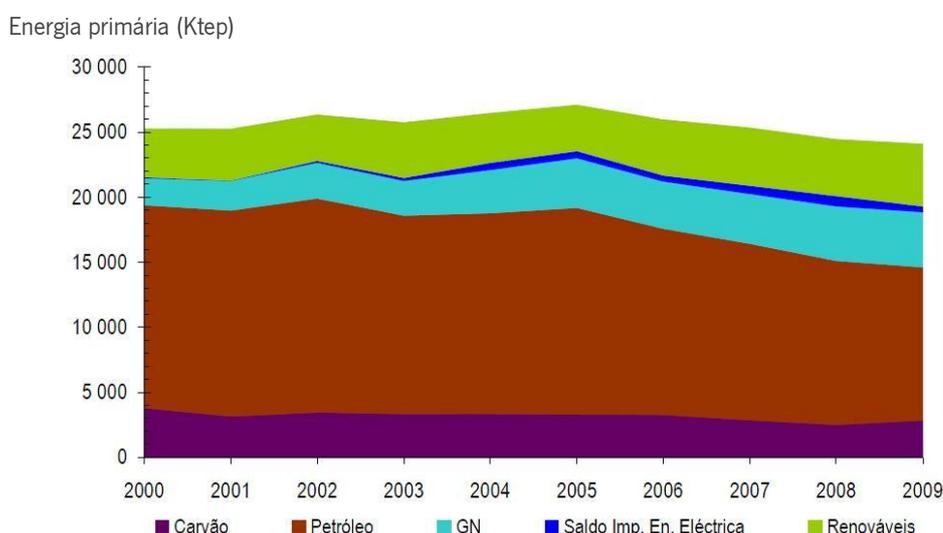


Figura 8 – Evolução do consumo total de energia primária em Portugal, por fonte, em Ktep (Fonte: DGEG, 2011)

O maior consumidor de energia é o sector dos transportes, cuja variação no consumo tem sido muito reduzida na última década, seguido do sector da indústria, que tem apresentado a maior

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

redução no consumo, tal como mostra a Figura 9. O sector dos edifícios (serviços e doméstico) representa, ao todo, cerca de 31% do consumo energético nacional.

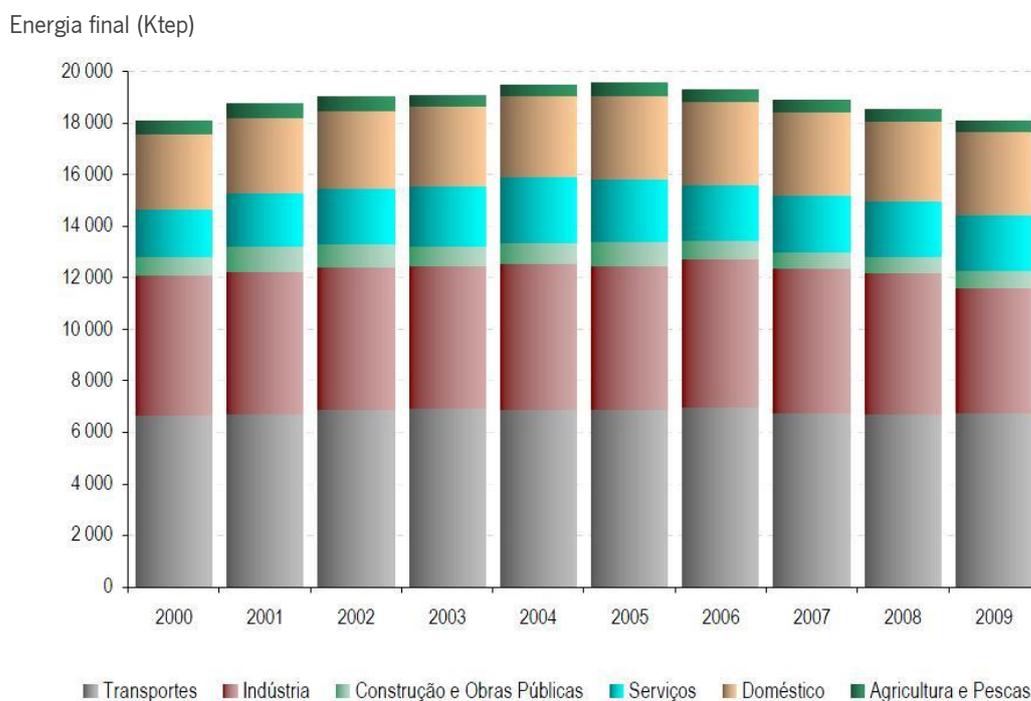


Figura 9 – Evolução do consumo total de energia final em Portugal, por sector, em Ktep (Fonte: DGEG, 2011)

2.5.2 A dependência externa

A redução do consumo de energia tem efeito directo no que diz respeito à dependência energética relativamente ao exterior, que se mantém elevada. Em 2009 a dependência energética portuguesa era de cerca de 81%, ao passo que em 2005 era de cerca de 89%, tal como mostra a Figura 10 (DGEG, 2011a).

Esta elevada dependência, associada a questões ambientais e económicas, explicam a aprovação, nos últimos 20 anos, de um conjunto alargado de medidas de política pública no sector energético. Estas medidas têm-se centrado na aposta da utilização de fontes de energia renovável e em ganhos de eficiência energética (Alves & Silva, 2011).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Dependência energética (%)

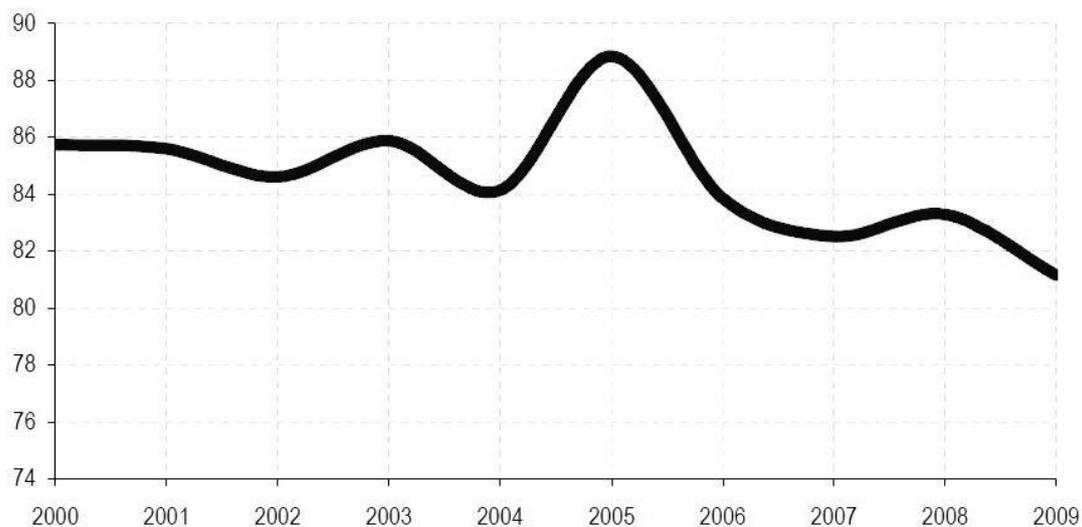


Figura 10 – Evolução da dependência energética de Portugal, em percentagem (Fonte: DGEG, 2011)

Apesar da diminuição da dependência energética desde 2005, o seu peso no PIB revela outro panorama, tal como mostra a Figura 11. A evolução do défice da dependência energética, que atingiu 4,9% do PIB em 2008, está relacionada com as variações do preço das matérias-primas (Freitas et al., 2009).

Défice da dependência energética (% do PIB)

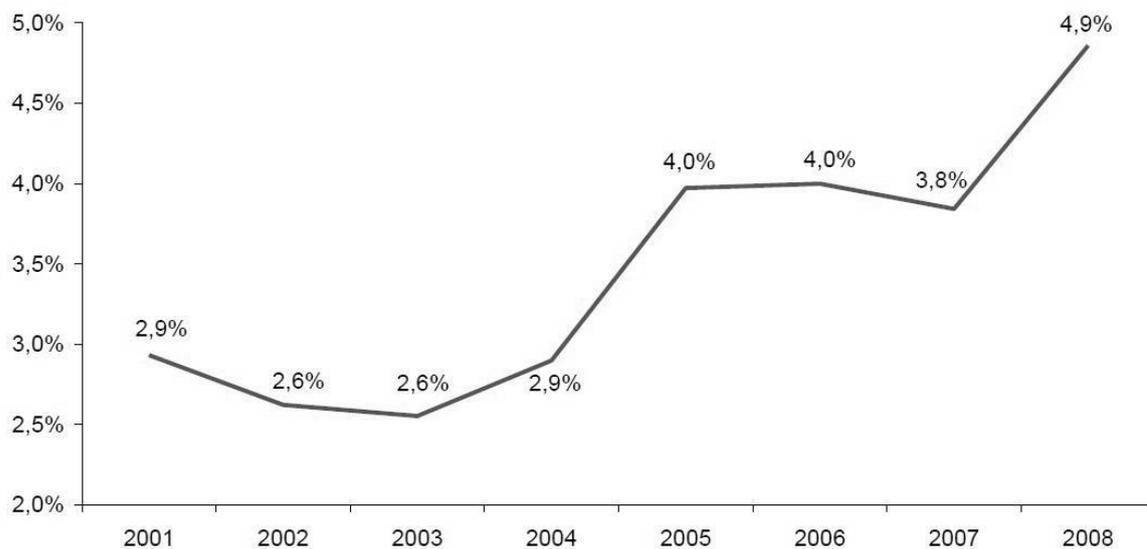


Figura 11 – Evolução do défice da dependência energética de Portugal, em percentagem do PIB (Fonte: DGEG, 2011)

2.6 O ambiente construído em Portugal

2.6.1 A explosão do sector da construção

Em Portugal nas décadas de 1980 e 1990 aconteceu uma explosão na construção, com um crescimento acentuado do mercado imobiliário. Tal como mostra a Figura 12, em 2008, o número de edifícios construídos após 1981 correspondia a cerca de 44% do total de edifícios, definindo Portugal como um dos países europeus com o parque edificado mais recente. De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE), no ano de 1981 existiam 2.507.706 edifícios, em 1991 existiam 2.861.717, em 2001 existiam 3.160.043 edifícios e em 2011 3.550.823 edifícios (INE, 2011).

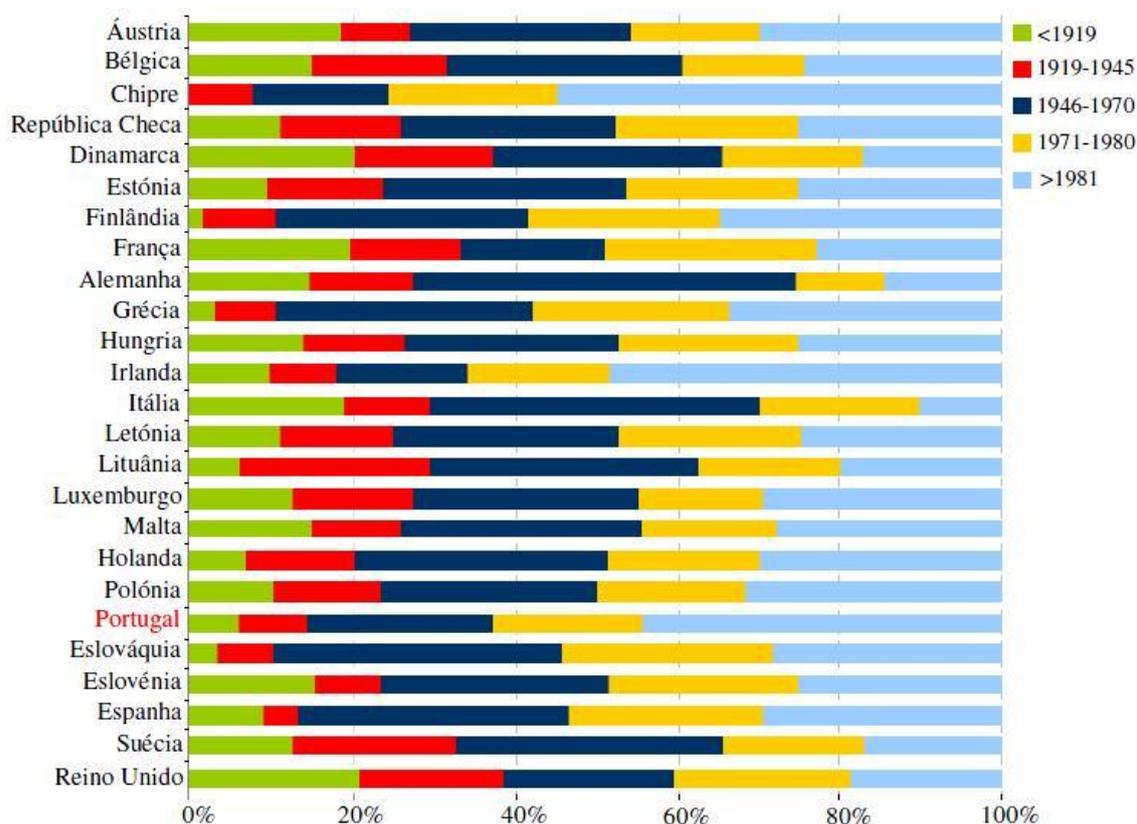


Figura 12 – Distribuição do stock habitacional na EU-25 (Fonte: European Commission - Institute for Prospective Technological Studies, 2008)

Tal crescimento do parque edificado, certamente, deveu-se ao clima de optimismo geral (estabilidade política, adesão à Comunidade Económica Europeia, descida das taxas de juro,

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

crescimento económico acelerado) conjugado com a escassez de habitação devida ao atraso estrutural que Portugal sofria (Thames, 2008).

A taxa média contratada nos empréstimos à habitação era de 16,6% em 1993, ao passo que em 1999 reduziu-se para apenas 5,0%. Combinando a variação da taxa de juro, com a inflação média anual, passou-se de uma taxa de juro real de 10,1% em 1993 para 2,7% em 1999 (Thames, 2008). A concessão de crédito habitação, pelas várias instituições do mercado, passou de um montante acumulado de 9.421,7 milhões de euros em 1993 para 42.122,9 milhões de euros em 1999, o que corresponde a taxas de crescimento anuais superiores a 25% (Thames, 2008).

Este foi um período ímpar para o sector da construção e do mercado imobiliário. Desde então tem-se registado uma queda acentuada, em 2000 foram concluídos 107.900 fogos, ao passo que em 2006 o valor foi de 70.010 (Thames, 2008).

2.6.2 O parque habitacional

Em 2009, o parque habitacional português foi estimado em 3,5 milhões de edifícios e 5,7 milhões de fogos, crescendo, face ao ano anterior, 0,8% e 1,0% respectivamente (INE, 2010). Em termos do número de edifícios, a região do Norte possui 35,0% do total, o Centro 31,2%, enquanto a região de Lisboa possui 12,5%. As restantes regiões representam, em conjunto, 21,3% do total de edifícios existentes em Portugal (INE, 2010). As habitações são divididas em apartamentos (46,2%), vivendas rurais (38,3%) e vivendas urbanas (15,4%), sendo cerca de 18% reservadas para usos sazonais ou secundários, e 11% para habitações de férias (INE, 2010).

Das 40.395 obras concluídas durante 2009, 64,7% corresponderam a edifícios em construções novas para habitação familiar, dos quais 88,1% eram moradias. Apesar da grande predominância de edifícios em construções novas, 77,9% do total, verifica-se que a reabilitação na edificação é uma aposta crescente no sector da construção, com as Alterações, Ampliações e Reconstruções a ganharem importância relativa face aos anos anteriores (INE, 2010). Apesar do número das obras de reabilitação não sofrer grandes variações, o seu peso relativo tem crescido muito devido à queda acentuada da construção nova desde 1999, tal como mostra a Figura 13.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

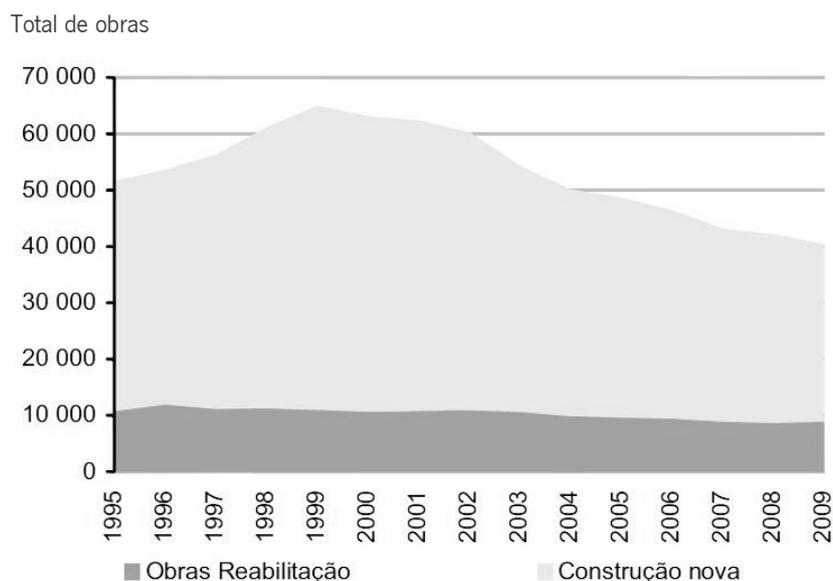


Figura 13 – Evolução das reabilitações e construções novas em Portugal (Fonte: INE, 2010)

As necessidades de reparação atingiam cerca de 38,1% dos edifícios e 2,9% apresentavam um elevado estado de degradação, em 2001 (INE, 2010). O valor estimado dos fogos a exigir médias, grandes ou muito grandes reparações rondava os 800.000 (INE, 2010).

2.6.3 O consumo energético dos edifícios

No que diz respeito ao consumo de energia associado aos edifícios, e de acordo com a Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), os edifícios foram responsáveis por 30% do consumo total de energia final do país e aproximadamente 65% dos consumos de electricidade, em 2009 (DGEG, 2011b). O sector residencial foi responsável por 18% dos consumos de energia final, e por cerca de 30% dos consumos de electricidade (DGEG, 2011b).

No sector residencial, 50% do consumo energético deve-se às cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS), 25% do consumo é destinado ao aquecimento e arrefecimento e os restantes 25% à iluminação e equipamentos (Almeida, 2010).

2.7 Eficiência energética

2.7.1 A eficiência energética como prioridade

As preocupações com o consumo energético e as primeiras medidas de poupança integradas nas políticas energéticas dos países desenvolvidos, ficaram a dever-se sobretudo ao primeiro

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

choque petrolífero ocorrido em 1973 (DGEG, 2008). São exemplo de medidas de ampla abrangência, a limitação de velocidade dos transportes rodoviários e o estabelecimento da hora de Verão /Inverno. A redução do consumo de energia tornou-se imprescindível e para atingir esse objectivo houve que recorrer à racionalização dos consumos e à supressão dos consumos supérfluos (DGEG, 2008).

A UE definiu a eficiência energética como uma das grandes prioridades por três razões principais: a segurança de abastecimento, pois a dependência externa seria de 70% em 2030 se nada fosse feito; a protecção do ambiente, uma vez que a produção e utilização de energia são responsáveis por 94% das emissões de CO₂; as opções na oferta de energia são limitadas, sendo que a União Europeia pode actuar na procura energética, forçando a diminuição do consumo energético (Almeida, 2010).

2.7.2 Eficiência energética nos edifícios

O sector dos edifícios, como atrás se referiu, é um grande consumidor de energia. Tem também um grande potencial de poupança energética, sendo, deste modo, um sector estratégico para a mudança de paradigma do consumo energético.

A IEA definiu, como medidas onde se podem introduzir melhorias no sector edifícios, os seguintes pontos (IEE, 2009):

- estabelecer requisitos para uma maior eficiência energética nos edifícios;
- aumentar os apoios aos edifícios energeticamente passivos, segundo padrões *Passive House*, e aos edifícios quase zero em energia;
- aumentar os esforços para promover janelas e vidros energeticamente eficientes.

A IEA, no âmbito da cimeira dos G8 em Hokkaido em 2008, recomenda ainda a definição de pacotes de medidas para promover a eficiência energética nos edifícios existentes (IEEP, 2009).

O Parlamento Europeu, na resolução relativa à eficiência energética em 31 de Janeiro de 2008, recomendou à Comissão Europeia, no que diz respeito aos requisitos do desempenho dos edifícios, o seguinte (PE, 2008):

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

- atender ao facto dos sistemas de mini-bombas de calor e energia serem os mais eficientes e definir os requisitos mínimos para a seu desempenho;
- propor que todos os novos edificios sejam construídos de acordo com os padrões *Passive House* a partir de 2011 e que os sistemas de aquecimento e arrefecimento sejam passivos a partir de 2008;
- considerar as soluções arquitectónicas para aquecimento e arrefecimento passivo, na promoção da eficiência energética.

O Parlamento Europeu aprovou, em Maio de 2010, a revisão da “Energy Performance of Buildings Directive” (EPBD), que está actualmente em vigor. A revisão da EPBD introduz as seguintes novidades (Holl, 2010):

- o seu âmbito incide sobre todos os edificios independentemente do seu tamanho;
- todos os novos edificios deverão ser edificios com necessidades quase nulas de energia no final de 2020, no sector público deverá acontecer no final de 2018, devendo as restantes necessidades de energia ser cobertas por fontes de energia renováveis;
- requisitos mínimos de desempenho energético para todos os edificios existentes que sofram qualquer renovação energética relevante;
- reforço do papel e qualidade dos certificados de desempenho energético;
- incentivos financeiros para investimentos ao nível da eficiência energética no sector dos edificios.

A nova Directiva para o Desempenho Energético de Edifícios (EPBD) deverá ser transposta pelos Estados-Membros até 2012 e assume-se como a principal ferramenta europeia para aumentar a eficiência energética (Holl, 2010).

2.7.3 Enquadramento legislativo em Portugal

Em Portugal, os primeiros requisitos térmicos foram definidos em 1990 com a publicação do Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro originando o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Passados oito anos foi a vez do Regulamento

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), com a publicação do Decreto-Lei n.º 119/98, de 7 de Maio (RCCTE, 1990; RSECE; 1998).

Entre 1994 e 1999 vigorou o Programa Energia, financiado por fundos comunitários, com a pretensão de contribuir para a redução da dependência externa do nosso sistema energético através do incentivo à conservação e eficiência energética em todos os sectores de actividade, visando a diminuição da intensidade energética do país (DGEG, 2008).

Em 2005, foi definida a Estratégia Nacional para a Energia através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 de 24 de Outubro, com o objectivo da diversificação dos recursos primários, nomeadamente com uma maior utilização das fontes de energias renováveis, e dos serviços energéticos, da promoção da eficiência energética e da redução de emissões de CO₂ (ENE, 2005).

Em 2006, na sequência da transposição para Portugal da Directiva Comunitária 2002/91/CE sobre a eficiência energética nos edifícios, foram publicados (EPBD, 2002; SCE, 2006; RSECE, 2006; RCCTE, 2006):

- o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, que implementa o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) substituindo o Decreto-Lei n.º 119/98;
- o Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), substitui o Decreto-Lei n.º 40/90.

O SCE tem como objectivos (SCE, 2006):

- assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE;

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios; identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

O RSECE estabelece (RSECE, 2006):

- as condições a observar no projecto de novos sistemas de climatização;
- os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes;
- os limites máximos de consumos de energia para todo o edifício e, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo presente Regulamento, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
- as condições de manutenção dos sistemas de climatização, incluindo os requisitos necessários para assumir a responsabilidade pela sua condução;
- as condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior (QAI);
- os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projecto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, quer em termos da eficiência energética, quer da QAI.

O RCCTE estabelece as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que: as exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia (RCCTE, 2006). As regras definidas no RCCTE visam também a minimização das situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

impacte negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior (RCCTE, 2006).

Em 2008 foi definido o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015 (PNAEE), através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 de 20 de Maio (PNAEE, 2008). O PNAEE é um plano de acção agregador de um conjunto de programas e medidas de eficiência energética, com um horizonte temporal até ao ano de 2015 (PNAEE, 2008).

O PNAEE está enquadrado na Directiva n.º 2006/32/CE, que visa obter uma economia anual de energia de 1% até ao ano de 2016, tomando como base a média de consumos de energia final, registados no quinquénio 2001 - 2005 (aproximadamente 18.347 Tep) (PNAEE, 2008).

O PNAEE abrange quatro áreas específicas, objecto de orientações de cariz predominantemente tecnológico: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado. O PNAEE estabelece, adicionalmente, três áreas transversais de actuação: comportamentos; fiscalidade; incentivos e financiamentos (PNAEE, 2008).

O PNAEE estabeleceu a meta de reduzir, até 2015, 10% do consumo energético de Portugal, o equivalente à poupança de 1.792.000 Tep (PNAEE, 2008).

De acordo com a ADENE, até final de 2010, Portugal conseguiu poupar um total acumulado de 657.000 Tep, representando uma execução acumulada de 37% face à meta para 2015.

Em 2010, foi definida a nova Estratégia Nacional para a Energia (ENE), tendo como horizonte o ano de 2020, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010 de 15 de Abril, actualizando a ENE definida em 2005 (ENE, 2010).

A ENE 2020 tem como objectivos (ENE, 2010):

- reduzir a dependência energética do País face ao exterior para 74 % em 2020, produzindo, nesta data, a partir de recursos endógenos, o equivalente a 60 milhões de barris anuais de petróleo, com vista à progressiva independência do País face aos combustíveis fósseis;

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- garantir o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, permitindo que em 2020 60 % da electricidade produzida e 31 % do consumo de energia final tenham origem em fontes renováveis e uma redução do 20 % do consumo de energia final nos termos do Pacote Energia - Clima 20 - 20 - 20;
- reduzir em 25 % o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas gerando uma redução de importações de 2.000 milhões de euros;
- criar riqueza e consolidar um cluster energético no sector das energias renováveis em Portugal, assegurando em 2020 um valor acrescentado bruto de 3.800 milhões de euros e criando mais 100.000 postos de trabalho a acrescer aos 35 000 já existentes no sector e que serão consolidados. Dos 135.000 postos de trabalho do sector, 45.000 serão directos e 90.000 indirectos. O impacto no PIB passará de 0,8 % para 1,7 % até 2020;
- desenvolver um cluster industrial associado à promoção da eficiência energética assegurando a criação de 21.000 postos de trabalho anuais, gerando um investimento previsível de 13.000 milhões de euros até 2020 e proporcionando exportações equivalentes a 400 milhões de euros;
- promover o desenvolvimento sustentável criando condições para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas por Portugal no quadro europeu.

2.8 A reabilitação do parque edificado em Portugal

2.8.1 A reabilitação de edifícios

A reabilitação visa conferir aos edifícios existentes uma melhoria significativa de qualidade, quer em relação ao seu estado actual, quer em relação à qualidade à data da sua construção. Em contrapartida, o termo conservação aplica-se a operações de menor envergadura que se destinam a conferir a edifícios não degradados uma qualidade equivalente à da data da sua construção (Almeida, 2011).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

O termo reabilitação pode ainda ser aplicado aos edifícios em duas acepções distintas (Almeida, 2011):

- beneficiação, operações que conferem a edifícios não degradados uma qualidade superior à que possuíam aquando da sua construção;
- recuperação, operações que incidem sobre edifícios degradados devido à não realização de obras periódicas, ou sobre edifícios construídos segundo padrões abaixo do regulamentar (deste ponto de vista, clandestinos).

A reabilitação térmica e energética de edifícios é uma das vias mais promissoras para a correcção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria do conforto dos utilizadores (DGEG, 2004). Permite reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, contribuindo para o objectivo estratégico de redução das necessidades energéticas do País e correcção de patologias devido à presença de humidade. (DGEG, 2004).

2.8.2 Mudança de paradigma no sector da construção

Embora absorva anualmente acerca de 25.000 milhões de euros, a construção é uma actividade de reduzido valor acrescentado, e o seu contributo para o PIB é relativamente pequeno, inferior a 6% (Cóias, 2008).

Em termos ambientais, os impactos negativos da construção nova são múltiplos e em cadeia: provoca a destruição ou redução do desempenho ambiental dos terrenos; obriga à extracção de matérias-primas; consome uma multiplicidade de produtos; produz resíduos de construção e demolição; mais emissões de CO₂ associadas à expansão no território das zonas construídas (Cóias, 2008).

Em termos sociais, a construção, quando associada à expansão urbana, não favorece a integração e mobilidade sociais, nem a preservação dos valores culturais, a criação e expansão de subúrbios-dormitório arrasta a desertificação da cidade antiga e o abandono do centro histórico (Cóias, 2008).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

A pressão do sistema financeiro e dos promotores imobiliários para escoar a produção de casas novas resultou, por seu turno, no actual sobre-endividamento das famílias (Cóias, 2008)

Qualquer rumo que seja definido, tendo em vista a optimização dos recursos económicos, ambientais e a coesão social passará pela mudança de paradigma no sector da construção e da promoção imobiliária.

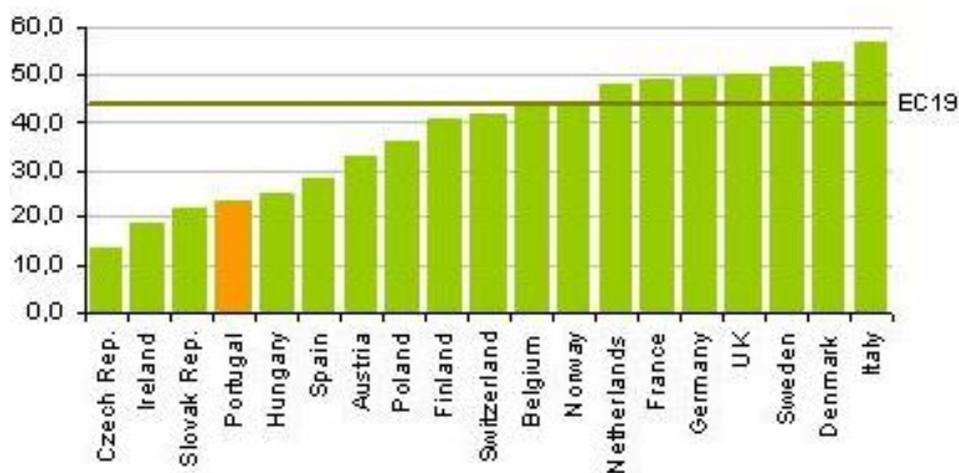
Se se juntarem os consumos energéticos dos edifícios em Portugal e as necessidades de obras de reparação, pode concluir-se que o caminho terá de passar pelo aumento do peso da reabilitação no sector da construção.

2.8.3 O peso actual da reabilitação

O estado de degradação de grande parte do parque habitacional português obriga a que se tenha um olhar diferente sobre esta situação. Em Portugal, apenas cerca de 23% (INE, 2010) do investimento feito no sector da construção de edifícios foi destinado à reabilitação do edificado existente, ao passo que a média europeia (dos 19 países do Euroconstruct) se situa perto dos 45%, como mostra a Figura 14.

É nas obras destinadas ao Comércio que a reabilitação teve um maior peso no ano de 2009: cerca de 43,2% (INE, 2010). A Indústria apresenta também um peso considerável das obras de reabilitação, que correspondem a 31,0% do total de obras concluídas em 2009 para esse destino (INE, 2010).

Peso da reabilitação (%)



Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Figura 14 – Peso do investimento na reabilitação, dentro do sector da construção, em percentagem (Fonte: Euroconstruct, 2005)

Na Europa, o sector da conservação e reabilitação é a componente produtiva mais dinâmica e a que tem registado maiores crescimentos. Tal crescimento deve-se às crescentes exigências dos consumidores europeus em termos de conforto, segurança e utilização de novas tecnologias nos últimos 20 anos e o comportamento menos cíclico deste segmento face à conjuntura económica (Almeida, 2011).

2.8.4 Os programas de incentivo à reabilitação

Ao longo dos últimos 30 anos têm sido realizados vários esforços para promover a reabilitação em Portugal. A constatação dos problemas urbanos cedo suscitou diferentes formas de intervenção de entre as quais se destacam os esforços feitos para reabilitação do parque habitacional através dos seguintes programas: RECRIA (Regime Especial de Comparticipação na Recuperação de Imóveis Arrendados - Decreto-Lei nº4/88, de 6 de Junho); REHABITA (Regime de Apoio à Recuperação Habitacional em Áreas Urbanas Antigas - Decreto-Lei 105/96, de 31 de Julho); RECRIPH (Regime Especial de Comparticipação e Financiamento na Recuperação de Prédios Urbanos em Regime de Propriedade Horizontal - Decreto-Lei nº106/96, de 31 de Julho) e SOLARH (Programa de Apoio Financeiro Especial Para a Reabilitação de Habitações - Decreto-Lei nº 7/99, de 8 de Janeiro) (Madeira, 2009).

No entanto, os programas criados neste domínio revelaram-se ineficazes. Tal ineficácia decorre não só de dificuldades de ordem administrativa e burocrática, mas das relativas à incapacidade para considerar questões importantes como as características físicas e construtivas dos fogos, o seu estado estrutural, a viabilidade técnico-económica das intervenções e o impacte sobre a qualidade de vida da população e na melhoria dos centros urbanos onde se inserem (Madeira, 2009).

3. O conceito *Passive House*

3.1 O que significa ser *Passive House*

Passive House é um conceito construtivo, independente de qualquer linguagem ou tendência arquitectónica, que define um padrão que é, simultaneamente, eficiente sob o ponto de vista energético, confortável, economicamente acessível e ecológico. No entanto, é mais do que apenas um edifício de baixo consumo energético.

Os edifícios *Passive House* combinam um elevado nível de conforto com um consumo de energia muito baixo. Trata-se de edifícios com um grau elevado de isolamento, um controlo rigoroso das pontes térmicas e das infiltrações de ar, sistemas de caixilharias e vidros de elevado desempenho e um bom aproveitamento da radiação solar de modo a que a ventilação com a recuperação de calor seja suficiente para a sua climatização, sem recorrer a sistemas adicionais (Gauna, 2011).

De uma forma sucinta, uma *Passive House* tem de responder fundamentalmente a três requisitos. O primeiro é um limite de energia, para aquecimento e arrefecimento, o segundo é um requerimento de qualidade, relativo ao conforto térmico, e o terceiro é um conjunto definido de sistemas passivos preferenciais que permitem cumprir o limite energético e de qualidade sem um custo elevado (Elswijk & Kaan, 2008).

3.2 Origem e desenvolvimento do conceito

O conceito *Passive House* teve origem num projecto de investigação chamado *Passive House Preparatory Research Project* iniciado em 1988, através da colaboração do professor sueco Bo Adamson e do professor alemão Wolfgang Feist (IPHA, 2012). Para o desenvolvimento do conceito *Passive House* foi aproveitado muito do conhecimento adquirido e das experiências levadas a cabo ao longo de séculos na procura do conforto com a racionalização e optimização dos recursos disponíveis. O trabalho científico é sempre baseado no trabalho precedente. O contributo de experiências levadas a cabo nas décadas de 1970 e 1980 como as casas super-isoladas ou as casas solares passivas foi fundamental para a definição do que é hoje uma *Passive House* (Passipedia, 2010).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

O projecto *Philips Experimental House Project* que teve o seu início após a primeira crise petrolífera de 1973, crise que acabou por ser fundamental para impulsionar a investigação de soluções energeticamente eficientes, ocorreu entre 1974 e 1984, respectivamente a data da construção e a data da conclusão da monitorização e investigação do protótipo. Trata-se de uma casa localizada na Alemanha, em Aachen, com construção em madeira (Figura 15) com elevados níveis de isolamento (valores do U de $0,14\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), janelas com vidro duplo com baixa emissividade e estores exteriores, sistema de ventilação com recuperação de calor com 90% de eficiência e com pré-aquecimento e pré-arrefecimento do ar através de permutação de calor pelo solo. As necessidades de aquecimento foram estimadas em $20/30\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ correspondendo a um valor aproximado aos valores de uma *Passive House* (Steinmüller, 2008).



Figura 15 – Vista geral do Philips Experimental House Project em Aachen, Alemanha (Fonte: Steinmüller, 2008)

Também o edifício da sede original do *Rocky Mountain Institute* e residência do seu co-fundador e presidente, o cientista Amory Lovins, é um exemplo paradigmático da procura da eficiência energética nos edifícios (Figuras 16 e 17). O edifício construído entre 1982 e 1984 no estado do Colorado, nos EUA, está localizado a grande altitude, a 2,164 metros, com uma situação climática adversa com temperaturas que atingem os -40°C no Inverno e os 30°C no Verão.

As estratégias para atingir o elevado desempenho energético passaram pela forma e orientação do edifício (forma orgânica e grandes superfícies envidraçadas a Sul), pelos elevados níveis de isolamento (valores do U de $0,14\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ nas paredes e de $0,095\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ na cobertura) e pela estanquidade do edifício associada ao sistema de ventilação com recuperação de calor (Brew, 2012).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal



Figura 16 – Vista geral do edifício sede do Rocky Mountain Institute no Colorado, EUA (Fonte: Judy Hill Lovins, 2011)



Figura 17 – Vista interior do edifício sede do Rocky Mountain Institute no Colorado, EUA (Fonte: Judy Hill Lovins, 2011)

Passados algumas décadas sobre a construção e utilização destes e de outros protótipos e exemplos pioneiros, como os edifícios super-isolados nos EUA nos anos 70 e 80 ou as casas de baixo consumo energético na Suécia desenvolvidas por Hans Eek (Passipedia, 2010), são identificáveis de forma mais clara as lacunas e os pontos a melhorar destas experiências. Os aspectos mais críticos são os seguintes (Passipedia, 2010):

- O não reconhecimento da importância da estanquidade dos edifícios;

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- A ausência de boas soluções de caixilharias e vidros para janelas de elevado desempenho;
- A ausência de soluções tecnológicas simples, fiáveis e energeticamente eficientes.

O projecto *Passive House Preparatory Research Project* teve como objectivo a construção em 1990 dos primeiros protótipos *Passive House* em Darmstadt (Figuras 18 e 19). Os princípios que orientaram este projecto foram a definição de janelas com caixilharia com isolamento térmico e vidros triplos orientadas a Sul, a redução de pontes térmicas, elevados níveis de isolamento com valores de U entre 0,10 e 0,14 W/(m²K) e o controlo da QAI através do sistema de ventilação com recuperação de calor. O valor total da energia primária é de 120 kWh/m²a. Os quatro fogos do edifício foram habitados no ano seguinte pelas mesmas famílias que hoje ainda os habitam (Passipedia, 2010).



Figura 18 – Vista do alçado Sul, no Verão de 1992, do primeiro edifício *Passive House*, em Darmstadt (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2006)



Figura 19 – Vista geral, na Primavera de 2006, do primeiro edifício *Passive House*, em Darmstadt (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2006)

Na sequência desta colaboração é fundado pelo professor Wolfgang Feist o *Passivhaus Institut*, em 1996, sediado em Darmstadt. Este instituto definiu a *Passive House* como “um edifício, cujo conforto térmico (ISO 7730:1994) pode ser alcançado somente pelo pós-aquecimento ou pós-arrefecimento da massa de ar fresco, que terá de atingir os requisitos da qualidade do ar interior, sem necessitar de uma adicional recirculação do ar” (Passipedia, 2010).

Esta definição é puramente funcional, não associando valores numéricos e é válida em qualquer condição climatérica, mostrando que a *Passive House* é um conceito fundamental e que permite a sua adaptação a situações concretas.

3.3 A implementação do conceito

Originário da Alemanha, é neste país que o conceito se encontra mais desenvolvido. Actualmente, a construção de *Passive Houses* está também disseminada pelo Norte e Centro da Europa, em especial na Áustria (Figura 20) (IPHA, 2012).



Figura 20 – Exemplo *Passive House* – edifício de habitação colectiva concluído em 2009 em Innsbruck, Áustria

Os principais obstáculos à implementação do conceito nos diversos países estão relacionados com o pouco conhecimento do conceito no seio da indústria da construção, com as limitadas capacidades técnicas dos empreiteiros e construtores e com a dificuldade de aceitação do conceito no mercado (PEP, 2008). Estes três factores acabam por estar relacionados entre si, sendo difícil quebrar este ciclo vicioso.

Para tentar eliminar estas barreiras têm sido envidados esforços, por parte da União Europeia, na divulgação, promoção e implementação de *Passive Houses* nos países membros, através de diversos projectos.

Um dos projectos foi o *Cost Efficient Passive Houses as European Standards* (CEPHEUS), que durou quatro anos, entre Janeiro de 1998 e Dezembro de 2001 (Feist et al, 2001). Este projecto teve como propósito demonstrar a capacidade do conceito ser concretizado por diferentes equipas em diferentes locais e fomentar a criação de massa crítica e de redes de trabalho para o seu desenvolvimento. O CEPHEUS permitiu a construção de 221 fogos (estava prevista a construção de 250) de acordo com os padrões *Passive House* em cinco países (Alemanha,

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Áustria, Suíça, França e Suécia), procedendo à sua monitorização e análise dos resultados obtidos (Feist et al, 2001).

Já o projecto *Promotion of European Passive Houses* (PEP), suportado parcialmente pela Comissão Europeia, teve como objectivo fornecer apoio a todos os intervenientes no processo construtivo, alargando a rede de intervenientes e, ao mesmo tempo, introduzindo e disseminando o conceito nos países participantes (Elswijk & Kaan, 2008).

O PEP durou três anos, teve início em Janeiro de 2005 e terminou em Janeiro de 2008, e teve a participação de um conjunto mais alargado de países europeus relativamente ao CEPHEUS (Elswijk & Kaan, 2008). A experiência do PEP permitiu estabelecer as bases para a discussão da implementação do conceito em países com climas mais quentes (Elswijk & Kaan, 2008).

Paralelamente ao PEP, desenvolveu-se o projecto *Passive-On*, que procurou difundir o conceito em climas quentes da Europa, que decorreu de Janeiro de 2005 a Setembro de 2007 (Passive-On, 2007). Portugal foi um dos países participantes neste projecto, a par da Espanha, França, Itália e Reino Unido, em que a definição do conceito *Passive House* se alargou através da definição de um limite para as necessidades de arrefecimento (Passive-On, 2007).

Tem também vindo a ser feito um esforço para alargar o conceito a regiões fora do continente europeu, sendo exemplo disso a construção de *Passive Houses* nos Estados Unidos, na Coreia do Sul, no Japão (Figura 21) ou no Chile. Estes exemplos e estas experiências de introdução e desenvolvimento do conceito foram destacados na 15ª Conferência Internacional *Passive House*, que decorreu na cidade austríaca de Innsbruck, em 27 e 28 de Maio de 2011.



Figura 21 – Exemplo de *Passive House* – edifício de habitação unifamiliar em Namakura (Japão), concluído em 2009 (Fonte: Key Architects, 2011)

Na 16ª Conferência Internacional *Passive House*, que decorreu na cidade alemã de Hannover, em 4 e 5 de Maio de 2012 foi dada sequência a este processo de alargamento do conceito a outras regiões como a Rússia ou a China.

3.4 Os padrões *Passive House*

A IEA considera os edifícios com padrões *Passive House* como o próximo passo a dar nos códigos construtivos, após os *Low-Energy Buildings* (LEB). Um edifício *Passive House* não deve ultrapassar os 15 kWh/m² anuais para aquecimento e para arrefecimento, ao passo que aos LEB estão associados valores entre 60 a 80 kWh/m² para aquecimento (ETP, 2008).

Em relação aos edifícios convencionais a poupança apresentada é ainda mais expressiva: uma *Passive House* utiliza apenas 10% da energia consumida num edifício convencional oferecendo ainda uma maior qualidade do ar interior (Kaan, 2008).

Para além da poupança energética e da melhoria dos níveis de conforto, um dos principais factores responsáveis pelo sucesso da implementação de *Passive Houses* é o baixo custo

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

adicional, em relação a construções convencionais. De acordo com os valores médios, apurados na construção de *Passive Houses*, o acréscimo no custo de construção não ultrapassa os 10% no caso de moradias isoladas, os 8% em moradias em banda e edifícios multifamiliares e 5% em edifícios de escritórios e escolas (IPHA, 2012).

Apesar de ser adaptável ao clima, de ser um conceito aberto e em desenvolvimento, possui requisitos muito específicos relativos aos valores e metas considerados fundamentais para se poder considerar um edifício como *Passive House*.

Os requisitos para ser *Passive House* são os seguintes (IPHA, 2012):

- As necessidades de aquecimento e de arrefecimento não poderão exceder os 15kWh/(m²a);
- Como alternativa ao ponto anterior, a carga de aquecimento ou de arrefecimento não poderá exceder os 10W/m²;
- A estanquidade ao ar, que terá de ser verificada por entidade independente através do *blower door test* e da emissão do respectivo relatório, com um valor de renovações do volume de ar do edifício inferior a 0,6h⁻¹, aferidos com uma pressurização de 50Pa;
- As necessidades de energia primária para a totalidade do aquecimento, arrefecimento, AQS e electricidade não poderão exceder os 120kWh/(m²a);
- A temperatura no interior do edifício deve ser no mínimo de 20 °C no Inverno e de 26°C no Verão;
- A temperatura excessiva, acima dos 26°C, não pode ocorrer em mais do que 10% do tempo.

Poder-se-á considerar as necessidades de aquecimento como o requisito chave uma vez que, sendo o conceito *Passive House* originário de países com climas mais frios do Centro e Norte da Europa, os consumos associados ao aquecimento dos edifícios são os mais relevantes no total. O valor de 15kWh/(m²a) foi definido por ser o limite segundo o qual é possível fazer o aquecimento apenas pela recuperação do calor, com uma eficiência nunca inferior a 75%, através da ventilação com o caudal mínimo para garantir a qualidade do ar interior (Bengoa & Nitsch, 2011).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Com a necessidade da adaptação do conceito a climas mais quentes, nomeadamente aos países do Sul da Europa, foi introduzido o requisito para as necessidades de arrefecimento cujo valor limite é igual ao das necessidades de aquecimento.

O valor limite para as necessidades de energia primária tem em conta já os baixos valores para suprir as necessidades de aquecimento e arrefecimento, mas também pressupõe a definição de soluções eficientes para todos os equipamentos. Este limite tenderá a ser inferior no futuro, quer pela experiência e pelos resultados acumulados que estão geralmente bastante abaixo deste valor quer pela constante procura por parte dos fabricantes em apresentar soluções cada vez mais eficientes (Bengoa & Nitsch, 2011).

Os requisitos exigidos poderão ser atingidos através de uma combinação de diferentes soluções (Feist, 2009):

- Definir soluções através de estratégias solares Passivas: sempre que possível os edifícios devem ter uma forma compacta para reduzir a sua área de exposição ao exterior, e possuir cerca de 75% dos envidraçados orientados a Sul;
- Super-isolamento: os edifícios deverão possuir elevados níveis de isolamento para reduzir as perdas pelas paredes, cobertura e pavimentos, com especial atenção no tratamento das pontes térmicas;
- Aplicação de janelas de elevado desempenho: deve ser tida em consideração a qualidade da caixilharia, o tipo de vidros e espaçadores e o posicionamento e isolamento da caixilharia no vão;
- Garantir a estanquidade do edifício: deve definir-se uma barreira contínua à passagem do ar e uma selagem de todas as penetrações da envolvente. Deste modo consegue-se uma redução das infiltrações do ar (quente ou frio), que atravessaria a envolvente, permitindo uma maior eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor;
- Sistema de ventilação com recuperação do calor: o sistema deve ter uma eficiência superior a 75% para garantir a QAI e o conforto dos utilizadores. Como o edifício terá de ser suficientemente estanque, a taxa de renovação de ar pode ser reduzida para o valor de $0,4h^{-1}$, garantindo uma boa qualidade do ar interior. O aquecimento adicional pelo ar pode ser conseguido por uma pequena bomba de calor ou por energia solar térmica;

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

- Sistemas eficientes para gerar calor/frio: para além da ventilação com recuperação de calor, é usual a utilização de uma micro bomba de calor que aproveita o calor do ar extraído e aquece o ar insuflado e as águas quentes sanitárias. Para além dos ganhos solares, um edifício *Passive House* potencia os ganhos internos, nomeadamente o calor gerado pela iluminação e electrodomésticos assim como o calor gerado pelas pessoas e animais dentro de casa, não sendo necessários sistemas adicionais de aquecimento central.

3.5 Os princípios fundamentais

A procura da eficiência energética no edifício, que é o que está na origem do conceito *Passive House*, poderá ser comparada com o exemplo que se apresenta na Figura 22. A tarefa de “manter o café quente” pode ser conseguida das seguintes formas: através da utilização, em contínuo, de electricidade no caso da jarra da cafeteira; ou evitando as perdas de calor no caso da garrafa termo.

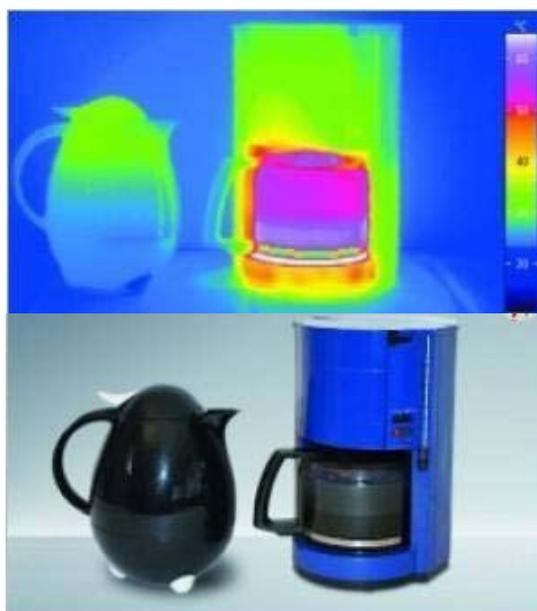


Figura 22 – Preservação da energia vs desperdício de energia (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2006)

Os princípios para se conseguir uma *Passive House* são (Gauna, 2011): a adequada definição da envolvente opaca do edifício (elevados níveis de isolamento e a minimização das pontes térmicas); a definição de janelas e portas de elevado desempenho; a estanquidade do edifício

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

(controlo das infiltrações); a definição de um sistema de ventilação com recuperação de calor; a optimização dos ganhos solares e dos ganhos internos e a modelação energética de ganhos e perdas (através de software específico) (Figura 23).

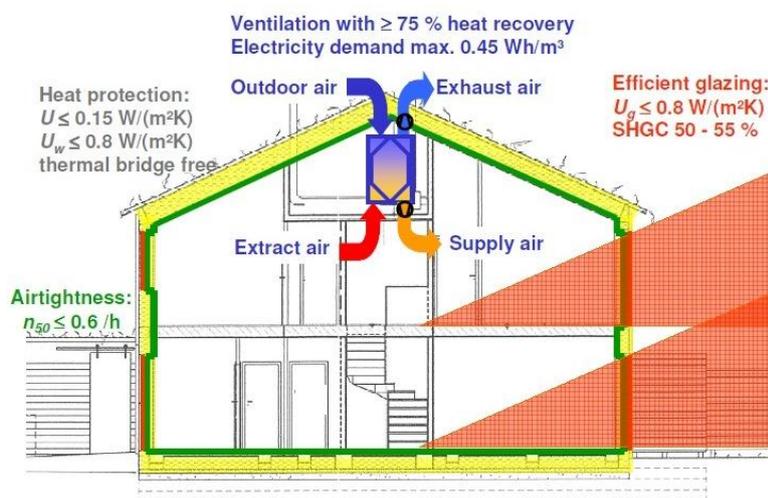


Figura 23 – Princípios fundamentais de um edifício Passive House (Fonte: Passivhaus Institut, 2012)

3.6 Envolvente opaca do edifício

É fundamental assegurar elevados níveis de isolamento de modo a minimizar as perdas pela envolvente opaca do edifício, independentemente do tipo de construção utilizada. Os níveis de isolamento variam de acordo com as condições climáticas do local, sendo que na Europa Central, os valores indicados do coeficiente de transmissão térmica para os elementos das paredes exteriores, coberturas e lajes variam entre 0,10 e 0,15 W/(m²K) (Passipedia, 2012). Estes valores estão definidos como os mais vantajosos numa análise custo benefício e correspondem, sensivelmente, a espessuras de isolamento de 20 a 30 cm, que poderão ser de 40 cm ou mais em situações extremas.

O objectivo passa por tornar as perdas de calor na estação de aquecimento quase negligenciáveis e tornar a temperatura da superfície interior muito próxima da temperatura do ar, que será de 20° no mínimo. Deste modo, conseguem-se atingir elevados níveis de conforto e prevenir de forma eficaz a ocorrência de patologias associadas a condensações. Em climas quentes ou durante a estação de aquecimento o adequado isolamento assegura a protecção em

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

relação ao calor e, deste modo, o conforto dos ocupantes, associada ao sombreamento dos vãos envidraçados e à ventilação adequada (Passipedia, 2012).

Para além do nível de isolamento, outro aspecto fundamental está relacionado com a minimização das pontes térmicas, através da continuidade da camada de isolamento térmico em todos os elementos construtivos (paredes, cobertura, lajes térreas, fundações). O objectivo é reduzir ao máximo as pontes térmicas de modo à sua contabilização ser irrelevante (IPHA, 2012).

Para se verificar se um edifício ou projecto cumpre este princípio, deve utilizar-se um lápis e, num corte do edifício, identificar e traçar o isolamento térmico sem interrupções. Deste modo poderão ser identificados os pontos frágeis, tendo em vista a sua resolução ou minimização (Figura 24). Um exemplo destes pontos frágeis é a ligação entre os elementos da envolvente opaca e os vãos envidraçados (Passipedia, 2012).

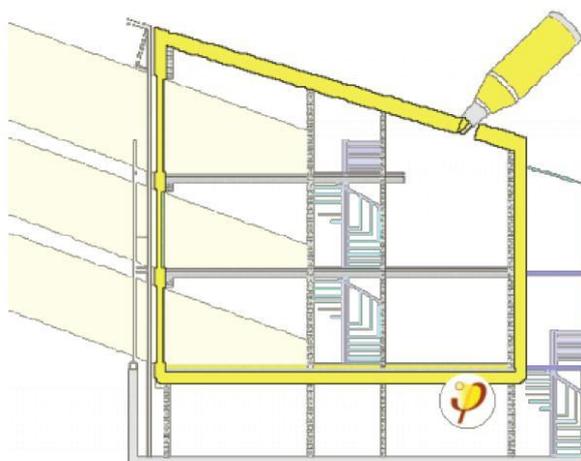


Figura 24 – Isolamento contínuo na envolvente do edifício (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2012)

3.7 Vãos envidraçados

As janelas são as zonas mais frágeis da envolvente, sob o ponto de vista térmico. São, por esse motivo, elementos essenciais para assegurar o conforto no interior do edifício. A sua importância também advém do facto de que são essenciais no balanço energético do edifício, contribuindo com os ganhos solares na estação de aquecimento.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Na estação de aquecimento e, sobretudo nos climas mais frios, a instalação de janelas de má qualidade origina superfícies frias no interior dos espaços havendo a necessidade de compensar as perdas correspondentes e lidar com as condensações indesejadas. No sentido inverso, a instalação de janelas de qualidade contribui para o conforto e possibilita um balanço positivo, entre os ganhos pelo vidro e as perdas pelo vidro e pela caixilharia (Passipedia, 2012).

No centro da Europa o valor do coeficiente de transmissão térmica não pode ser superior a $0,80\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. Para se conseguir este valor têm de ser definidos vidros triplos, com baixa emissividade e um factor solar o mais elevado possível (geralmente valores de 0,5 para potenciar os ganhos solares), caixilharias isolantes (em madeira, em PVC com isolamento no interior, em alumínio com isolamento no interior), perfis intercalares dos vidros com baixa condutividade e a correcta instalação da janela no vão (de preferência no alinhamento da camada de isolamento) (Passipedia, 2012). Para condições climatéricas menos exigentes terão de ser adequados os requisitos e respectivos valores.

O limite de $0,80\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ é justificado pela temperatura exterior mínima considerada para o cálculo, -10°C . Com esta conjugação de factores a temperatura na face interior do vidro será sempre superior a 17°C , não originando uma diferença de temperatura elevada relativamente à temperatura do ar, que deverá ser no mínimo de 20°C . O *Passivhaus Institut* definiu o valor de 3°C como o valor máximo para a diferença de temperatura entre a superfície interior de qualquer elemento da janela. É a partir deste requisito, e em conjugação com os dados climáticos da localização do edifício, que deverão ser definidos os elementos constituintes dos vãos envidraçados (Passipedia, 2012).

3.8 Estanquidade

A envolvente exterior de um edifício *Passive House* tem de ser estanque ao ar, ou seja, deve impedir a passagem descontrolada do ar. Este princípio também tem aplicação nos edifícios convencionais e contraria a noção errada e muito difundida de que as juntas e fissuras existentes do edifício garantem a ventilação e a renovação do ar necessárias para a qualidade do ar interior (IBO, 2009).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

O volume de ar que atravessa as juntas e fissuras está dependente da pressão do vento na envolvente e da diferença de temperatura entre o interior e o exterior, assim pode acontecer o caso do caudal de ventilação não ser suficiente pelo facto de a intensidade do vento ser reduzida ou, tendo caudais elevados, existirem muitas perdas térmicas pelo facto de a temperatura exterior ser muito inferior (Berger, 2011).

As vantagens da estanquidade são (IBO, 2009):

- Evita o aparecimento de patologias associadas a condensações – quando o ar interior aquecido e contendo vapor de água se escapa pelas juntas e fissuras existentes vai, inevitavelmente, arrefecer. No inverno, devido às temperaturas mais baixas pode ocorrer a condensação no interior do elemento construtivo (Figura 25);
- Evita correntes de ar e perdas de calor por infiltrações de ar – as correntes de ar pelas juntas de separação dos elementos construtivos são provocadas por acção do vento que, durante a estação de aquecimento, podem provocar perdas de calor substanciais. Numa *Passive House* não haveria capacidade de suprir estas perdas;
- Eleva a eficiência do sistema de ventilação – se as fugas de ar forem excessivas a recuperação de calor, mesmo com sistema de ventilação, será impossível de alcançar. Não é possível fazer o aquecimento ambiente pela ventilação, com caudais reduzidos para aumentar a eficiência do sistema e reduzir os consumos, ao mesmo tempo que existem demasiadas fugas de ar;
- Contribui para o eficiente isolamento térmico – a passagem de ar pelo sistema de isolamento térmico origina perdas de calor por ventilação e redução da eficiência do isolamento, sobretudo numa *Passive House* com elevados níveis de isolamento;
- Melhora o isolamento acústico – a transmissão do som mesmo através de pequenas juntas ocorre, assim sendo, o bom isolamento acústico só é possível com uma construção estanque;
- Melhora a qualidade do ar interior – a elevada estanquidade em conjugação com a ventilação controlada do edifício tem muita influência na QAI. A estanquidade é muito importante em situações em que o ar tem elevado nível de contaminação, em garagens e caves por exemplo, evitando a contaminação das zonas habitáveis. Também o funcionamento do sistema de ventilação típico de uma *Passive House* (admissão de ar

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

nos espaços habitáveis e extracção em espaços potencialmente contaminados) é melhorado pela elevada estanquidade.

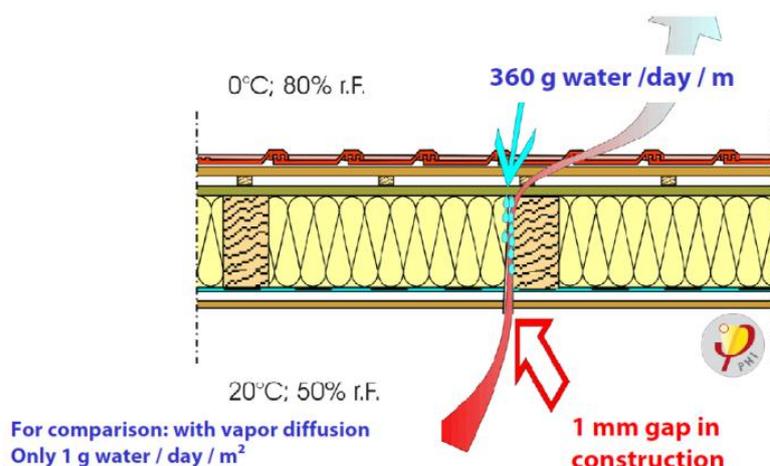


Figura 25 – Representação da ocorrência de condensações devido a juntas e fissuras (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2012)

A estanquidade do edifício só pode ser garantida através de um projecto e de uma execução dos trabalhos cuidada. Tem de ser definida uma superfície contínua que evite as passagens do ar do interior para o exterior e vice-versa. Não se pode garantir a estanquidade através da definição de camadas paralelas, pois não se pode garantir a sua continuidade (IBO, 2009).

Independentemente dos sistemas construtivos, terá de se garantir uma elevada estanquidade ao ar. Mas o tipo de construção terá de originar diferentes soluções para assegurar a estanquidade, os problemas de uma construção leve em madeira são obrigatoriamente diferentes de uma construção mais pesada em betão e alvenaria. E as soluções definidas terão de acompanhar a durabilidade dos restantes elementos construtivos (Berger, 2011).

A verificação da estanquidade do edifício terá de ser feita através de um teste de pressurização, o *blower door test*, realizado durante a fase de conclusão da execução da obra (Figura 26). O edifício é colocado a uma pressão, positiva ou negativa, de 50 Pa e será aferido o número de renovações de ar por hora. O *Passivhaus Institut* definiu como limite o valor de 0,6 h⁻¹ (Passipedia, 2012).

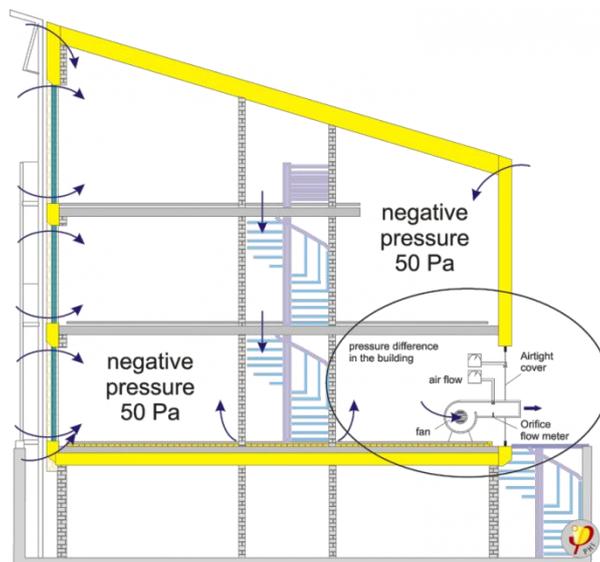


Figura 26 – Representação do blower door test no primeiro edifício *Passive House* em Darmstadt (Fonte: Passipedia, 2012)

O requisito de estanquidade deverá ser o requisito mais difícil de responder uma vez que só poderá ser aferido aquando da execução da obra, ao passo que todos os outros requisitos são aferidos pela ferramenta PHPP (ver ponto 3.11). Se o resultado do *blower door test* não for inferior a $0,6 \text{ h}^{-1}$ terá de se proceder à detecção e reparação dos pontos mais críticos, no que respeita à estanquidade da envolvente, e à repetição do *blower door test*.

Nos edifícios existentes o resultado do *blower door test* varia, normalmente, entre 3 e 6 h^{-1} (Passipedia, 2012). Já nos edifícios de baixo consumo energético, *low energy building*, o resultado consegue estar abaixo de 1 h^{-1} (Passipedia, 2012).

3.9 Ventilação

Como foi atrás referido, um dos objectivos principais de um edifício *Passive House* é a garantia de conforto por parte dos utilizadores, quer ao nível da temperatura quer ao nível da qualidade do ar interior, considerando sobretudo a humidade relativa e a concentração de CO_2 . Para o *Passivhaus Institut* a relevância da qualidade do ar interior deve sobrepor-se à da conservação energética, porque está em causa a saúde, mais do que o conforto, dos ocupantes do edifício (Passipedia, 2012).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

A concentração de CO₂ numa divisão está dependente do número de ocupantes, do tempo de ocupação, da quantidade de ar da divisão que é renovado, da dimensão da divisão, da existência de fontes de contaminação e da concentração exterior (que pode variar entre 350 e 400 ppm). Na legislação portuguesa, o valor de referência definido pelo RSECE para a concentração máxima de CO₂ corresponde a aproximadamente 1000 ppm. A redução da qualidade do ar interior num compartimento pode ter consequências negativas no bem-estar das pessoas, afectando-lhes a saúde, o conforto e a produtividade.

Um estudo promovido pelo *Passivhaus Institut* concluiu que sem uma ventilação controlada a concentração de CO₂ no ar interior rapidamente excede os limites mínimos recomendados. Num quarto com 35m³ e dois ocupantes a concentração de CO₂ após 8 horas ultrapassa o valor de 0,7% de CO₂ no volume total do quarto, considerando que as janelas estão fechadas e que a estanquidade do edifício está ao nível dos padrões *Passive House*, (Figura 27). Estando definido o valor de 0,1% como limite para a concentração de CO₂ no volume da divisão para atingir a qualidade do ar interior, verifica-se que esse limite é ultrapassado logo ao fim de 1 hora (Passipedia, 2012).

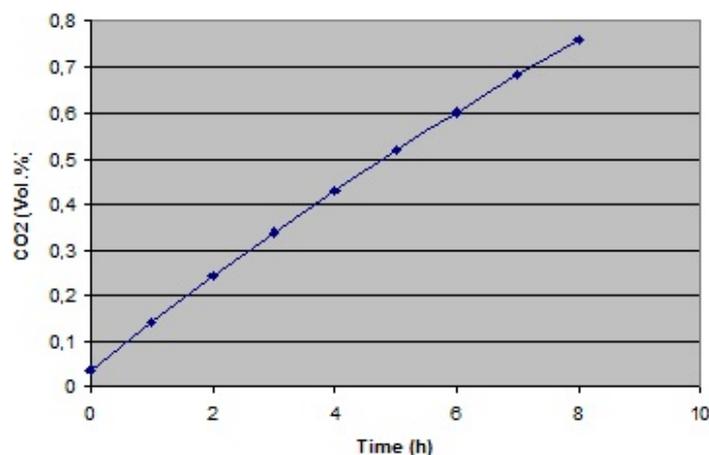


Figura 27 – Gráfico da evolução da concentração de CO₂ no quarto com 2 ocupantes ((Fonte: Passipedia, 2012)

A concentração de CO₂ num quarto pode chegar a 3500 ppm, com dois ocupantes e janelas e portas fechadas (Santos, 2008), sendo o quarto a divisão onde os ocupantes passam a maior parte do tempo (quase 1/3 da vida de uma pessoa). A elevada concentração de CO₂ deve-se à reduzida taxa de ventilação.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Os elevados níveis de concentração de CO₂ podem ser evitados através da existência de aberturas de admissão de ar permanentes, do tipo auto-reguláveis em paredes de fachada dos compartimentos principais, de modo a garantir que ocorre uma ventilação adequada independentemente da abertura das janelas (Santos, 2008).

O grande problema com estes sistemas é a constante perda de energia, durante a noite na estação de aquecimento, através da ventilação quando ela é feita através da substituição do ar interior que está aquecido pelo ar exterior mais frio que é admitido.

Estima-se que, na Holanda, a qualidade do ar interior dos quartos, considerando sobretudo a elevada humidade relativa, sejam responsáveis por 0,5% de todos os problemas de saúde, sendo responsáveis por um acréscimo de mortalidade de 400 a 700 indivíduos por ano (Hasselaar & Ginkel, 2004). A resolução passa por melhorar o modo de ventilação (Hasselaar & Ginkel, 2004).

Em edifícios de escritórios a concentração de CO₂, principalmente devido à respiração dos ocupantes, varia entre 350 e 2500 ppm. Os sintomas originados pela Síndrome do Edifício Doente associados à elevada concentração de CO₂ incluem dores de cabeça, fadiga, sintomas oculares e das vias respiratórias (Erdmann et al, 2002).

Não existe uma ligação causa-efeito entre a exposição ao CO₂ e os sintomas da Síndrome do Edifício Doente, existindo, no entanto, uma relação entre a concentração de CO₂ com outros poluentes causadores de sintomas da Síndrome do Edifício Doente (Erdmann et al, 2002).

A ventilação assume um papel de elevada relevância, uma vez que o seu contributo é decisivo tanto na qualidade do ar interior como na temperatura interior. A qualidade do ar interior só pode ser conseguida com a renovação regular do ar, deste modo, um dos princípios *Passive House* passa pela definição de um sistema de ventilação com recuperação de calor (Gauna, 2011).

De acordo com o *Passivhaus Institut*, a ventilação natural, através da abertura de janelas duas vezes por dia, não é suficiente para garantir a adequada ventilação. A justificação parte do princípio que de cada vez que se abrem as janelas é feita a renovação total do ar do edifício. Se este procedimento for feito duas vezes por dia corresponde a duas renovações por dia (2

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

renovações em 24 horas), ou seja, uma taxa de renovação inferior a 0,1 renovações por hora, valor que é considerado insuficiente para a saúde e conforto dos ocupantes (Passipedia, 2012).

De um modo geral uma *Passive House* não tem capacidade de suprir as perdas originadas pela ventilação natural. Este facto é tão mais relevante quando mais adversos forem os dados climáticos. A ventilação natural ocorrerá quando existirem condições climáticas para tal.

Apesar de a ventilação não ser garantida através de ventilação natural durante a estação de aquecimento, não há nenhuma contra-indicação em relação à abertura das janelas, mesmo que tal aconteça em condições climáticas muito adversas, devendo existir o cuidado de não prolongar em demasia o período de abertura para não acentuar as perdas de calor. Neste sentido, devem ser garantidas preferencialmente janelas com sistemas que proporcionem a sua abertura, em detrimento de sistemas fixos que impeçam a franca ventilação quando existirem condições climáticas para tal (Passipedia, 2012).

Na Europa Central, uma *Passive House* só funcionará com a presença de um sistema eficiente de recuperação de calor. É feita a recuperação do calor do ar extraído, através de um permutador de calor, e transferido de volta para o ar admitido sem que ocorra a mistura dos fluxos de ar, conseguindo-se taxas de recuperação entre os 75 e os 90% com baixos consumos eléctricos (Figura 28). A eficiência do sistema com recuperação de calor terá de ser igual ou superior a 75%.

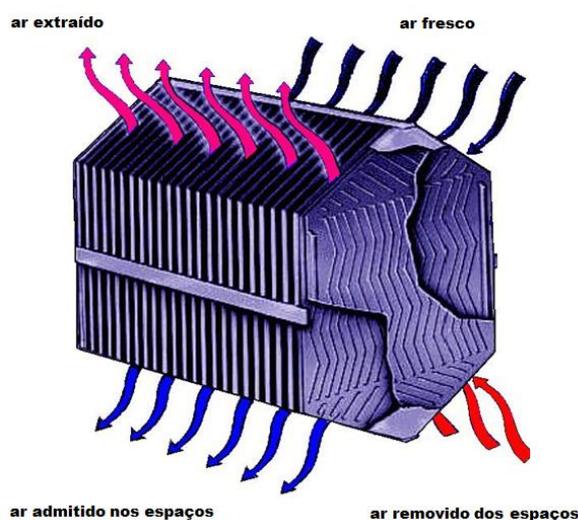


Figura 28 – Representação esquemática de um permutador de calor (Fonte: REHVA, 2012)

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

A ventilação com recuperação de calor, associada a elevados níveis de estanquidade, permite fazer a climatização dos espaços, apenas com a troca de calor entre o ar que é admitido pelo ar que é extraído, e manter a qualidade do ar sobretudo no que diz respeito aos níveis de humidade e à concentração de CO₂. É também frequente a permutação de calor com o solo, através da condução do ar admitido no edifício em condutas enterradas de modo a aproveitar a estabilidade do terreno para pré-aquecer e pré-arrefecer o ar (Alfonso, 2011).

A permutação de calor com o solo é uma possível melhoria na eficiência dos sistemas de ventilação, através do pré-aquecimento ou pré-arrefecimento do ar antes de ser admitido no edifício. Isto deve-se ao facto de que em geral, o solo tem uma temperatura superior à temperatura do ar durante o Inverno, acontecendo a situação inversa no Verão, a temperatura do solo é inferior à temperatura do ar (Theumer, 2012).

Para efeitos de dimensionamento, no conceito *Passive House*, são avaliadas as necessidades das taxas de renovação em função da ocupação, tendo em conta o seguinte (Alfonso, 2011):

- O caudal de ar mínimo de renovação por pessoa é de 30m³/h;
- No sector residencial, a ocupação estimada é de uma pessoa por 30m²;
- A taxa de renovação mínima é de 0,3h⁻¹, sendo o valor de referência para a taxa de renovação de 0,4h⁻¹.

3.10 Ganhos solares e ganhos internos

Como já foi demonstrado, uma *Passive House* tem necessidades de aquecimento muito reduzidas, mesmo em condições climáticas mais severas. Devido ao cuidado na definição dos elementos da envolvente, ao sistema de ventilação com recuperação de calor e à estanquidade do edifício os ganhos internos são otimizados (Gauna, 2011). Para a contabilização dos ganhos internos tem de se ter em conta a energia fornecida pelos ocupantes, pelos electrodomésticos e pela iluminação.

Outro elemento fundamental para o balanço energético são os ganhos solares, através dos vãos envidraçados. Para as janelas poderem funcionar como colectores solares é fundamental garantir a qualidade dos elementos das janelas, procurar o compromisso óptimo entre o

reduzido coeficiente de transmissão térmica e o factor solar do vidro, a adequada orientação dos vãos e também o adequado sombreamento para evitar o sobreaquecimento na estação de arrefecimento.

3.11 Modelação energética – cálculo balanço energético

O cálculo do balanço energético do edifício é feito através do software, em formato de folha de cálculo, *Passive House Planning Package* (PHPP). O PHPP é uma ferramenta de projecto e análise que permite saber se um edifício cumpre os requisitos para ser considerado *Passive House* (Clua, 2011). A sua aplicação pode ser feita a qualquer edifício e em qualquer fase do mesmo, no entanto para auxiliar a execução de um projecto de uma *Passive House* a sua utilização deve ser feita o mais atempadamente possível tendo em vista a resolução e correcção de determinados erros e problemas.

Para obter os dados relativos ao balanço energético do edifício (necessidades de aquecimento e arrefecimento, cargas máximas de aquecimento e arrefecimento, necessidades de energia primária) é necessário proceder à introdução de dados relativos ao edifício em causa. A sequência da verificação e os dados a introduzir são os seguintes (Theumer, 2012):

- Introdução dos dados gerais do edifício e dos dados climáticos relativos ao local;
- Introdução das soluções construtivas dos elementos da envolvente e respectivos valores do coeficiente de transmissão térmica;
- Introdução da informação relativa às janelas: definição dos tipos de janelas, levantamento dimensional de todas as janelas, sombreamentos;
- Introdução dos dados relativos à ventilação para obtenção dos valores estimados da ventilação;
- Determinação das necessidades de aquecimento e da carga de aquecimento;
- Determinação das condições da estação de arrefecimento e dos sombreamentos;
- Introdução da lista dos equipamentos e electrodomésticos utilizados e respectivas características;
- Determinação das necessidades de energia primária;

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

A introdução dos dados e a interpretação dos resultados é em tudo semelhante à folha de cálculo do RCCTE. No entanto deverão estar adquiridos os conhecimentos básicos relativos ao conceito *Passive House*.

3.12 A certificação *Passive House*

Existem cerca de 37.000 edifícios *Passive House* em todo o mundo, sendo que 4.500 são certificados de acordo com os requisitos *Passive House* (IPHA, 2012). Para que um edifício *Passive House* seja certificado, ou seja, tenha a garantia *Quality-Approved Passive House*, terá de ser certificado na fase de projecto e, posteriormente no final da obra. A certificação será feita pelo *Passivhaus Institut* ou por outra entidade credenciada pelo *Passivhaus Institut* (PHPP, 2007).

Só edifícios que cumpram os requisitos poderão ser certificados. Os requisitos variam consoante o edifício, havendo critérios diferentes para edifícios novos de uso residencial, de uso não residencial e foi já estabelecido o processo piloto de certificação de reabilitações de edifícios existentes (PHPP, 2007).

Toda a validação dos dados e análise do projecto e das soluções e, por conseguinte, dos resultados obtidos, é feita através do *Passive House Planning Package* (PHPP). O processo passa pela certificação de projectistas certificados e por verificadores de projecto certificados, com o intuito de criar redes e parcerias, entre promotores, construtores, utilizadores, projectistas, consultores.

A certificação também abrange os produtos ou sistemas construtivos, permitindo deste modo garantir aos projectistas e construtores a utilização de sistemas previamente testados e avaliados segundo os padrões *Passive House*. Naturalmente, os sistemas certificados surgem a partir do momento em que o sistema está implantado ou em fase avançada de implantação, como resposta do mercado às necessidades.

3.13 Comparação entre *Passive House* e Solar Passivo

Quando se fala do conceito *Passive House* não se pretende referir à Arquitectura Solar Passiva, Arquitectura Bioclimática, Energia Solar Passiva ou Edifícios Passivos. O conceito *Passive House*,

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

como atrás foi referido, assenta sobretudo em estratégias para diminuir as transmissões térmicas entre o interior e o exterior – através dos níveis de isolamento, redução de pontes térmicas e garantir a estanquidade e a adequada ventilação do edifício, natural e/ou mecânica, para assegurar a qualidade do ar interior.

A denominação de Arquitectura Solar Passiva ou Arquitectura Bioclimática pode ser definida como uma arquitectura que, na sua concepção, aborda o clima como uma variável importante no processo projectual, compreendendo as condições climáticas existentes no local (sol, vento e água) e definindo estratégias para que essas condições climáticas interajam positivamente com o edifício e propiciar as condições de conforto térmico adequadas a cada espaço. O papel do sol e da sua radiação é fundamental nesta relação (Gonçalves & Graça, 2004).

Já quando se fala em sistemas passivos, está a fazer-se referência a certos dispositivos construtivos integrados nos edifícios, cujo objectivo é o de contribuir para o seu aquecimento ou arrefecimento natural (Gonçalves & Graça, 2004).

No caso da estação de aquecimento estes sistemas pretendem maximizar a captação do sol no Inverno, através de vãos envidraçados bem orientados e dimensionados, aos quais se podem associar elementos massivos, que permitirão o armazenamento da energia solar e sua utilização em horas posteriores. Os sistemas de aquecimento passivo são os seguintes (Gonçalves & Graça, 2004):

- Ganho directo – as massas térmicas desempenham um papel estabilizador das condições interiores, atenuando a amplitude térmica no interior dos edifícios. Quanto maior for a massa térmica, menor será essa variação, sendo que também será mais difícil aquecer o edifício, sendo necessário um equilíbrio entre massa térmica, isolamento e área de vãos, dependendo muito do tipo de edifício e localização do mesmo. Durante o período diurno, a massa térmica absorve o calor resultante da incidência directa da radiação solar e, durante o período nocturno, devolve-o ao espaço;
- Ganho indirecto ou desfasado – nestes sistemas, verifica-se um desfasamento da onda de calor transmitida para o espaço e o ciclo da radiação solar. Os espaços onde estes sistemas se encontram podem tirar partido do desfasamento e receber a energia absorvida durante o dia no final da tarde e início da noite, dependendo muito de cada

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

edifícios e da sua utilização. Exemplos destes sistemas são a parede de Trombe e colunas de água;

- Ganho isolado – estes sistemas são constituídos por uma superfície de vidro e uma outra absorvedora sem qualquer capacidade de armazenamento térmico. Funcionam em termosifão e permitem ventilar os espaços interiores adjacentes ao longo de todo o ano. Corresponde a um sistema que permite aquecer o ar exterior a insuflar no interior do edifício numa situação de Inverno, utilizando para tal um dispositivo de captação solar. No verão o sistema permite a extracção do ar interior.

Na estação de arrefecimento, pretende-se tirar partido de “fontes frias” que permitirão retirar a energia do interior do edifício, de modo a diminuir a temperatura no interior dos mesmos. Desta forma, os sistemas de arrefecimento passivo podem eliminar ou diminuir consideravelmente a necessidade de um sistema de climatização convencional. Os sistemas de arrefecimento passivo são (Gonçalves & Graça, 2004):

- Ventilação Natural – quando o ar exterior, em determinados períodos do dia, apresenta uma temperatura inferior à temperatura interior dos próprios edifícios;
- Arrefecimento pelo solo – funciona pela circulação do ar no solo, cujas temperaturas são geralmente inferiores à temperatura do ar exterior, antes de ser admitido no edifício;
- Arrefecimento Evaporativo – provocado pela evaporação de água que, para ocorrer, obriga à transferência de calor do ar, originando também o aumento da humidade do ambiente;
- Arrefecimento Radiativo – tirando partido da diferença de temperatura radiativa entre a envolvente do edifício e a temperatura do “céu”, durante o período nocturno e através da utilização de um elemento de armazenamento térmico na cobertura;

Os sistemas passivos referidos são um importante contributo para a cobertura das necessidades de aquecimento e de arrefecimento de um edifício. No entanto, um conjunto de outras medidas pelo menos tão importantes deve ser encarado globalmente e de uma forma integrada, com vista à optimização dos pressupostos da utilização de sistemas passivos (Moita, 2010):

- Localização – Um factor que exerce influência decisiva nas condições microclimáticas de uma região ou de um local é a configuração da topografia do terreno. Para a integração mais adequada de um edifício no seu meio ambiente exterior, tendo em vista a

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

optimização do desempenho passivo, deverá fazer-se previamente o reconhecimento e estudo destas relações no terreno de implantação do edifício. Num terreno acidentado, as pendentes orientadas a Sul têm a maior quantidade de insolação ao longo do dia, sendo, por isso, mais favoráveis à construção. No entanto, a implantação do edifício deve também considerar a análise de outros factores, como, por exemplo, as zonas pouco húmidas, as de menor sombra e as protegidas dos ventos dominantes.

- Forma – A forma de um edifício é um factor com uma grande influência nas suas perdas térmicas, independentemente de um bom posicionamento no terreno ou de uma alta resistência à transmissão térmica total. Quanto mais compacta for a forma de um edifício, com poucas saliências e reentrâncias, e uma reduzida superfície exterior, tanto mais reduzidas são as perdas de calor e melhor será o seu balanço térmico global.
- Orientação – Os espaços principais do edifício deverão ter envidraçados orientados a Sul de modo a potenciar os ganhos térmicos na estação de aquecimento. Por sua vez, a fachada norte deve ser cega ou conter o mínimo necessário de fenestrações, sendo destinada a espaços de menor relevância sob o ponto de vista da sua utilização e permanência, ou seja, zonas tampão ou intermediárias.
- Vegetação – A vegetação é um elemento de extrema importância na regularização e equilíbrio das condições climáticas extremas, assim como no estabelecimento de relações microclimáticas tendentes a uma melhor integração do homem no meio geográfico. A vegetação de folhagem persistente e muito densa, de pequeno ou grande porte, é apropriada para a construção de barreiras protectoras dos ventos dominantes. Por outro lado, a vegetação de folha caduca representa um ideal contributo natural à regulação periódica anual da quantidade de radiação solar incidente nas fachadas, que se pretende seja máxima durante o Inverno e nula durante o Verão.
- Sombreamento – A utilização de dispositivos sombreadores é fundamental para o desempenho térmico do edifício, sobretudo se o edifício possuir uma boa orientação dos seus espaços pois evita o sobreaquecimento indesejado na estação de arrefecimento. O princípio deve ser o da utilização de dispositivos exteriores que estejam inactivos na estação de aquecimento e activos na estação de arrefecimento, através de elementos fixos ou móveis e reguláveis;

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

Um sistema passivo de captação de energia solar é, ao contrário dos sistemas activos, aquele em que a energia térmica é captada e transmitida naturalmente por convecção, condução e radiação, sem recorrência a meios mecânicos artificiais (Moita, 2011).

São, contudo, admitidos pequenos contributos exteriores, que tendem a aumentar o rendimento do sistema através do accionamento de dispositivos de isolamento periódico, circulação de ar, sombreadores móveis, etc. Geralmente, admite-se que estes contributos exteriores não excedam, energeticamente, 2% da energia captada, sendo o coeficiente de performance maior ou igual a 50% (Moita, 2011).

No caso do conceito *Passive House*, os contributos exteriores referidos dizem respeito, geralmente, ao sistema de ventilação com recuperação de calor que, para poderem integrar uma *Passive House*, terão de ser muito eficientes e ter consumos eléctricos reduzidos.

Num edifício *Passive House*, devido aos exigentes requisitos e ao controlo das condições climatéricas que pressupõe, a utilização dos sistemas passivos de aquecimento e arrefecimento referidos, com excepção dos ganhos directos, da ventilação natural e, em determinados casos, do arrefecimento pelo solo, não é muito valorizada.

Esta pouca valorização de alguns sistemas passivos deve-se ao facto do desenvolvimento do conceito *Passive House* ter sido mais influenciado pelas experiências das casas super-isoladas em detrimento, em certa medida, das experiências das casas solares passivas. Outro factor, que é justificado pela necessidade de tornar o conceito mais acessível a projectistas e técnicos apesar da exigência a que obriga, prende-se com a necessidade da análise prévia confiável do desempenho do edifício, através da ferramenta PHPP (Passipedia, 2012).

Já a definição de soluções que tirem o melhor partido da localização e da orientação do edifício, que optimizem o factor de forma e definam solução que integrem correctamente dispositivos de sombreamento e elementos vegetais são fundamentais para atingir os padrões *Passive House* de uma forma mais acessível economicamente (Marcelino & Gavião, 2012b).

Existem em Portugal alguns exemplos de edifícios solares passivos, em que foram considerados o sol e a sua energia como razão fundamental e orientadora no processo de concepção arquitectónica (Gonçalves et al, 1997). Alguns desses exemplos são (Gonçalves et al, 1997):

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- Casa Vale Rosal – a casa construída em 1986, com projecto do arquitecto Fausto Simões, é uma moradia unifamiliar com 170 m² localizada perto de uma zona costeira (Charneca da Caparica). Os vãos totalizam 54 m² de abertura total estando na sua maioria orientados a Sul e Sudeste (76%) e foram utilizados diferentes dispositivos de protecção solar como portadas interiores isolantes, estores exteriores, toldo de lona extensível e vegetação de folha caduca (Figura 29). Os sistemas passivos utilizados são do tipo ganho directo, ganho indirecto, da definição de uma estufa e da utilização de colectores solares para AQS. Os resultados da monitorização realizada entre 21 de Fevereiro e 7 de Março de 1997 mostram que as temperaturas registadas nos espaços principais (quarto e sala) encontram-se entre os 19°C e 26°C para uma temperatura exterior que nunca esteve abaixo dos 10°C. Os resultados da simulação, para o período entre 1 e 15 de Janeiro, revelam um desempenho menos bom com as temperaturas no quarto e sala estimadas entre os 14°C e 21°C na estufa para uma temperatura exterior que chegou aos 3°C mas no geral não descia abaixo dos 3°C.



Figura 29 – Vista da estufa na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento (Fonte: INETI, 1997)

- Casa Eduardo Maldonado – a casa construída em 1991, com projecto da arquitecta Fernanda Seixas, é uma moradia unifamiliar com 229m² localizada em Vila Nova de Gaia. Os vãos envidraçados totalizam 40m², 75% dos quais orientados a Sul e Sudeste tendo sido utilizados diferentes dispositivos de protecção solar como portadas de madeira, estores exteriores e palas de sombreamento (Figura 30). Os resultados da monitorização realizada entre 27 de Janeiro e 2 de Fevereiro de 1996 mostram que as temperaturas registadas nos espaços principais (quarto, escritório e sala) encontram-se entre os 6°C e 21°C para uma temperatura exterior que chegou aos 4°C. A temperatura registada na sala esteve por diversas vezes abaixo da temperatura exterior. Estes

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

resultados apresentam uma grande amplitude térmica e revelam a necessidade de aquecimento suplementar para alcançar as condições de conforto.



Figura 30 – Vista da fachada Sul (Fonte: INETI, 1997)

- Escola Secundária de Valongo do Vouga – o edifício construído em 1993, com projecto coordenado pelo arquitecto João Mateus, é um edifício com 2917m². Os vãos envidraçados totalizam 574m², com 52% orientados a Sul, tendo sido utilizados diferentes dispositivos de protecção solar como estores exteriores e palas de sombreamento (Figura 31). Os resultados da monitorização realizada entre 15 e 30 de Janeiro de 1996 mostram que as temperaturas registadas nas salas de aula encontram-se entre os 13°C e 21°C para uma temperatura exterior que chegou aos 3°C.



Figura 31 – Vista da fachada Sul (Fonte: INETI, 1997)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Nos casos apresentados verificou-se, na generalidade, um bom desempenho dos edifícios na estação de arrefecimento, no que diz respeito às temperaturas interiores registadas através da monitorização. O desempenho na estação de aquecimento resultou em valores que ficam abaixo dos limites de conforto, havendo a necessidade de recorrer a sistemas adicionais de aquecimento.

3.14 *Passive House* como padrão para o NZEB

Como atrás se referiu, a Directiva Europeia 2010/31/UE define que todos os estados membros deverão tomar as medidas e criar as condições para que a partir de 2020 todos os novos edifícios deverão ser Nearly Zero-Energy Building (NZEB), ou seja edifícios de consumo de energia quase nulo.

De acordo com a mesma Directiva, um NZEB significa um edifício que tem um elevado desempenho energético. O consumo quase zero ou as baixas necessidades energéticas deverão ser supridas, de forma muito significativa, por energias de fontes renováveis, incluindo energia oriunda de fontes renováveis produzida no próprio local ou em local próximo (EPBD - recast, 2010).

A definição de edifício de consumo de energia quase nulo pode ser considerada ambígua, uma vez que os caminhos definidos pelos países estarão dependentes das suas próprias conjunturas, em função de equilíbrios entre custos energéticos e económicos (Gauna, 2011a).

Por outro lado a designação NZEB poderá ser equívoca uma vez que um NZEB terá sempre necessidades energéticas, que serão respondidas através do recurso de energia de fontes renováveis, não existindo edifícios com consumo zero de energia.

A definição das metas e dos valores limite para um NZEB é o ponto que tem originado uma maior discussão no que diz respeito à transposição da EPDB para Portugal. A redução dos consumos energéticos deverá ser atingida através de soluções que já estão disponíveis, como por exemplo a norma *Passive House*, que está assente sobre uma larga experiência e longe de um conceito experimental (Ribas, 2012).

O valor de 15 kWh/m²a, correspondendo aos padrões *Passive House* e sugerido como limite das necessidades de aquecimento e arrefecimento, aplicado a Portugal pode ser conseguido com (Ribas, 2012):

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- isolamento das paredes com espessuras de 8 a 10 cm;
- isolamento da cobertura com 10 a 15 cm;
- janelas com vidro duplo de baixa emissividade (com ou sem argon);
- minimizar as perdas pela ventilação através da recuperação da energia do ar com elevado rendimento (superior a 75%);

Estas práticas e soluções começam a ser comuns no nosso país, não acarretando, portanto, uma dificuldade acrescida ou um sobrecusto inoportuno (Ribas, 2012).

A disseminação do conceito *Passive House* na Europa e na América do Norte permite a implementação de NZEB's, com o suprimento das necessidades energéticas por meio de geração eléctrica de menor potência instalada, através da utilização dos princípios *Passive House* (Musall, 2012):

- Garantir a estanquidade do edifício (valores médios inferiores a 1,0 renovações por hora no sector residencial);
- Utilizar um sistema controlado de ventilação com recuperação de calor, com eficiência média de 84% e consumo eléctrico médio de 0,64 W/(m³/h);
- Definir soluções para as fachadas com valores do coeficiente de transmissão térmica de 0,23 W/m²K no sector residencial (incluindo reabilitações) e de 0,27 W/m²K no sector não residencial (incluindo reabilitações);
- Definir um edifício compacto, com um valor médio de área da envolvente/volume de 0,52. A Figura 32 mostra a relação entre o baixo factor de forma e coeficientes de transmissão térmica mais elevados;

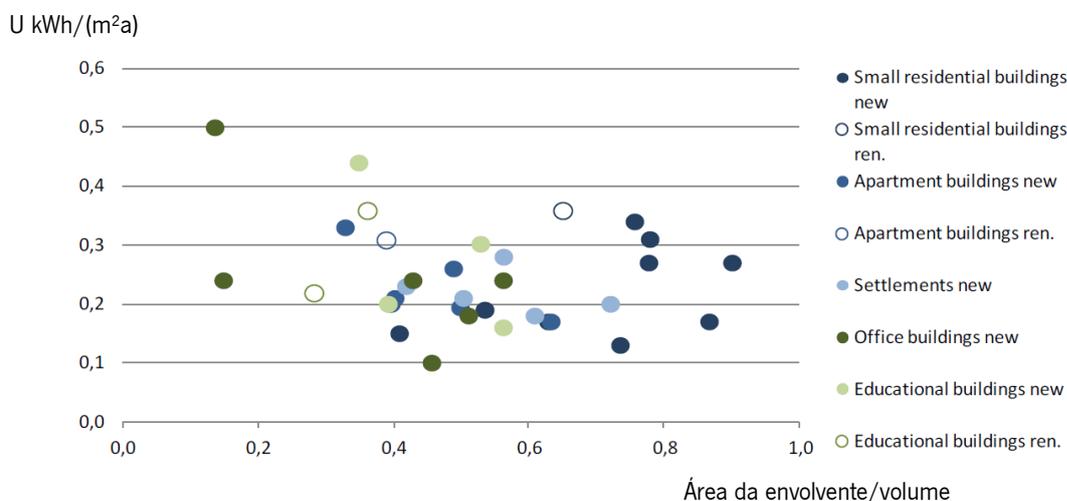


Figura 32 – Relação entre valor de U e área da envolvente/volume, em diferentes edifícios (Musall, 2012)

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

O critério económico da nova EPBD é baseado na análise de ciclo de vida das construções novas, bem como das reabilitações. Os requisitos para o consumo energético, que serão definidos pelos estados membros, terão de estar enquadrados num nível de custo óptimo. O conceito *Passive House* está provado, testado e bem disseminado podendo, deste modo, ser usado como protótipo de um NZEB promovido pela EU (Passipedia, 2012).

O início da aplicação da Directiva Europeia 2010/31/UE está previsto para 2018. Nesta data, talvez seja provável que o peso da construção nova esteja muito diminuído e que a reabilitação possa já ter ganho um maior protagonismo no sector da construção. É fundamental enquadrar o peso da reabilitação na futura legislação térmica e definir caminhos para aproximar o parque edificado existente aos novos padrões NZEB. Na reabilitação deverão ser relevadas estratégias para a eficiência energética em detrimento da inclusão de renováveis.

3.15 *Passive House* em Portugal

O conceito *Passive House* surgiu para responder aos requisitos dos países da Europa Central. Nos países do Sul da Europa (clima mediterrâneo), apesar de se tratar de climas amenos, continuam a existir consideráveis necessidades de aquecimento, às quais se juntam as necessidades de arrefecimento.

Os edifícios *Passive House* no clima mediterrâneo cumprem os requisitos com níveis de isolamento bastante inferiores em relação aos edifícios no centro da Europa (normalmente as espessuras do isolamento dos elementos da envolvente está entre os 10 e os 20 cm). Para a optimização da relação custo-benefício dos edifícios *Passive House* nestes climas é necessário (Passipedia, 2012):

- Promover soluções com formas compactas;
- Definir a melhor orientação dos vãos envidraçados, ou seja a Sul;
- Garantir a estanquidade ao ar;
- Definir a ventilação natural como meio de arrefecimento (à excepção de situações com climas mais quentes);

3.15.1 Passive-On

Um contributo importante para o estudo da viabilidade e para a introdução do conceito *Passive House* nos países do Sul da Europa foi o programa Passive-On, atrás referido. Este programa permitiu elaborar uma proposta para a aplicação do conceito *Passive House* em climas quentes da Europa. As diferenças situam-se na introdução de um valor limite para as necessidades de arrefecimento de $15\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ e na introdução de um critério de conforto de temperatura no Verão (a temperatura operativa dos espaços permanece entre a banda de conforto definida na norma EN 15251:2007, ou abaixo dos $26\text{ }^\circ\text{C}$, se existir um sistema principal de arrefecimento activo) (Passive-On, 2007).

Na secção do Passive-On relativa ao caso de estudo português, o projecto consistiu em definir um modelo simplificado de um edifício de habitação, com 110 m^2 , localizado em Lisboa (Figura 33). A habitação 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 (Passive-On, 2007).

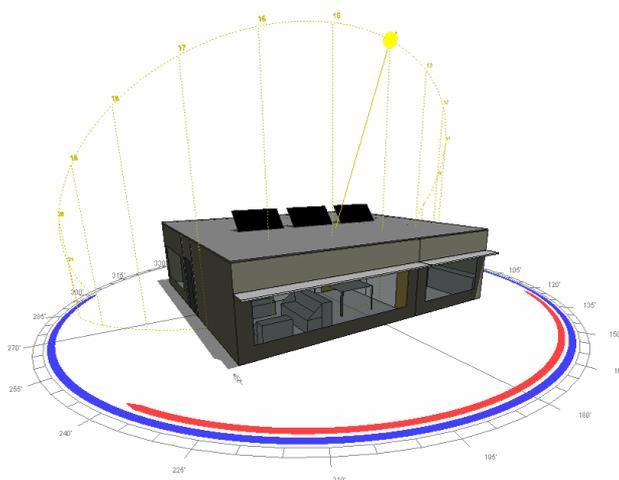


Figura 33 – Vista do modelo e a incidência solar no Verão (Fonte: Passive-on, 2007)

Os níveis de isolamento definidos foram de 150mm na cobertura e de 100mm nas paredes exteriores, com valores do coeficiente de transmissão térmica $0,23\text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ e $0,32\text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, respectivamente. O pavimento não foi isolado, tendo sido definido somente uma faixa de isolamento de 1 m ao longo do perímetro da habitação, por debaixo do pavimento, para permitir que o centro da casa liberte calor para o solo durante o Verão (Passive-On, 2007).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

As janelas orientadas a Sul correspondem a cerca de 60% da área total dos envidraçados, cerca de 20% da área envidraçada está orientada a Este e 20% a Oeste. Para os vãos envidraçados foram definidos vidros duplos comuns com um coeficiente de transmissão térmica de 2,9 W/m²K. Numa localização, em Portugal, com climas mais frios os vidros mais adequados seriam vidros duplos com baixa emissividade (Passive-On, 2007).

As necessidades anuais de aquecimento da *Passive House* proposta para Lisboa foram estimadas em 16,9 kWh/(m²a), das quais 11 kWh/(m²a) eram fornecidas pelo sistema de painéis solares, que, para além de AQS, contribuem para o aquecimento ambiente através do aumento da área de captação de painéis e de um sistema hidráulico de calor a baixa temperatura (Passive-On, 2007). As necessidades de arrefecimento foram de 3,7 kWh/(m²a). O desempenho dos modelos do modelo *Passive House* analisado através de simulações usando o software EnergyPlus. De acordo com a regulamentação térmica nacional, os limites para as necessidades de aquecimento e arrefecimento para esta habitação asa, são 73.5 e 32 kWh/m².ano, respectivamente (Figura 34).

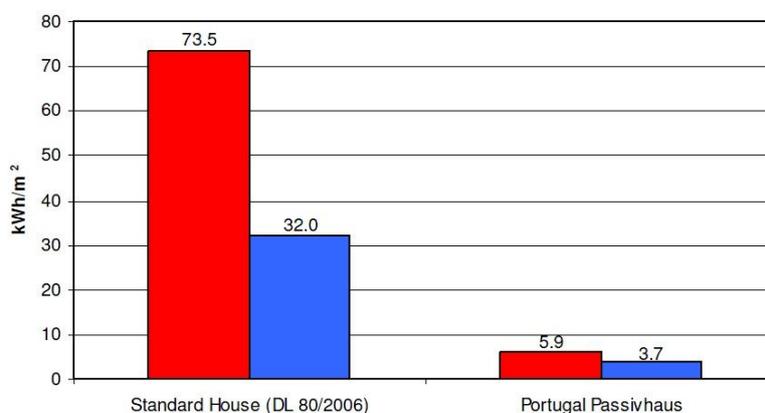


Figura 34 – Estimativa das necessidades anuais de aquecimento (vermelho) e de arrefecimento (azul) para uma casa convencional e uma *Passive House* (Fonte: Passive-on, 2007)

O estudo concluiu que as estratégias adoptadas para a implementação de uma casa *Passive House*, no clima de Lisboa podem ter sucesso, tanto em relação aos limites de necessidades energéticas e aos níveis de conforto. Outra conclusão é a viabilidade económica da *Passive House* em Portugal. O acréscimo do custo das medidas propostas, do equipamento e das soluções construtivas, é de 57 €/m², com um período de retorno do investimento estimado em 12 anos (Passive-On, 2007).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

A estratégia neste estudo diferiu da implementada nos países com climas mais frios, não tendo sido definido um sistema de ventilação mecânica. Foram adoptadas soluções para otimizar os ganhos solares na estação de aquecimento e de ventilação natural para o arrefecimento (Passive-On, 2007).

3.15.2 Estudo - *Passive Houses in South West Europe*

No estudo *Passive Houses in South West Europe* levado a cabo por Jürgen Schnieders, do *Passivhaus Institut*, foi estudado um modelo de habitação isolada, com 120m², orientado a Sul, em diversas localizações nos seguintes países do Sudoeste da Europa: Itália, França (Sul), Espanha e Portugal. As localizações em Portugal foram Porto e Lisboa (Schnieders, 2009).

O modelo definido e otimizado para Lisboa dispõe de baixos níveis de isolamento nos elementos da envolvente, correspondendo a coeficientes de transmissão térmica relativamente elevados em comparação com as típicas *Passive Houses* do centro da Europa, e de um sistema de ventilação com recuperação de calor. No modelo do Porto os elementos da envolvente dispõem de níveis mais elevados de isolamento mas sem a utilização da recuperação de calor na ventilação. As janelas, que têm o mesmo sistema nas duas localizações, foram definidas com caixilharia de alumínio com corte térmico e vidros duplos com baixa emissividade (Tabela 1) (Schnieders, 2009).

Tabela 1 – Dados dos modelos de Lisboa e do Porto (Fonte: Schnieders, 2009)

Solução construtiva	Lisboa	Porto
Paredes exteriores (U, espessura do isolamento)	0,620 W/(m ² K), 4cm	0,202 W/(m ² K), 15cm
Cobertura (U, espessura do isolamento)	0,330 W/(m ² K), 8m	0,155 W/(m ² K), 20cm
Laje térrea (U, espessura do isolamento)	0,850 W/(m ² K), 2cm	0,432 W/(m ² K), 6cm
Caixilharias de alumínio (U)	1,60 W/(m ² K)	1,60 W/(m ² K)
Vidro duplo (U, factor solar)	1,20 W/(m ² K), 0,60	1,20 W/(m ² K), 0,60
Eficiência da recuperação de calor	85%	-
Aquecimento através da ventilação	sim	não
Arrefecimento através da ventilação	sim (opcional)	não

As necessidades de aquecimento no modelo de Lisboa foram estimadas em 12,80 kWh/(m²a) sendo o aquecimento do ar feito através da ventilação com recuperação de calor. No caso do

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Porto, as necessidades de aquecimento foram estimadas em 13,41 kWh/(m²a). Devido aos níveis de isolamento, o aquecimento pode ser conseguido sem recurso a uma unidade central de ventilação com recuperação de calor. Caso tivesse sido utilizada um sistema de ventilação com recuperação de calor as necessidades de aquecimento seriam de 4 kWh/(m²a) (Schnieders, 2009).

As necessidades de arrefecimento no modelo de Lisboa foram quase nulas, com recurso à ventilação natural cruzada, através da abertura total das janelas. O arrefecimento através do sistema de ventilação poderia ser útil para permitir a desumidificação do ar nas situações mais críticas. No modelo do Porto as necessidades de arrefecimento foram nulas, sendo a ventilação nocturna através de janelas com abertura basculante suficiente, não sendo necessária a abertura total das janelas.

Apesar das soluções de arrefecimento totalmente passivas serem viáveis numa *Passive House* em Portugal, verifica-se que esta é mais sensível às alterações que possam ocorrer, nomeadamente na ventilação controlada pelos utilizadores e nas variações de temperatura e das condições climáticas que possam ocorrer (Schnieders, 2009).

O estudo permitiu concluir que a massa térmica contribui para o melhor desempenho energético dos modelos em Lisboa e no Porto, através da redução, relativamente pequena, das necessidades de aquecimento e de arrefecimento. A relevância da massa de acumulação térmica revelou-se mais importante no Inverno do que no Verão, ao invés dos países mais frios em que o contributo é o inverso. Nos edifícios *Passive House* da Europa Central, em que os sistemas de ventilação com recuperação de calor e os elevados níveis de isolamento permitem uma grande estabilidade das temperaturas, a inércia térmica tem uma relevância residual no desempenho energético. Já no que diz respeito à forma do edifício, há claramente melhorias no balanço energético da *Passive House* quando o factor de forma é optimizado, quando a forma do edifício é mais compacta (Schnieders, 2009).

Por um lado, construir *Passive Houses* em climas mais quentes é uma tarefa mais difícil do que nos climas do centro da Europa, devido ao contributo dos ganhos solares na estação de arrefecimento. Por outro lado, é uma tarefa mais fácil já que os requisitos são menos exigentes, abrindo o leque de possíveis soluções construtivas e projectuais. Apesar das diferenças em

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

relação aos climas mais frios, também o aquecimento eficiente continua a ser mais importante que o arrefecimento eficiente, mesmo em locais com clima mediterrâneo (Schnieders, 2009).

As conclusões relativas à implementação do conceito *Passive House* no Sudoeste da Europa, e em particular em Portugal, são de que é possível obter edifícios confortáveis, com um consumo energético extremamente baixo e com impactos ambientais reduzidos, e associados a um baixo custo de ciclo de vida (Schnieders, 2009).

3.15.3 Exemplos de edifícios *Passive House* em países do Sudoeste Europeu

Já existem bastantes exemplos de edifícios construídos de acordo com os padrões *Passive House* no Sudoeste da Europa, nomeadamente em Itália e Espanha.

Em Itália, o país da orla mediterrânea com maior implantação do conceito *Passive House*, um exemplo é um edifício de escritórios em Bolonha (Figura 35). Trata-se de um edifício certificado, que possui um balanço energético positivo devido às baixas necessidades energéticas, tal como mostra a Tabela 2, e à instalação de painéis fotovoltaicos com a potência de 5 kW. A monitorização revelou que no primeiro Inverno o sistema adicional de aquecimento apenas foi utilizado em duas ocasiões (Wassouf, 2011).



Figura 35 – Vista do edifício de escritórios em Bolonha (Fonte: TBZ, 2011)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Tabela 2 – Dados relativos ao edifício de escritórios em Bolonha (Fonte: Wassouf, 2011)

Ano de construção	2005-2007
Projecto	Silvia Mazzetti
Área útil	360 m ²
Necessidades de aquecimento	4,5 kWh/m ² a
Necessidades de arrefecimento	5,6 kWh/m ² a
Carga máxima de aquecimento	12 W/m ²
Carga máxima de arrefecimento	14 W/m ²
Necessidades totais de energia primária	99 kWh/m ² a
Teste de pressurização (<i>blower door test</i>)	0,40 h ⁻¹
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	85 %
Coeficiente de transmissão térmica da parede	0,22 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica da cobertura	0,10 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo	0,17 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do vidro (janelas)	0,7 W/m ² k
Factor solar do vidro	0,48

Em França, um exemplo é um edifício de habitação unifamiliar em Bessancourt, perto de Paris. O edifício construído em madeira (estrutura e paredes) é revestido integralmente por uma segunda pele em canas de bambu (Figura 36). A utilização de um sistema fotovoltaico integrado na cobertura contribui para a redução das necessidades energéticas na habitação que cumpre todos os requisitos *Passive House* de acordo com os resultados apresentados na Tabela 3 (PHI, 2012).



Figura 36 – Vista do edifício de habitação em Bessancourt (Fonte: PHI, 2012)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Tabela 3 – Dados relativos ao edifício de habitação em Bessancourt (Fonte: PHI, 2012)

Ano de construção	2009
Projecto	Karawitz Architecture
Área útil	161 m ²
Necessidades de aquecimento	11,0 kWh/m ² a
Necessidades de arrefecimento	13,0 kWh/m ² a
Carga máxima de aquecimento	–
Carga máxima de arrefecimento	–
Necessidades totais de energia primária	90 kWh/m ² a
Teste de pressurização (<i>blower door test</i>)	0,48 h ⁻¹
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	85 %
Coefficiente de transmissão térmica da parede	0,14 W/m ² k
Coefficiente de transmissão térmica da cobertura	0,13 W/m ² k
Coefficiente de transmissão térmica do pavimento térreo	0,17 W/m ² k
Coefficiente de transmissão térmica do vidro (janelas)	0,6 W/m ² k
Factor solar do vidro	0,50

Em Espanha o primeiro edifício *Passive House* é uma habitação unifamiliar localizada em Granada, certificada em 2010 (Figura 37). As baixas necessidades energéticas são resultado sobretudo do desempenho da envolvente tal como mostra a Tabela 4 (Wassouf, 2011).



Figura 37 – Vista do edifício de habitação em Granada (Fonte: Ecoholistica, 2011)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Tabela 4 – Dados relativos ao edifício de habitação em Granada (Fonte: Wassouf, 2011)

Ano de construção	2009
Projecto	Ecoholistica
Área útil	98 m ²
Necessidades de aquecimento	3,0 kWh/m ² a
Necessidades de arrefecimento	1,0 kWh/m ² a
Carga máxima de aquecimento	11,4 W/m ²
Carga máxima de arrefecimento	3,0 W/m ²
Necessidades totais de energia primária	68 kWh/m ² a
Teste de pressurização (<i>blower door test</i>)	0,59 h ⁻¹
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	82 %
Coeficiente de transmissão térmica da parede	0,09 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica da cobertura	0,10 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo	0,13 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do vidro (janelas)	0,7 W/m ² k
Factor solar do vidro	0,50

Outro exemplo em Espanha é uma habitação unifamiliar em Navarra (Figura 38). O edifício certificado, tal como mostra a Tabela 5, foi construído com estrutura de madeira e isolamento em celulose (Wassouf, 2011).



Figura 38 – Vista do edifício de habitação em Navarra (Fonte: PEP, 2011)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Tabela 5 – Dados relativos ao edifício de habitação em Navarra (Fonte: Wassouf, 2011)

Ano de construção	2011
Projecto	Wolfgang Berger
Área útil	184,7 m ²
Necessidades de aquecimento	12,0 kWh/m ² a
Necessidades de arrefecimento	0 kWh/m ² a
Carga máxima de aquecimento	11,0 W/m ²
Carga máxima de arrefecimento	4,0 W/m ²
Necessidades totais de energia primária	113 kWh/m ² a
Teste de pressurização (<i>blower door test</i>)	0,41 h ⁻¹
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	83 %
Coeficiente de transmissão térmica da parede	0,17 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica da cobertura	0,23 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo	0,20 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do vidro (janelas)	1,04 W/m ² k
Factor solar do vidro	0,51

Um outro exemplo em Espanha localiza-se em Lleida, na Catalunha. Este edifício de habitação unifamiliar encontra-se em processo de certificação (Figura 39). Apesar de cumprir com a generalidade dos requisitos *Passive House*, como se pode verificar na Tabela 6, a certificação ainda não foi possível devido aos maus resultados do Blower Door Test (Wassouf, 2011).



Figura 39 – Vista do edifício de habitação em Lleida (Fonte: Bunyesc, 2011)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Tabela 6 – Dados relativos ao edifício de habitação em Lleida (Fonte: Wassouf, 2011)

Ano de construção	2010
Projecto	Josep Bunyesc
Área útil	176 m ²
Necessidades de aquecimento	8,0 kWh/m ² a
Necessidades de arrefecimento	6,0 kWh/m ² a
Carga máxima de aquecimento	14,0 W/m ²
Carga máxima de arrefecimento	6,0 W/m ²
Necessidades totais de energia primária	–
Teste de pressurização (<i>blower door test</i>)	–
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	58 %
Coeficiente de transmissão térmica da parede	0,20 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica da cobertura	0,15 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo	0,30 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do vidro (janelas)	1,1 – 1,4 W/m ² k
Factor solar do vidro	0,63 – 0,68

3.16 A reabilitação nos padrões *Passive House*

Um edifício renovado pode ser considerado *Passive House*, se cumprir todos os critérios definidos para um edifício *Passive House*. A aplicação do conceito *Passive House* em novas construções será tanto mais acessível quanto mais cedo, em projecto, os seus princípios forem adoptados. Logo, a aplicação do conceito em renovações poderá oferecer mais problemas e dificuldades, mas o conceito *Passive House*, como conceito construtivo aberto, não é impeditivo da sua aplicação a edifícios que sejam alvo de renovações e reabilitações.

Os requisitos para uma renovação são os mesmos que para uma construção nova que são, como foi atrás referido:

- As necessidades de aquecimento e de arrefecimento não poderão exceder os 15kWh/(m²a);
- A carga de aquecimento ou de arrefecimento não poderá exceder os 10W/m²;
- A estanquidade ao ar (resultado do *blower door test*) igual ou inferior a 0,6h⁻¹
- As necessidades de energia primária não poderão exceder os 120kWh/(m²a);

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- A temperatura no interior do edifício deve ser no mínimo de 20 °C no Inverno e no máximo de 26°C no Verão;
- A temperatura excessiva, acima dos 26°C, não pode ocorrer em mais do que 10% do tempo.

Os princípios para conseguir a renovação de edifício de acordo com os padrões *Passive House* são (Antón & Vogt, 2011):

- Melhorar os elementos das envolventes opacas do edifício através da definição de espessuras adequadas de isolamento térmico (ou substituição do existente) - as maiores dificuldades estão relacionadas com os diferentes tipos de elementos da envolvente e com a impossibilidade de, em algumas situações, garantir o isolamento pelo exterior do edifício;
- Reduzir as pontes térmicas, nos pontos de transição (paredes - cobertura - lajes) – poderá ser totalmente impossível, em determinadas situações, reduzir as pontes térmicas devido à forma e configuração do edifício;
- Substituir as janelas existentes por janelas de elevado desempenho, correctamente instaladas no vão e com sistemas de protecção – a substituição de janelas e dos sistemas de protecção poderão levar a alterações profundas na imagem do edifício;
- Garantir a estanquidade do edifício – dependendo do tipo de reabilitação, mais ou menos profunda, poderá obrigar à remodelação completa dos sistemas de redes e condutas existentes para assegurar que não ocorrem infiltrações ou exfiltrações de ar;
- Substituição das redes infra-estruturais e dos equipamentos – poderão ser soluções onerosas e de difícil execução numa pré-existência;
- Instalação de sistema de ventilação com recuperação de calor – devido à configuração e organização espacial do edifício poderá ser uma solução difícil de enquadrar numa pré-existência;

3.16.1 A certificação EnerPHit

Como nos edifícios existentes poderão ocorrer, à partida, diversas condicionantes que poderão tornar inalcançáveis os padrões *Passive House*, pelo menos com uma razoável relação custo-benefício, o *Passivhaus Institut* estabeleceu uma nova certificação que se enquadra nestas situações. Essa certificação tem requisitos menos exigentes (Antón & Vogt, 2011).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Actualmente, está em fase de avaliação o processo de certificação *Quality-Approved Energy Retrofit with Passive House Components* (EnerPHit) de reabilitação de edifícios. A fase piloto decorreu desde o início de 2010 até meados de 2011. Nesta fase, a certificação só ocorreu em edifícios localizados nos climas frios e moderados da Europa Central, para uma mais fácil e ágil verificação da certificação (Bastian, 2011).

Os requisitos *Passive House* para edifícios reabilitados, segundo o *EnerPHit* são menos exigentes que os prescritos para edifícios novos, devido às particularidades inultrapassáveis de cada edifício existente. No entanto há edifícios reabilitados que conseguem cumprir os requisitos dos edifícios novos, mas esses casos ainda são excepções – a regra é atingir os padrões *EnerPHit*.

A certificação *EnerPHit* requer que as necessidades de aquecimento não possam ser superiores a 25 kWh/(m²a) (EnerPHit, 2010). Os limites para as necessidades de arrefecimento não foram incorporados nesta fase piloto. Em relação à estanquidade ao ar, o objectivo mantém-se em 0,6 renovações por hora, mas foi estabelecido um limite máximo de 1 renovações por hora. O valor limite para as necessidades de energia primária, para a totalidade do aquecimento, arrefecimento, AQS e electricidade, é de 120 kWh/(m²a), podendo ser superior tendo em conta as necessidades de aquecimento (EnerPHit, 2010). A análise do balanço energético é sempre feita a partir do PHPP.

Os resultados têm originado poupanças de energia que variam entre os 80 e os 95% (E-Retrofit, 2007). As necessidades de aquecimento são reduzidas de valores tipicamente entre os 150 e os 280 kWh/(m²a) para menos de 30 kWh/(m²a) (E-Retrofit, 2007).

3.16.2 Exemplos de edifícios reabilitados de acordo com os padrões *Passive House*

A reabilitação de edifícios de acordo com os padrões *Passive House* começa a ser uma solução frequente, devido ao esforço envidado pelo *Passivhaus Institut* em divulgar e fomentar a discussão em torno destas abordagens. Os exemplos apresentados são oriundos de diversas localizações e obtiveram diferentes desempenhos.

Um exemplo nos Estados Unidos é a reabilitação de um edifício de habitação unifamiliar em Nova Iorque (Figura 40). A certificação *Passive House* foi conseguida sobretudo devido ao contributo do desempenho das janelas como mostra a Tabela 7 (PHI, 2012).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal



Figura 40 – Vista do edifício de habitação reabilitado em Nova Iorque (Fonte: PHI, 2012)

Tabela 7 – Dados relativos ao edifício de habitação reabilitado em Nova Iorque (Fonte: PHI, 2012)

Ano de construção	2012
Projecto	Melissa Cicetti
Área útil	195 m ²
Necessidades de aquecimento	14,0 kWh/m ² a
Necessidades de arrefecimento	13,0 kWh/m ² a
Carga máxima de aquecimento	–
Carga máxima de arrefecimento	–
Necessidades totais de energia primária	104 kWh/m ² a
Teste de pressurização (<i>blower door test</i>)	0,40 h ⁻¹
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	80 %
Coeficiente de transmissão térmica da parede	0,24 – 0,29 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica da cobertura	0,098 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo	0,50 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do vidro (janelas)	0,6 W/m ² k
Factor solar do vidro	0,50

Outro exemplo de reabilitação com a certificação *Passive House* é um edifício de habitação unifamiliar em Magny Les Hameaux, em França (Figura 41). A certificação *Passive House* foi conseguida devido à elevada estanquidade do edifício e aos reduzidos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente como indicado na Tabela 8 (PHI, 2012).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal



Figura 41 – Vista do edifício de habitação reabilitado em Magny Les Hameaux (Fonte: PHI, 2012)

Tabela 8 – Dados relativos ao edifício de habitação reabilitado em Magny Les Hameaux (Fonte: PHI, 2012)

Ano de construção	2011
Projecto	Karawitz Architecture
Área útil	153 m ²
Necessidades de aquecimento	12,0 kWh/m ² a
Necessidades de arrefecimento	13,0 kWh/m ² a
Carga máxima de aquecimento	9,0 W/m ²
Carga máxima de arrefecimento	–
Necessidades totais de energia primária	97 kWh/m ² a
Teste de pressurização (<i>blower door test</i>)	0,14 h ⁻¹
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	80 %
Coefficiente de transmissão térmica da parede	0,085 W/m ² k
Coefficiente de transmissão térmica da cobertura	0,101 W/m ² k
Coefficiente de transmissão térmica do pavimento térreo	0,112 W/m ² k
Coefficiente de transmissão térmica do vidro (janelas)	0,72 W/m ² k
Factor solar do vidro	0,59

Na Alemanha, país de origem do conceito, um exemplo é a reabilitação de um edifício de habitação colectiva, com 140 fogos, em Freiburg (Figura 42). Os resultados obtidos e que fundamentaram a certificação estão perto dos limites máximos exceptuando a estanquidade em

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

que o Blower Door Test foi cumprido com um resultado muito baixo, tal como mostra a Tabela 9 (PHI, 2012).



Figura 42 – Vista do edifício de habitação colectiva reabilitado em Freiburg (Fonte: PHI, 2012)

Tabela 9 – Dados relativos ao edifício de habitação colectiva reabilitado em Freiburg (Fonte: PHI, 2012)

Ano de construção	2010
Projecto	Architekturbüro Rombch
Área útil	8473 m ²
Necessidades de aquecimento	15,0 kWh/m ² a
Necessidades de arrefecimento	–
Carga máxima de aquecimento	11,0 W/m ²
Carga máxima de arrefecimento	–
Necessidades totais de energia primária	112 kWh/m ² a
Teste de pressurização (<i>blower door test</i>)	0,2 h ⁻¹
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	70 %
Coeficiente de transmissão térmica da parede	0,18 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica da cobertura	0,15 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo	0,247 W/m ² k
Coeficiente de transmissão térmica do vidro (janelas)	0,62 W/m ² k
Factor solar do vidro	0,50

4. Caso de Estudo – primeiras *Passive Houses* em Portugal

4.1 Metodologia

O caso de estudo do presente trabalho diz respeito à análise dos primeiros edifícios *Passive House* em Portugal, duas moradias unifamiliares desenvolvidas pela Homegrid. A pertinência desta escolha prende-se com o facto de se tratar de uma proposta inovadora no panorama nacional e por ser processo em que ocorreu uma adaptação de um projecto existente e licenciado e em fase de início de construção de modo a atingir os padrões *Passive House* e a sua certificação.

Outro factor fundamental é o facto de o autor ter colaborado activamente no desenvolvimento dos projectos e da sua execução e acompanhamento em obra, pois faz parte da equipa da Homegrid. Na preparação da execução deste trabalho foi aferida e concretizada a possibilidade de realizar o relato e acompanhamento do processo de construção destes edifícios, devido às sinergias criadas e à coincidência cronológica entre o desenvolvimento do presente trabalho e do estudo dos edifícios em análise.

A análise do processo de desenvolvimento do projecto e de construção procura centrar-se no conceito *Passive House* e na sua aplicação concreta, através da descrição e fundamentação das soluções adoptadas e dos resultados obtidos.

Apesar de se tratar da execução de uma construção nova, o facto de ter sido feito a adaptação dos projectos de arquitectura e especialidades permite, de certo modo, fazer a aproximação à prática de reabilitação de edifícios existentes. Poder-se-á considerar que este caso de estudo se trata de uma reabilitação de um projecto que permita atingir os padrões *Passive House*.

Após a descrição do caso de estudo serão apresentadas medidas e soluções a adoptar tendo em vista a reabilitação de edifícios existentes de acordo com os padrões *Passive House*. Trata-se de um levantamento de soluções e procedimentos genéricos adaptados ao panorama português que poderão ser aplicados a qualquer tipo de edifício apesar da vertente do sector residencial ser preponderante.

Não se pretende definir um guião rígido a seguir ou uma listagem de regras ou mandamentos de cumprimento obrigatório. Pretende-se fazer o levantamento dos pontos-chave cuja resolução

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

permitirá alcançar os padrões *Passive House* procurando a optimização da utilização de recursos e do desempenho económico-financeiro.

4.2 O processo de adaptação ao conceito *Passive House*

Os primeiros edifícios *Passive House* em Portugal estão em fase de conclusão. Trata-se de duas moradias unifamiliares localizadas em Ílhavo (Figura 43).



Figura 43 – Vista aérea da localização das moradias (Fonte: Google Earth, 2012)

O projecto das duas moradias teve início em 2008, tendo sido pensadas para ter um bom desempenho energético com a classificação de A+ segundo o RCCTE. No entanto, o projecto não foi definido de acordo com o conceito *Passive House*. O processo de adaptação ao conceito *Passive* ocorreu após o início da execução da obra, a 19 de Maio de 2011 (Figuras 44, 45, 46 e 47).



Figura 44 – Vista do início da execução da obra (Fonte: Homegrid, 2012)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal



Figura 45 – Vista da execução das fundações (Fonte: Homegrid, 2012)



Figura 46 – Vista da execução da estrutura (Fonte: Homegrid, 2012)



Figura 47 – Vistas da execução das alvenarias (Fonte: Homegrid, 2012)

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

Durante a 15ª Conferência Internacional *Passive House* em Innsbruck, a 28 e 29 de Maio de 2011, foi definida pela Homegrid, em conjunto com o *Passivhaus Institut*, a estratégia para a implementação do conceito em Portugal. A estratégia assentava sobretudo na construção de um protótipo que permitisse o estudo e a análise do seu desempenho. Depois de verificada a viabilidade junto dos clientes e depois de aferido o plano de trabalhos avançou-se para a adaptação de ambas as moradias ao conceito *Passive House* (Marcelino & Gavião, 2012c).

Previamente ao processo de adaptação do projecto, foram diagnosticadas as principais dificuldades e foram identificados cinco factores fundamentais para a definição das soluções:

- O tempo – como a obra já tinha sido iniciada e havia prazos estabelecidos, as soluções e a execução das mesmas teriam de ser enquadradas num panorama de escassez de tempo;
- O projecto existente – apesar de ter a classificação A+ segundo o RCCTE, o projecto não foi definido tendo em conta os princípios *Passive House* e os princípios solares passivos e como se tratava de um projecto que já estava licenciado obrigou a alterações mínimas na sua arquitectura;
- Os custos – as alterações ao projecto não poderiam aumentar de forma significativa o orçamento contratado;
- A capacidade das equipas de construção – as empreitadas e subempreitadas teriam de ser capazes de responder às exigências das soluções construtivas adoptadas;
- A capacidade da equipa técnica – devido ao facto de ser um projecto pioneiro e às exigências dos padrões *Passive House*.

A estratégia passou pela procura da racionalidade e simplicidade das acções, de modo a responder às dificuldades identificadas. Foi desde cedo definida uma rede de parceiros, que foi aumentando com o desenrolar da obra, que permitisse o envolvimento das equipas de construção, da equipa técnica, dos fornecedores e fabricantes, e que permitisse também alcançar soluções de forma partilhada e participada. As parcerias dos diferentes intervenientes no processo são cruciais, sobretudo numa fase experimental e inicial de implementação do conceito (Marcelino & Gavião, 2012b).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

As moradias são semelhantes nos seus princípios arquitectónicos, partindo de uma base simétrica como mostram as Figuras 48, 49 e 50. Com tipologias T3 e T4, a moradia A e a moradia B respectivamente, dispõem de uma área útil de 210m² (Marcelino & Gavião, 2012b).

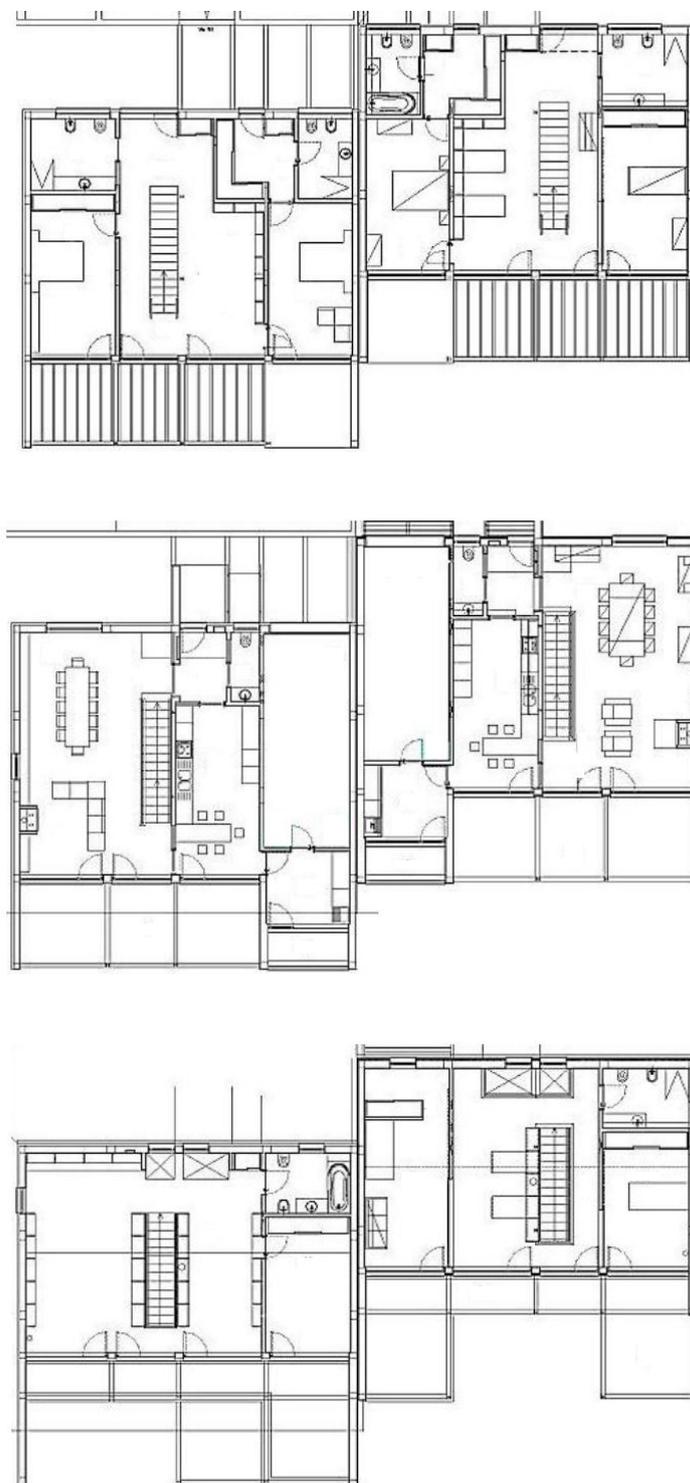


Figura 48 – Plantas das habitações, respectivamente: rés-do-chão, 1º andar e sótão (Fonte: Homegrid, 2012)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal



Figura 49 – Vista geral das moradias - modelo 3D (Fonte: Homegrid, 2012)



Figura 50 – Vista geral das moradias - modelo 3D (Fonte: Homegrid, 2012)

4.3 A definição dos princípios *Passive House*

Como foi atrás referido, o projecto das moradias não era o mais favorável no que diz respeito aos princípios *Passive House* e solares passivos. As principais lacunas do projecto original são:

- A orientação do edifício – os espaços principais têm os vãos envidraçados orientados sensivelmente a Sudoeste, a orientação mais favorável seria a Sul para otimizar os ganhos e para possibilitar um melhor controlo do sombreamento;
- O factor de forma – apesar de apresentar uma forma relativamente compacta, os volumes salientes e os terraços são prejudiciais ao desempenho de uma *Passive House*, na medida em que dificultam a continuidade da camada de isolamento, com espessuras adequadas, nos diferentes elementos da envolvente do edifício;
- A organização interna dos espaços – o facto do espaço da garagem e da zona de tratamento de roupa (espaços não aquecidos) se localizarem dentro do volume principal obrigou a reforçar o isolamento da envolvente destes espaços de modo a ter um coeficiente de transmissão térmica semelhante aos da envolvente exterior;
- As janelas – este foi um dos pontos mais reforçados pelo *Passivhaus Institut* como alvo de melhorias, nomeadamente melhorar o sistema de caixilharia e o vidro, a posição da caixilharia no vão e o seu isolamento e isolar devidamente a caixa de estore;

A certificação foi conduzida pelo *Passivhaus Institut*. A estratégia como mostra a Figura 51, definida passou por (Marcelino & Gavião, 2012a):

- Melhorar os coeficientes de transmissão térmica das soluções da envolvente opaca;
- Garantir a continuidade do isolamento térmico nos diferentes elementos da envolvente do edifício;
- Melhorar todo o sistema das janelas;
- Definir um sistema de ventilação com recuperação de calor;
- Garantir a estanquidade dos edifícios, dentro dos limites definidos para uma *Passive House*.

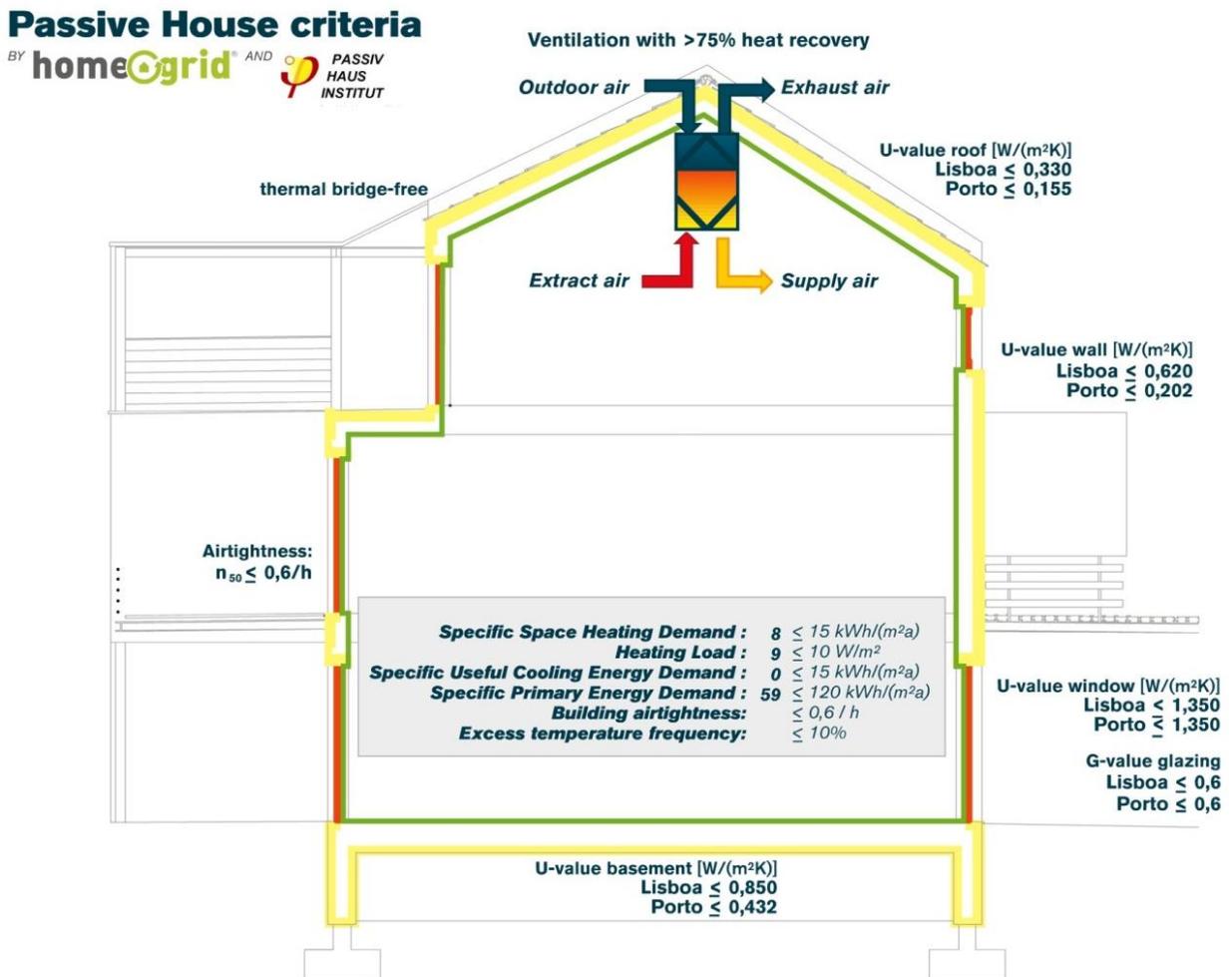


Figura 51 – Critérios *Passive House* para as duas moradias (Fonte: Homegrid, 2012)

4.4 A melhoria da envolvente do edifício

A melhoria da envolvente do edifício passou, tal como referido, primeiramente por melhorar os coeficientes de transmissão térmica das soluções da envolvente opaca (paredes, pavimento e cobertura) e dos vãos envidraçados, garantindo a continuidade do isolamento térmico nos diferentes elementos da envolvente do edifício, tal como mostra a Figura 52. Todos os elementos da envolvente foram alvo de melhoria.

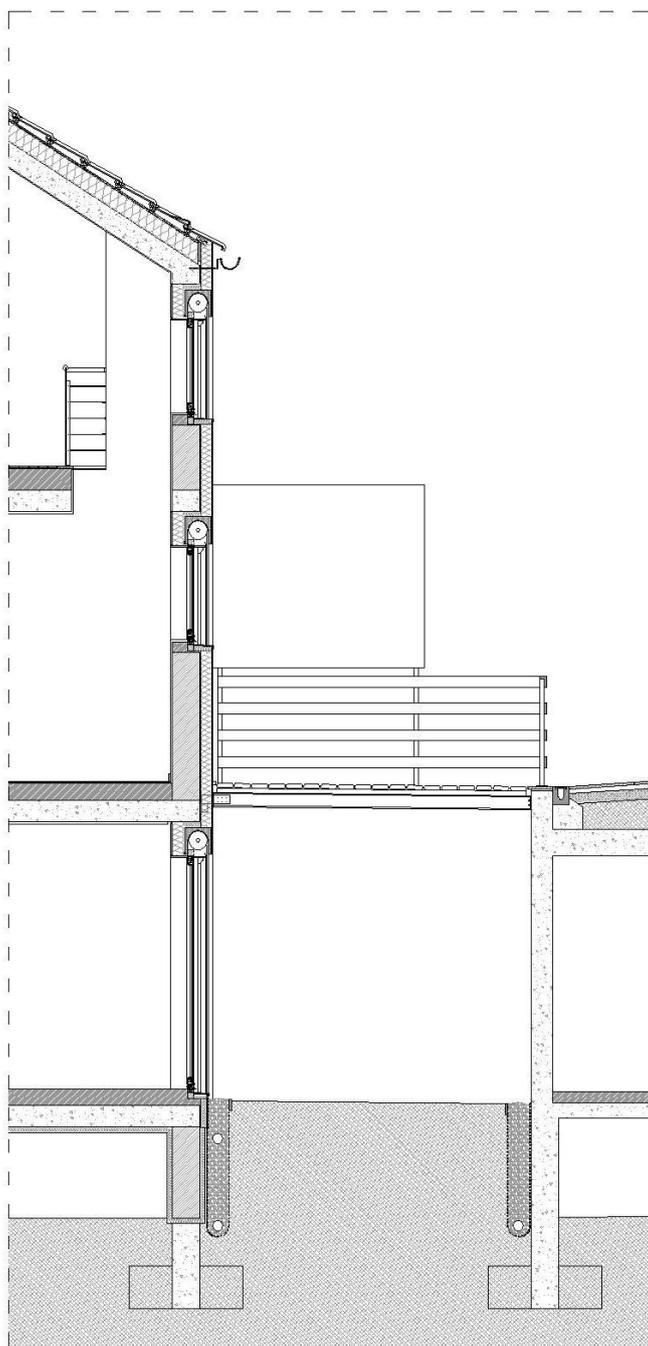


Figura 52 – Corte construtivo da fachada (Fonte: Homegrid, 2012)

4.4.1 Parede exterior

A solução melhorada da parede exterior é constituída, do interior para o exterior, por: 4. reboco estanhado com 2 cm; 3. bloco térmico Artebel BTE25 com 25 cm; 2. reboco de regularização com 1 cm; e 1. ETICS com EPS 10 cm. A solução final corresponde a um aumento de 2 cm na

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

espessura do isolamento em relação à solução inicial. A solução final tem um $U=0,262 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Figuras 53 e 54).

O *Passivhaus Institut* definiu um valor de referência para Lisboa de $U=0,620 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e para o Porto de $U=0,202 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Schnieders, 2009).

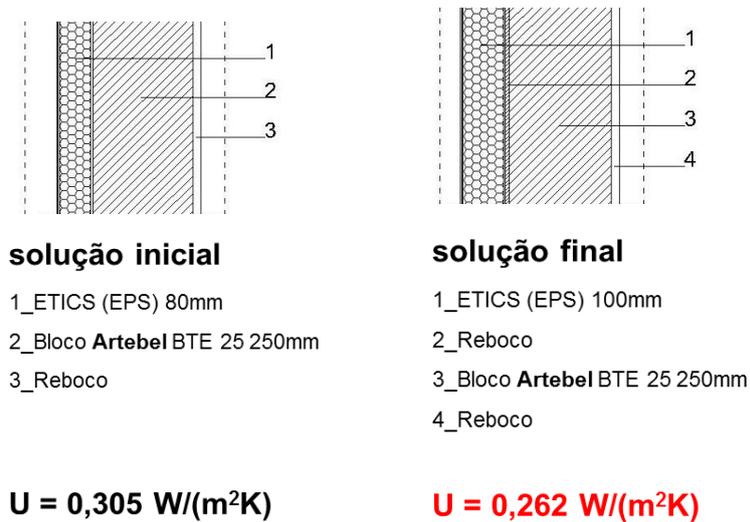


Figura 53 – Solução inicial e final da parede exterior (Fonte: Homegrid, 2012)



Figura 54 – Vista da execução das alvenarias exteriores (Fonte: Homegrid, 2012)

4.4.2 Cobertura

A solução melhorada da cobertura é constituída, do interior para o exterior, por: 6. reboco estanhado com 2 cm; 5. laje fungiforme aligeirada com 25 cm; 4. XPS entre barrotes de madeira com 15 cm; 3. membrana transpirante; 2. ripado de madeira sobre barrotes; e 1. telha cerâmica Marselha. A solução final corresponde a um aumento de 5 cm na espessura do isolamento. A solução final tem um $U=0,221 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Figuras 55 e 56).

O *Passivhaus Institut* definiu um valor de referência para Lisboa de $U=0,330 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e para o Porto de $U=0,155 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Schnieders, 2009).

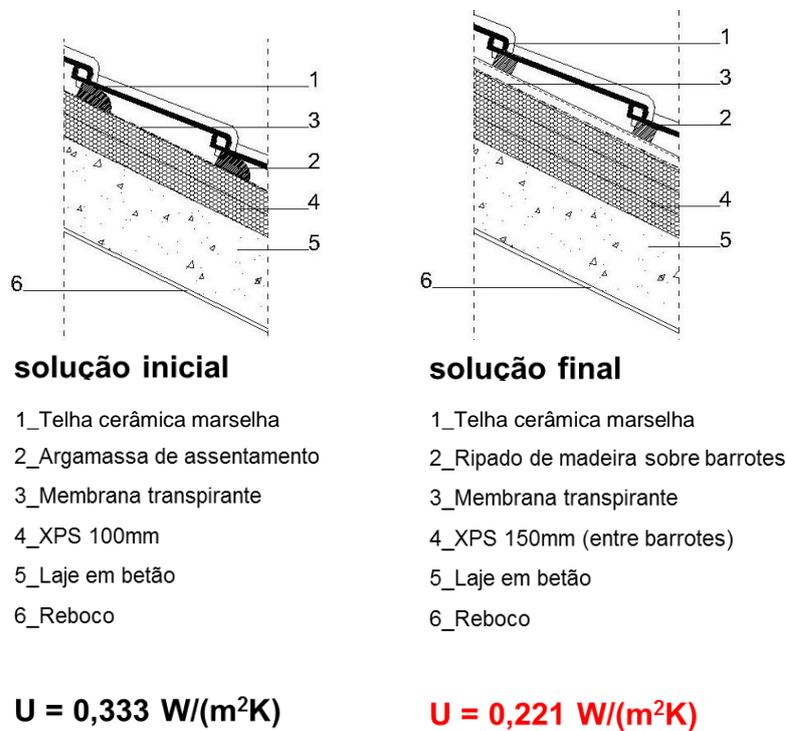


Figura 55 – Solução inicial e final da cobertura (Fonte: Homegrid, 2012)

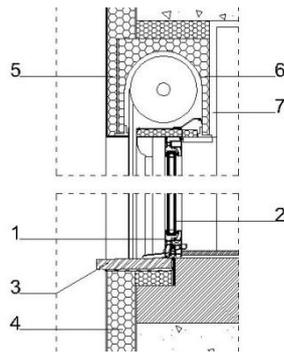


Figura 56 – Vista da execução da cobertura (Fonte: Homegrid, 2012)

4.4.3 Janelas

A solução final dos vãos exteriores é constituída por: 1. caixilharia de alumínio com corte térmico; 2. vidro incolor Planilux 6 mm + Stadip Planitherm Ultra N 4+4mm com lâmina de Gás Árgon com 16 mm ($g=0,60$) com $U=1,0$ W/(m².K); 3. soleira/peitoril em alumínio; 4. ETICS (EPS) 15 cm; 5. caixa de estore térmica e protecção exterior em lâminas de alumínio de cor clara, com espuma de poliuretano; 6.XPS com 10cm; 7. painel de madeira lacada com 20 mm. Foi melhorada no sistema de caixilharia, no tipo de vidro e no isolamento do perímetro da caixilharia em relação à solução inicial, correspondendo a um valor variável de $U_{tot}=1,53-2,00$ W/(m²K) (Figuras 57 e 58).

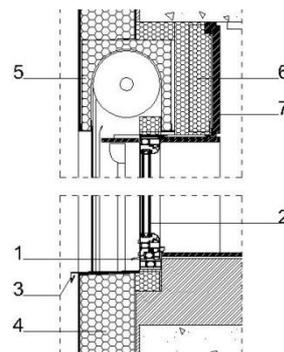
O *Passivhaus Institut* definiu um valor de referência para Lisboa e Porto de $U_{tot}=1,35$ W/(m²K) (Schnieders, 2012).



solução inicial

- 1_Caixilharia alumínio Anicolor AXi
- 2_Vidro duplo (6+4mm) c/ caixa de ar
- 3_Soleira em granito
- 4_ETICS (EPS) 80mm
- 5_ETICS (EPS) 30mm
- 6_Caixa de estore térmica
- 7_Reboco

$U_{instal.} = 2,45-3,19$ W/(m²K)



solução final

- 1_Caixilharia alumínio Anicolor ATi
- 2_Vidro duplo (6+4mm) c/ argon
- 3_Soleira em alumínio
- 4_ETICS (EPS) 150mm
- 5_Caixa de estore térmica
- 6_XPS 100mm
- 7_Painel de madeira lacada 20mm

$U_{instal.} = 1,53-2,00$ W/(m²K)

Figura 57 – Solução inicial e final da janela (Fonte: Homegrid, 2012)



Figura 58 – Vista da execução das caixas de estore (Fonte: Homegrid, 2012)

A diferença entre os valores do coeficiente de transmissão térmica das janelas deve-se ao facto de terem sido definidas janelas com diferentes dimensões e diferentes funcionamentos (pano móvel apenas ou pano fixo + pano móvel). As diferenças indicadas fazem variar a relação entre a área do vidro e a área do vão. Quanto maior for a área de vidro no vão, menor será o coeficiente de transmissão térmica da janela (partindo do princípio de que o coeficiente de transmissão térmica do vidro será sempre inferior ao da caixilharia).

O valor do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_{tot}) é dado pela equação 1, onde A_g é a área do vidro, U_g é o coeficiente de transmissão térmica do vidro, A_f é a área da caixilharia, U_f é o coeficiente de transmissão térmica do perfil de caixilharia, l_g é o comprimento da ligação vidro/caixilho, ψ_g é a transmissão térmica linear e A_{tot} é a área total do vão.

$$U_{tot} = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g}{A_{tot}}$$

4.5 O sistema de ventilação

Foi definido um sistema de ventilação com recuperação de calor que permite, para além de garantir a qualidade do ar interior, climatizar (aquecimento e arrefecimento) e auxiliar a produção de AQS. Pelos dados climáticos e de cálculo a unidade só deverá ser ligada durante o

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Inverno. No resto do ano será dada a preferência à ventilação natural (Marcelino & Gavião, 2012c).

Quando desligado, o sistema permanecerá em alerta, controlando o nível das necessidades impostas para actuar conforme o clima e o regime de utilização da habitação. Em ambas as situações os utilizadores terão a possibilidade de interagir com o sistema. O esquema de princípio será o seguinte: insuflação de ar nos quartos e salas; extracção de ar na cozinha e instalações sanitárias de acordo com a Figura 59 (Marcelino & Gavião, 2012c).



Figura 59 – Esquema de princípio do sistema de ventilação (Fonte: Nilan, 2012)

A ventilação garantirá uma renovação de ar de $30 \text{ m}^3/\text{h.pessoa}$, podendo fornecer até $320 \text{ m}^3/\text{h}$, e será realizada através de uma unidade compacta que permite a integração com o sistema solar térmico – é um equipamento certificado pelo *Passivhaus Institut* com 77% de eficiência na recuperação de calor. Os consumos do equipamento são reduzidos, na ordem dos 350 W. No Inverno, o sistema irá recuperar a energia do ar extraído e transmiti-la para o ar insuflado e para as AQS, ao passo que no Verão, caso o equipamento esteja em funcionamento, a energia do ar que é admitido é transferida para as AQS insuflando o ar mais fresco (Marcelino & Gavião, 2012c).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

A principal dificuldade residiu na integração e definição da rede de tubagens para a distribuição e remoção do ar. A solução passou por utilizar a zona da garagem como ponto nevrálgico para o funcionamento do sistema, através da localização da unidade compacta e das caixas repartidoras da tubagem para a admissão e extracção do ar dos espaços (Figura 60).



Figura 60 – Vista da execução das tubagens do sistema de ventilação (Fonte: Homegrid, 2012)

4.6 A estanquidade

Para a garantir a estanquidade do edifício procedeu-se ao levantamento exaustivo de todos os pontos frágeis, ou seja, todos os pontos susceptíveis de promover fugas. Os pontos mais susceptíveis à permeabilidade ao ar acontecem nas transições de elementos do interior para o exterior da zona aquecida, como por exemplo as condutas do sistema de ventilação na passagem da garagem para a zona aquecida ou todas as tomadas eléctricas existentes. Procedeu-se, então, à selagem através da aplicação de bandas betuminosas flexíveis, como mostra a Figura 61, ou de vedantes à base de poliuretano como mostra a Figura 62.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal



Figura 61 – Aplicação de banda betuminosa flexível na ligação da tubagem de ventilação com a parede (Fonte: Homegrid, 2012)



Figura 62 – Aplicação de vedantes à base de poliuretano nas caixas das tomadas (Fonte: Homegrid, 2012)

Para a verificação da estanquidade do edifício, foi realizado, em ambas as moradias o *Blower Door Test*, tal como mostra a Figura 63, que tem de ser realizado por uma entidade independente. O resultado alcançado pela moradia A foi de $0,51 \text{ h}^{-1}$ ao passo que o resultado alcançado pela moradia B foi de $0,45 \text{ h}^{-1}$, ambos abaixo do limite máximo exigido pelos critérios *Passive House* que é $0,6 \text{ h}^{-1}$ (Figura 64). Deste modo foi conseguido responder positivamente a todos os requisitos *Passive House* tendo em vista a certificação, que será efectivada durante a inauguração das moradias.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal



Figura 63 – A Homegrid e a equipa do ITeCons na realização do Blower Door Test (Fonte: Homegrid, 2012)



Figura 64 – Resultado instantâneo do Blower Door Test (Fonte: Homegrid, 2012)

4.7 Equipamentos

Foi promovida a iluminação natural, com grandes áreas envidraçadas em todos os compartimentos. A iluminação artificial será feita através da utilização de lâmpadas de baixo de consumo e sensores para controle dos dispositivos. Em relação aos electrodomésticos, foram escolhidos em função da procura da máxima eficiência energética (Marcelino & Gavião, 2012c).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Os consumos eléctricos para produção alimentar são responsáveis por cerca de 7% dos consumos globais de um edifício (Weizsäcker et al., 2009). Para tentar eliminar este consumo está prevista a utilização de 3 fornos solares: um forno funil, um forno tipo caixa e um forno tipo parabólico. No entanto, o contributo destas soluções apenas poderá ser aferido através da monitorização, uma vez que para efeitos de cálculo das necessidades foi considerada a utilização padrão.

4.8 Resultados do PHPP

Os resultados alcançados para cada moradia, de acordo com o PHPP (Figura 65), foram os seguintes (Marcelino & Gavião, 2012a):

- Necessidades de Energia para Aquecimento: $8 \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Carga de Aquecimento: $10 \leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
- Necessidades de Energia para Arrefecimento: $0 \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Carga de Arrefecimento: $0 \leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
- Necessidades de Energia Primária: $63 \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Frequência de excesso de temperatura: $0 \leq 10 \%$

Segundo o RCCTE e antes da adaptação dos edifícios aos padrões *Passive House* as necessidades energéticas estimadas eram as seguintes:

- Necessidades de Energia para Aquecimento: $37 \leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Necessidades de Energia para Arrefecimento: $4 \leq 16 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Preparação de AQS: $0 \leq 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Passive House Verification			
			
Building:	House B		
Location and Climate:	Ilhavo, Portugal <small>Porto with correction by PHI.</small>		
Street:			
Postcode/City:			
Country:	Portugal		
Building Type:	Semi-detached house		
Home Owner(s) / Client(s):			
Street:			
Postcode/City:			
Architect:	homegrid		
Street:			
Postcode/City:			
Mechanical System:			
Street:			
Postcode/City:			
Year of Construction:	2011	Interior Temperature:	20,0 °C
Number of Dwelling Units:	1	Internal Heat Gains:	2,1 W/m ²
Enclosed Volume V _e :	671,2 m ³		
Number of Occupants:	6.4		
Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area			
Treated Floor Area: 223,7 m ²			
Applied: Monthly method			
Specific Space Heating Demand:	8 kWh/(m ² a)	PH Certificate:	15 kWh/(m ² a)
Heating Load:	10 W/m ²		10 W/m ²
Pressurization Test Result:	0,6 h ⁻¹		0,6 h ⁻¹
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	63 kWh/(m ² a)		120 kWh/(m ² a)
Specific Primary Energy Reduction through Solar Electricity:	kWh/(m ² a)		
Frequency of Overheating:	0 %	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:	kWh/(m ² a)		15 kWh/(m ² a)
Cooling Load:	0 W/m ²		
<i>We confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The calculations with PHPP are attached to this application.</i>			Issued on: _____ signed: _____

Figura 65 – Folha de rosto do PHPP com os dados da verificação da moradia B (Fonte: Homegrid, 2012)

4.9 Monitorização

Foi definido um programa de monitorização para aplicação a ambas as habitações, com a duração de dois anos, com a recolha da seguinte informação (Marcelino & Gavião, 2012b):

- Temperatura, humidade relativa e concentração de CO₂ em todos os pisos de cada edifício;
- Radiação solar, velocidade do vento, luminosidade, precipitação e temperature no exterior do edifício;
- Consumos eléctricos dos diferentes aparelhos e equipamentos;

Apesar de as soluções construtivas serem as mesmas em ambas as habitações e as soluções arquitectónicas semelhantes, como os agregados familiares que utilizarão os edifícios são

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

diferentes, há a necessidade de verificar o comportamento de cada habitação perante diferentes padrões de utilização do edifício.

A informação será recolhida e armazenada, num portal *online* para consulta dos resultados, que permitirá conhecer o desempenho do edifício em tempo real e implementar melhorias nos trabalhos futuros.

4.10 Custos

Para além da poupança energética e das respectivas poupanças nas facturas energéticas e da melhoria dos níveis de conforto, um dos principais factores responsáveis pelo sucesso da implementação de *Passive Houses* é o baixo custo adicional, em relação a construções convencionais. De acordo com os valores médios, apurados na construção de *Passive Houses* no centro da Europa, o acréscimo no custo de construção não ultrapassa os 10% no caso de moradias isoladas, os 8% em moradias em banda e edifícios multifamiliares e 5% em edifícios de escritórios e escolas (IPHA, 2012).

No caso das primeiras *Passive Houses* em Portugal os custos totais serão aferidos após a conclusão da obra. No entanto é estimado que os custos de construção adicionais associados à implementação do conceito não ultrapassem os 5% em relação à construção convencional. O custo adicional poderá ser reduzido ou até mesmo anulado em próximos projectos com a integração dos princípios *Passive House* desde início do processo, ou seja, fruto da experiência adquirida.

O custo da implementação das soluções *Passive House*, em princípio será acrescido em relação a soluções convencionais se for vista numa lógica de melhoria isolada de cada componente, como por exemplo, em vez de se utilizar 5 cm de isolamento utilizar-se 10 cm. Mas num processo integrado e global, à escala do edifício ou empreendimento, poderá acontecer a anulação de custos adicionais se, por exemplo, forem adoptadas soluções que optimizem os ganhos solares, soluções com reduzido factor de forma que permitam aumentar os coeficientes de transmissão térmica, soluções para aumentar a eficiência recuperação de calor na ventilação.

4.11 Outras considerações

O decorrer do trabalho levou ao alargamento do conceito, para além da questão energética, definindo-se soluções para a componente hídrica e alimentar. Foi desenvolvido e lançado o produto **wefi-BUILDING**, aplicado a uma das moradias. O **wefi-BUILDING** – WATER ENERGY FOOD ALMOST INDEPENDENT BUILDING – é um produto desenvolvido pela Homegrid que, de uma forma integrada e personalizada de concepção-construção, permite tornar o empreendimento quase autónomo a nível energético, hídrico e alimentar. Na base do desenvolvimento do conceito está o conceito *Passive House*, que estabelece um padrão de elevado desempenho energético do edifício (Marcelino & Gavião, 2012c).

As duas moradias obtiveram, na fase de construção, a classificação A+ no sistema LiderA. É o reconhecimento do “muito bom nível de desempenho ambiental” da construção das duas moradias, que são as primeiras a obter essa classificação.

O LiderA, acrónimo de Liderar pelo Ambiente para a construção sustentável, é um sistema voluntário Português de apoio, avaliação e certificação da sustentabilidade do ambiente construído, que procura a sustentabilidade. O sistema através dos seus princípios e critérios (Figura 66), permite apoiar o desenvolvimento de projectos que procurem a sustentabilidade e certificar a procura de sustentabilidade de produtos no ambiente construído (edifícios, zonas urbanas, empreendimentos, materiais e produtos) desde a fase de projecto, construção até operação (LiderA, 2011).

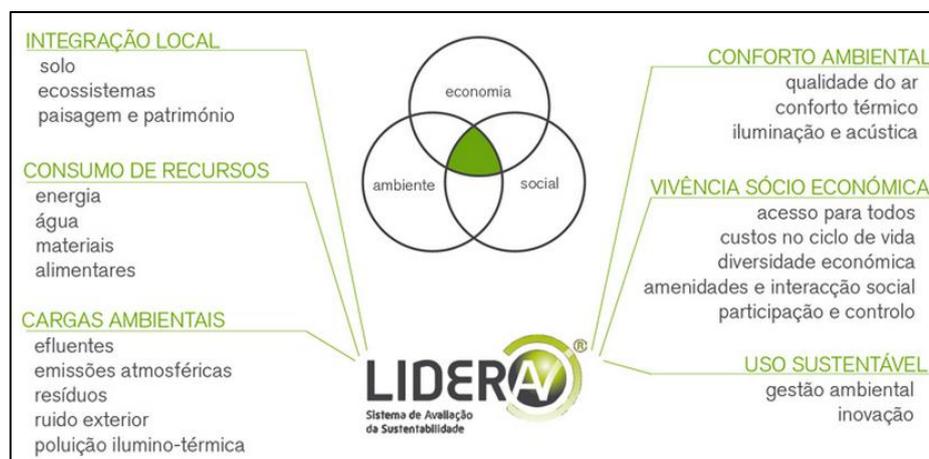


Figura 66 – Diagrama com as seis vertentes e as vinte e duas áreas do sistema LiderA (Fonte: LiderA, 2011)

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

A procura da sustentabilidade é efectuada, segundo o LiderA, através das seguintes seis vertentes, assumindo os seguintes princípios (LiderA, 2011):

- Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
- Reduzir o impacte das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
- Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental;
- Fomentar as vivências socioeconómicas sustentáveis;
- Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação.

5. Princípios para a reabilitação de acordo com os padrões *Passive House*

5.1 *Passive House Planning Package* (PHPP)

O processo de reabilitação de um edifício de modo a atingir os padrões *Passive House* obedece aos mesmos princípios que são aplicados e defendidos para os edifícios novos. Toda a análise deverá ser efectuada e os resultados validados através da ferramenta PHPP.

Deste modo deverá ser executada a mesma análise ao edifício existente, permitindo a comparação teórica da situação inicial com os padrões *Passive House*, no que respeita aos consumos energéticos. Terá de se enquadrar e comparar os resultados obtidos através do PHPP com os consumos reais do edifício, tendo em conta os níveis de conforto - os padrões *Passive House* definem uma temperatura mínima de 20°C e uma temperatura máxima de 26°C.

Com esta análise será possível aferir a extensão das melhorias que terão de ser realizadas, bem como permitir definir a melhor abordagem para o projecto.

5.2 Levantamento do edifício

O levantamento detalhado do edifício a reabilitar é fundamental para a utilização do PHPP e para servir de base à proposta de intervenção. Para o conhecimento das soluções construtivas e determinação das suas características térmicas, dos consumos, dos potenciais ganhos térmicos, da qualidade geral da construção e para a detecção é fundamental realizar/verificar:

- A localização e orientação do edifício e a determinação das projecções de sombras através do levantamento da posição, forma e altura dos obstáculos adjacentes (edifícios, árvores, etc.);
- O levantamento dimensional do edifício, em plantas, cortes e alçados, com o máximo nível de detalhe;
- O levantamento detalhado dos elementos construtivos, sobretudo dos elementos da envolvente e as respectivas ligações detalhadas (pavimento/parede exterior, parede exterior/cobertura, parede exterior/janelas e portas), sendo porventura necessária a realização de aberturas nos elementos para inspeccionar e clarificar o tipo de construção existente;

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- O levantamento dos equipamentos de aquecimento, arrefecimento e AQS e dos sistemas de iluminação;
- O levantamento e avaliação das patologias também são fundamentais para a completa caracterização do edifício. Terá de se proceder à identificação, registo e determinação do nível das patologias e anomalias. Por fim terá de se proceder à determinação das causas das patologias para se poder definir as soluções de reparação das mesmas.

O *Blower Door Test* nesta fase poderá ser útil na medida em que determinará o nível de estanquidade existente no edifício e permitirá identificar e localizar os pontos mais desfavoráveis da construção, ao nível da camada estanque. Apesar de poder ajudar a determinar e definir soluções para garantir a estanquidade, este processo poderá ser evitado devido ao acréscimo de custos associado.

Em alguns casos, poderá ser possível fazer alterações à arquitectura do edifício, alterando vãos envidraçados, por exemplo, tendo em vista a optimização do desempenho energético. Após a modelação do balanço energético do edifício existente através do PHPP, testar e verificar o contributo das alterações no desempenho global torna-se uma tarefa mais fácil e expedita.

5.3 Alterações à arquitectura do edifício

Quando o processo de reabilitação engloba um aumento da área útil através de ampliações à construção existente deve ponderar-se o real benefício de tal aumento. Apesar da análise do desempenho energético ter como unidade o kWh/m²a, o aumento da área de construção corresponderá a maiores consumos energéticos globais.

Neste tipo de intervenções, em que há aumentos da área útil e alterações à arquitectura do edifício e de modo a melhorar o desempenho passivo do edifício, devem ser tidos em conta os princípios solares passivos:

- Optimizar o factor de forma do edifício, reduzindo a relação superfície da envolvente/volume do edifício;
- Maximizar a área de envidraçados orientados a Sul;
- Evitar o sombreamento dos vãos através da adição de volumes ou elementos salientes do edifício.

5.4 Melhoria da envolvente do edifício

Para se poder atingir os padrões *Passive House* na renovação de um edifício é fundamental assegurar o desempenho dos elementos da envolvente do edifício tendo em consideração os níveis de isolamento, a minimização das pontes térmicas, a estanquidade da envolvente e os sistemas de janelas e portas.

5.4.1 Isolamento

O principal objectivo da melhoria do isolamento térmico de um edifício existente é a redução das perdas de calor pelos elementos da envolvente, ou seja pela diminuição da transmissão térmica destes elementos. O total das perdas pela transmissão térmica engloba as perdas pelas superfícies dos elementos construtivos da envolvente e as perdas pelas pontes térmicas.

A posição da camada isolante na solução construtiva da envolvente deverá ser, preferencialmente, no exterior do elemento construtivo, em detrimento do posicionamento pelo interior, pelos seguintes factores:

- Permite mais facilmente a minimização das pontes térmicas;
- Permite mais facilmente a continuidade da camada isolante nos diferentes elementos da envolvente;
- Permite a utilização do contributo da massa térmica do elemento construtivo, mesmo que numa *Passive House* esse o papel da inercia térmica não seja muito relevante;

O adequado isolamento dos elementos da envolvente reduz o risco da ocorrência de patologias devido a condensações nas superfícies interiores, como mostra a figura Figura 67 em que o isolamento de acordo com os padrões *Passive House* (solução à direita) origina temperaturas das superfícies interiores mais elevadas em comparação com soluções com isolamento convencional (solução ao centro) e com soluções sem isolamento (solução à esquerda).

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

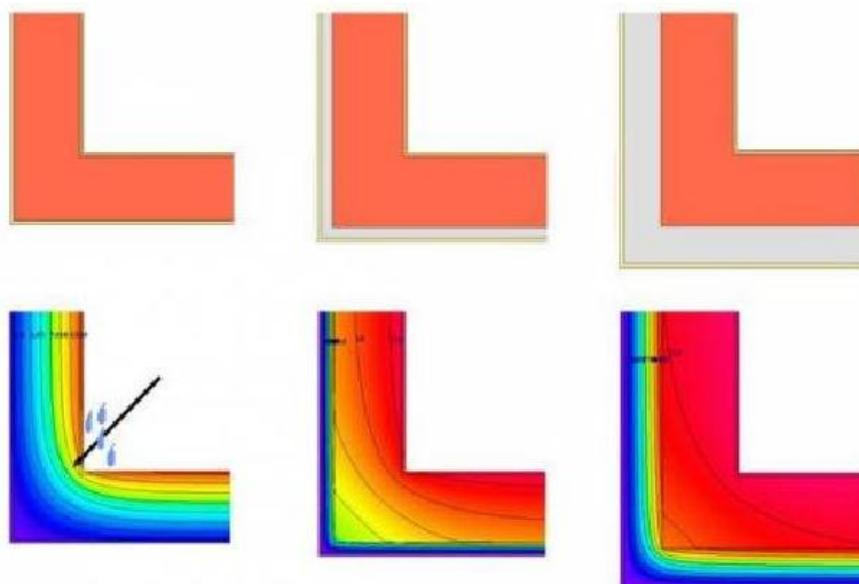


Figura 67 – Comparação entre soluções construtivas para a ligação em L de uma parede e as diferenças das temperaturas obtidas (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2012)

Nas situações em que o isolamento aplicado pelo exterior não for possível, quando se trata, por exemplo, da renovação de um único fogo num edifício de apartamentos ou por obrigação regulamentar, técnica ou de salvaguarda patrimonial ser obrigatória a manutenção do revestimento original das fachadas, o isolamento terá de ser feito pelo interior. Para tal deverão ser tidos em conta os pontos atrás referidos.

5.4.2 Coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente

Uma das tarefas fundamentais na reabilitação de um edifício para atingir os padrões *Passive House* é a melhoria do coeficiente de transmissão térmica das soluções construtivas definidas para os diferentes elementos da envolvente, como o pavimento térreo, paredes exteriores e cobertura. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica terão de ser definidos consoante as condições climáticas do local onde se encontra o edifício e integrados na estratégia global definida para a intervenção, que terá obrigatoriamente de ser definida através da utilização do PHPP para ajustar as soluções ao balanço energético do edifício.

Segundo diferentes estudos do *Passivhaus Institut* e o trabalho já realizado em Portugal e tendo em consideração a optimização da relação custo-benefício, os valores máximos indicativos para

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

os coeficientes de transmissão térmica segundo os diferentes elementos da envolvente opaca são:

- a) Pavimento térreo (Figura 68) - Lisboa $\leq 0,850 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de, aproximadamente, 3 cm; Porto $\leq 0,432 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de, aproximadamente, 6 cm; Ílhavo $\leq 0,434 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de 5 cm (aplicado nas primeiras *Passive Houses* em Portugal);
- b) Paredes exteriores (Figura 69) - Lisboa $\leq 0,620 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de, aproximadamente, 5 cm; Porto $\leq 0,202 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de, aproximadamente, 15 cm; Ílhavo $\leq 0,262 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de 10 cm (aplicado nas primeiras *Passive Houses* em Portugal);
- c) Cobertura (Figura 70) - Lisboa $\leq 0,330 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de, aproximadamente, 10 cm; Porto $\leq 0,155 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de, aproximadamente, 20 cm; Ílhavo $\leq 0,221 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ com isolamento de 15 cm (aplicado nas primeiras *Passive Houses* em Portugal);

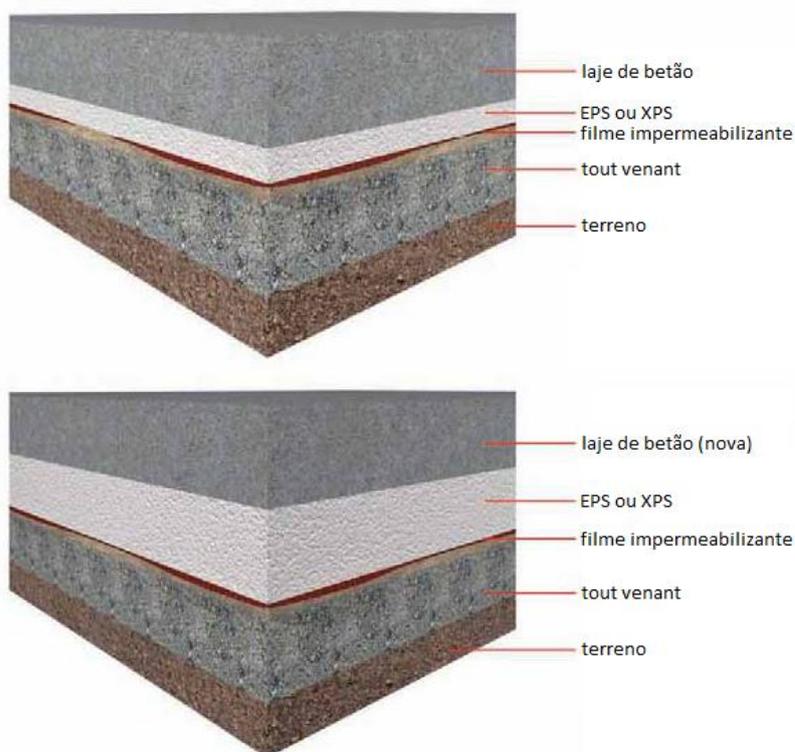


Figura 68 – Exemplo de solução construtiva de pavimento térreo, existente e reabilitada

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

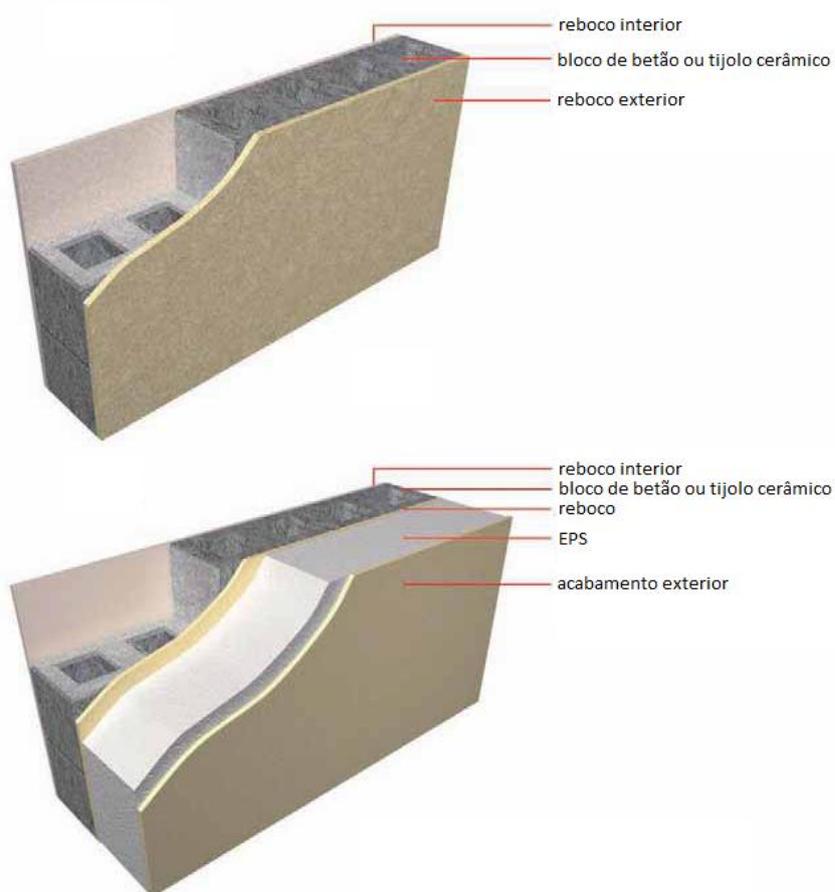


Figura 69– Exemplo de solução construtiva de parede exterior, existente e reabilitada

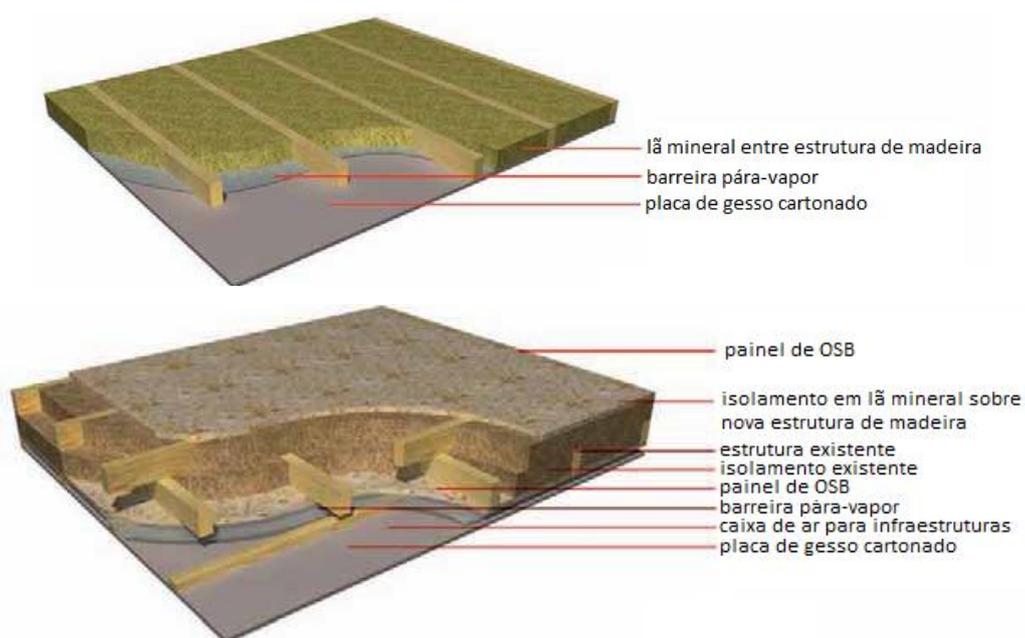


Figura 70 – Exemplo de solução construtiva de tecto sob sótão não aquecido, existente e reabilitada

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

As espessuras aproximadas do isolamento das paredes poderão ainda ser inferiores caso a parede a reabilitar já tenha isolamento, como no caso de paredes duplas com isolamento na caixa-de-ar, conforme mostra a Figura 71. Nessa situação deverá proceder-se ao preenchimento da caixa-de-ar com material isolante auto-expansível.

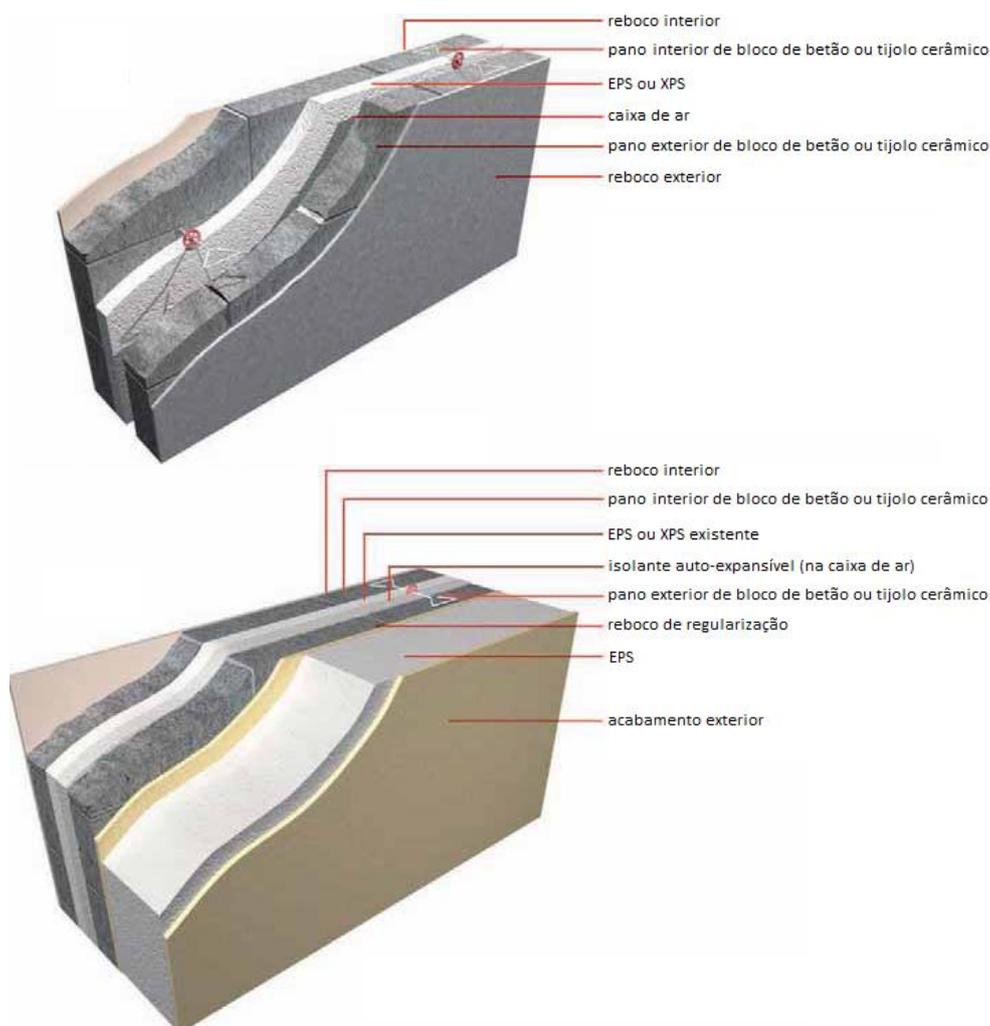


Figura 71 – Exemplo de solução construtiva de parede exterior com dupla alvenaria, existente e reabilitada

Os valores apresentados poderão ser alcançados com soluções correntes, apenas com recurso a espessuras de isolamento um pouco superiores ao exigido pelo RCCTE. Estes valores poderão servir como ponto de partida para abordar o processo de reabilitação de um edifício no que diz respeito à melhoria do isolamento dos elementos da envolvente.

5.4.3 Minimização das pontes térmicas

É possível transferir os princípios de projecto aplicados a novas construções à reabilitação de edifícios existentes, alcançando deste modo os padrões *Passive House*. No entanto no que diz respeito à minimização das pontes térmicas, no processo de reabilitação haverá excepções que não permitem a aplicação deste princípio com um esforço aceitável como são os casos de alguns embasamentos de edifícios ou elementos construtivos projectantes como varandas, vigas, etc. (Passipedia, 2012).

Como foi atrás referido, numa situação ideal a camada de isolamento seria contínua, ou seja, não haveria interrupções no isolamento em todas as ligações entre os diferentes elementos da envolvente (fundações - pavimento - parede - janelas e portas - parede - cobertura). Quando se trata de construções novas esta solução é mais facilmente conseguida, apesar de obrigar a um trabalho cuidado de pormenorização e de fiscalização, o que em processos de reabilitação já não será tão fácil de conseguir.

A posição do isolamento também tem uma grande influência na minimização de pontes térmicas, uma vez que a colocação da camada isolante pelo exterior dos elementos existentes da envolvente permite reduzir as perdas pela envolvente exterior como mostra a Figura 72.



Figura 72 – Fotografia termográfica com um edifício reabilitado com isolamento pelo exterior, à direita, e um edifício existente, à esquerda (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2012)

Uma situação comum em edifícios existentes é a existência de varandas com a projecção da laje de betão até ao exterior. Como mostra a Figura 73, numa situação sem isolamento haverá a ocorrência de condensações devido à temperatura interior ser muito baixa. O mesmo poderá

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

ocorrer com a aplicação de isolamento, com reduzida espessura, caso, por exemplo, a temperatura exterior for muito baixa. Para evitar esta situação o isolamento da parede exterior com adequados níveis de isolamento será suficiente ou através da correcção da ponte térmica com o prolongamento da camada isolante no elemento de betão.

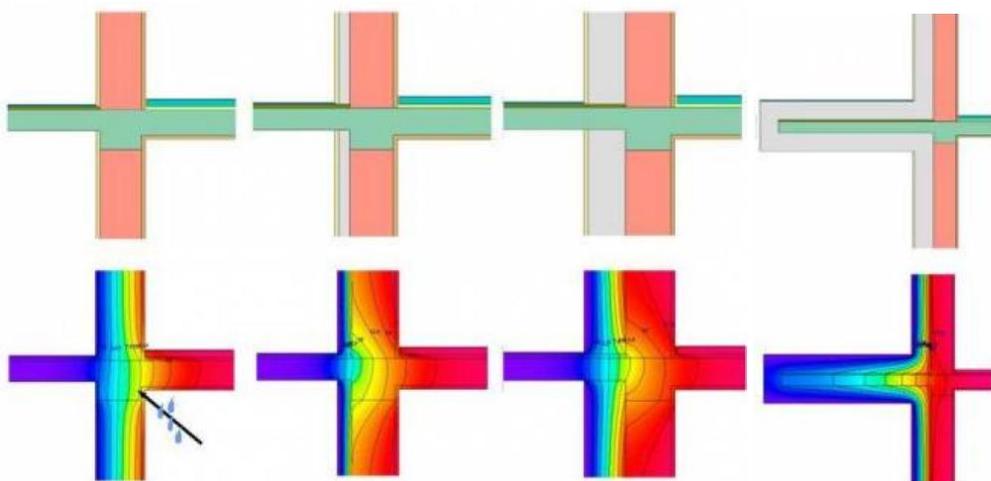


Figura 73 – Comparação entre soluções construtivas para a correcção térmica de uma varanda existente (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2012)

Outra situação comum em edifícios existentes em que há a necessidade de correcção térmica diz respeito ao embasamento do edifício. A correcção deverá ser feita com o arranque do isolamento a partir da cota mais baixa possível, como mostra a Figura 74, de modo a garantir sempre uma temperatura superficial interior que evite a ocorrência de condensações.

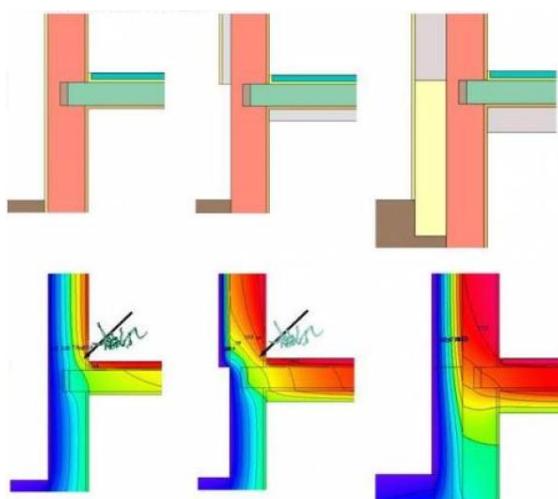


Figura 74 – Comparação entre soluções construtivas para a correcção térmica do embasamento de um edifício existente (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2012)

5.4.4 Janelas

As janelas são os elementos mais frágeis da envolvente do edifício no que diz respeito ao desempenho e contributo para o balanço energético. Mesmo com os mais avançados sistemas disponíveis no mercado, são os elementos onde se verificam as menores temperaturas superficiais no interior dos edifícios, o que num edifício convencional pode significar condensações na face interior do vidro como mostra a Figura 75, em que tanto na situação de um edifício existente (à esquerda) com na reabilitação convencional (ao centro) ocorrem condensações (Passipedia, 2012).

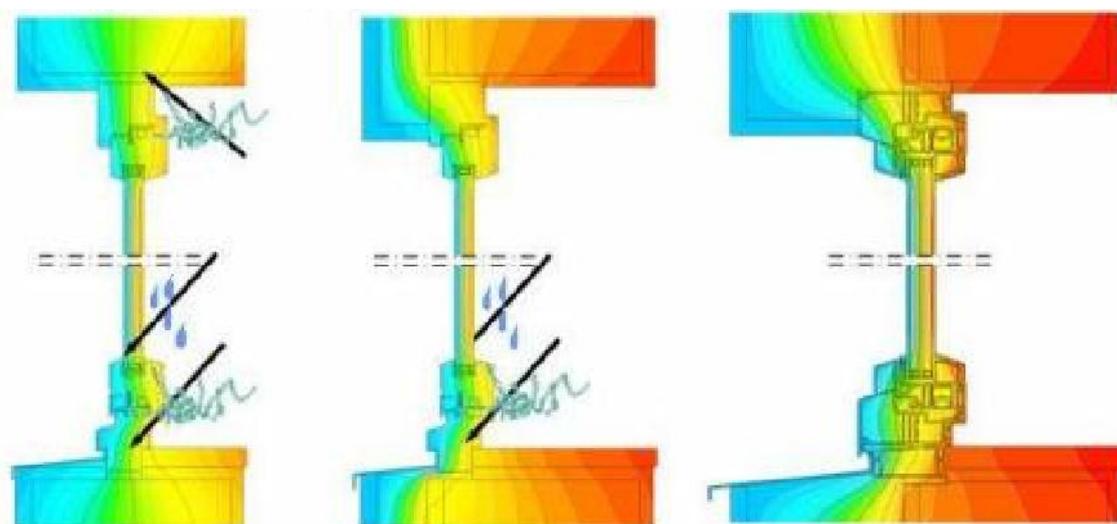


Figura 75 – Comparação entre janelas: edifício existente, reabilitação convencional e reabilitação *Passive House*, respectivamente, da esquerda para a direita (Fonte: *Passivhaus Institut*, 2012)

A renovação das janelas é um dos componentes mais importantes na reabilitação de um edifício, sobretudo quando se pretende atingir os padrões *Passive House*. Os princípios *Passive House* para a definição dos sistemas de janelas são os mesmos dos edifícios novos.

Deverá procurar-se não só os melhores sistemas de janelas e vidros mas também assegurar o correcto posicionamento e isolamento da caixilharia, para garantir baixos valores do coeficiente de transmissão térmica da globalidade da janela. O valor de referência para Lisboa e Porto é de $1,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ de acordo com o *Passivhaus Institut* (Schnieders, 2012). Todavia deverá ser estudado para cada localização qual o sistema que garanta os requisitos com custos razoáveis.

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

Partindo do princípio que não poderão ser alteradas a orientação, a forma, a localização e geometria dos vãos, para se conseguir alcançar o valor de referência terão de ser seguidos, sempre que possível, os seguintes princípios:

- Deverão ser definidos sistemas de caixilharia com elevada resistência térmica, como por exemplo em madeira, em PVC com isolamento no interior, em alumínio com corte térmico e com isolamento no interior.
- Os sistemas de caixilharia deverão ser de batente, oscilobatente ou basculante, evitando sistemas de correr ou de guilhotina uma vez que são sistemas menos estanques.
- Os envidraçados poderão ser em de vidros duplos, com baixa emissividade, com perfis espaçadores dos vidros com baixa condutividade (adoptando espaçadores cerâmicos, em aço inox, em espuma orgânica ou silicone evitando os mais comuns em alumínio), com gás árgon na caixa de separação dos vidros. A possibilidade de definir vidros triplos poderá ser equacionada em casos específicos como uma situação climática muito adversa, como numa situação em que o número de vãos é reduzido e o investimento em janelas de elevado desempenho tenha um impacto económico reduzido ou como uma situação em que os vãos tenham uma deficiente exposição solar potenciando as perdas térmicas.
- O factor solar do envidraçado deverá estar entre 0,5 e 0,6, contribuindo positivamente para o balanço energético do edifício ao permitir a obtenção de ganhos solares.
- Deverá ser reduzida a proporção do caixilho em relação ao vidro na totalidade do vão – um valor de referência será de 20% para o caixilho e 80% para o vidro – porque, independentemente do tipo, a caixilharia terá sempre um condutividade superior à do vidro. Assim, o princípio a seguir é: mais vidro e menos caixilho exposto no vão.
- A posição da caixilharia no vão deverá ser no alinhamento da camada isolante de modo a reduzir as transmissões térmicas pelo perímetro do vão.
- Deverá ser assegurado o isolamento dos perfis da caixilharia colocados no perímetro do vão. Sob o ponto de vista energético a situação ideal seria a não visibilidade da caixilharia pelo exterior que significaria que os perfis estariam ocultados pelo isolamento. Esta solução será aplicável mais facilmente nos perfis laterais e superiores, uma vez que no perfil inferior a resolução da impermeabilização compromete o seu total isolamento.

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

- O sombreamento deverá ser feito com sistemas que funcionem pelo exterior do vão, como estores de lâminas orientáveis ou não, portadas exteriores, telas opacas. Deverão ser definidos sistemas cuja caixa de recolha ou enrolamento, caso exista, não interrompa o isolamento da parede. Como se tratam de janelas com óptimo desempenho energético, o contributo dos sistemas de sombreamento para a melhoria do coeficiente de transmissão térmica será reduzida em edifícios *Passive House*.
- Deverá ser salvaguardada, na colocação e aplicação das caixilharias, a estanquidade do edifício, de modo a evitar potenciais fugas de ar. Para tal, deverá ser colocado no perímetro do vão uma fita selante auto-expansível que preencherá o espaço entre a caixilharia e o suporte, sem perder as suas características ao longo do tempo.

O principal problema está relacionado com o preço deste tipo de janelas em comparação com janelas correntes. A diferença de preço não reside apenas nos componentes da janela mas também na mão-de-obra, que deverá estar preparada para assegurar a correcta e cuidada execução dos trabalhos.

Este problema só poderá ser ultrapassado com a generalização da utilização destas soluções, levando à redução dos preços dos produtos, através da produção e distribuição em larga escala, e à melhoria do nível dos aplicadores que originará um menor tempo de aplicação garantindo os níveis de qualidade exigidos. Como é óbvio, os melhores produtos serão sempre mais dispendiosos que os produtos convencionais, mas no caso específico das janelas, será justificável o investimento pelas poupanças energéticas, pelo conforto e pela minimização da ocorrência de patologias.

5.5 Estanquidade

A experiência com a construção de edifícios de acordo com os padrões *Passive House* mostra que a elevada estanquidade é um dos principais requisitos para se atingir o conforto e poupanças consideráveis de energia (Passipedia 2012).

No que diz respeito à estanquidade na reabilitação de um edifício existente são aplicados os mesmos princípios das construções novas. O principal é o princípio da ininterrupção da

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

envolvente estanque em que um elevado nível de estanquidade só pode ser alcançado se ela estiver claramente definida e se for contínua e ininterrupta (Passipedia 2012).

Haverá no entanto a necessidade de se definir soluções específicas para problemas específicos de cada edifício. Um dos principais problemas prende-se com a posição da camada estanque, que geralmente corresponde ao reboco exterior. Sem a correcta ligação entre o reboco exterior e os outros elementos da envolvente não será possível assegurar os níveis de estanquidade exigidos (Passipedia 2012).

Em construções novas a definição da camada envolvente estanque é geralmente feita pelo interior, como aconteceu no caso das primeiras *Passive Houses* em Portugal através da camada contínua de reboco estanhado. Na reabilitação de edifícios esse princípio poderá ser mais difícil de aplicar com a devida eficácia devido às interrupções que essa camada sofre sobretudo em situações de estruturas de coberturas e de pavimentos de madeira e em revestimentos de tectos e pavimentos. Para ultrapassar estes problemas será necessário proceder a selagens localizadas adicionais (Passipedia 2012).

Deste modo o processo mais eficaz de assegurar a estanquidade será através do reboco exterior sobre a alvenaria existente. Será sobre este reboco exterior, que deverá ser projectado, que será aplicado o isolamento. Se puder se mantido o reboco existente deverá haver o cuidado de reparar eventuais fissuras e prestar especial atenção às ligações entre os diferentes elementos da envolvente (Passipedia 2012).

Todos os elementos que tiverem de atravessar a envolvente estanque (chaminés, tubagem para admissão e extracção de ar, tubagem para passagem de cabos eléctricos) deverão ser cuidadosamente isolados com material adequado à utilização (fitas plásticas aderentes, betuminosas, etc). As soluções adoptadas terão de ter em conta os tipos de materiais dos elementos, para garantir a total aderência entre eles. Também os dispositivos eléctricos (tomadas eléctricas, interruptores, quadros eléctricos, botões de pressão, etc) deverão estar correctamente isolados, se possível com sistemas certificados pelo *Passivhaus Institut*.

5.6 Sistema de ventilação

A definição de um sistema de ventilação é uma das maiores dificuldades na reabilitação de um edifício para atingir os padrões *Passive House*. Isto deve-se ao facto de ser necessário prever um espaço para a instalação do equipamento e definir o esquema e distribuição das tubagens para a admissão e extracção do ar.

A definição de um sistema de ventilação com recuperação de calor, tipo unidade compacta, permitirá a ligação ao sistema solar térmico para AQS e otimizar o rendimento de ambos os sistemas, para além de garantir a qualidade do ar interior e climatizar o espaço. O sistema terá de ter uma eficiência superior a 75% e deverá permitir a interacção dos utilizadores do edifício. O esquema de princípio deverá ser o seguinte: insuflação de ar nos quartos e salas; extracção de ar na cozinha e instalações sanitárias. A unidade de ventilação deverá ser instalada sempre que possível dentro da área aquecida, de modo a evitar os isolamentos das condutas.

A ventilação natural será possível sempre que existirem as condições para que tal possa ocorrer, para evitar perdas de energia, como foi demonstrado no ponto **3.9**.

5.7 Equipamento

Para se atingir os padrões *Passive House*, nomeadamente o requisito que determina que a carga máxima de aquecimento seja inferior a $10\text{W}/\text{m}^2$, é fundamental garantir a eficiência de todos os equipamentos.

No caso de reabilitações de edifícios existentes terá de se ter em conta o equipamento existente, nomeadamente os sistemas de distribuição de aquecimento, e aferir a possibilidade de integração na solução final, não havendo à partida nenhum motivo para não usá-los. Com a redução das necessidades de aquecimento do edifício e com o aumento da temperatura interior, os sistemas de distribuição, nomeadamente radiadores, terão menos perdas pela distribuição. No entanto terá de se verificar o desempenho global do sistema para o funcionamento com menor potência (Passipedia, 2012).

Já no que diz respeito a sistemas de aquecimento, deverá haver uma acrescida preocupação na procura dos sistemas mais eficientes, como caldeiras de condensação ou bombas de calor de

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

elevada eficiência (Passipedia, 2012)). Qualquer sistema definido, quer seja novo ou existente, terá de ser devidamente enquadrado no PHPP, de modo a aferir correctamente o seu contributo para o balanço energético do edifício.

Em relação ao arrefecimento, em geral, não haverá necessidade de definir qualquer sistema para além do sistema de ventilação integrante da proposta *Passive House*.

5.8 Custos

Como numa reabilitação não haverá a possibilidade de, em princípio, definir uma estratégia global e pensada de raiz para atingir os padrões *Passive House*, o custo das soluções será sempre acrescido em relação às soluções convencionais. As soluções passarão por melhorar isoladamente cada componente.

No entanto um edifício reabilitado de acordo com os padrões *Passive House* não originará apenas poupanças energéticas, mas também maior conforto para os ocupantes e prevenirá potenciais patologias pelo facto de aumentar as temperaturas das superfícies interiores (Theumer, 2012).

6. Conclusões e trabalhos futuros

6.1 Conclusões

O parque edificado em Portugal é dos mais recentes a nível europeu, resultado do crescimento do sector da construção, sobretudo, durante a década de 1990. A evolução das novas construções apresenta uma queda acentuada desde o início do século XXI. Se a este facto se associar os consumos energéticos dos edifícios em Portugal e as necessidades de obras de reparação, pode concluir-se que o caminho para a eficiência energética terá de passar pelo aumento do peso da reabilitação em geral e da reabilitação energética em particular no sector da construção.

Com os limites impostos pelas políticas energéticas europeias, e que diversos organismos internacionais defendem, e com todos os problemas associados ao consumo de energia a nível mundial e com respectivo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e, por conseguinte, com as alterações climáticas, o caminho passará pela procura da eficiência e pelo estabelecimento de limites ao consumo energético cada vez mais rigorosos.

Deste modo a implementação de medidas e a definição de soluções tendo em vista a implementação dos padrões energéticos com o mais elevado desempenho é fulcral. Neste sentido o conceito *Passive House*, que é um elevado *standard* na eficiência energética e nos níveis de conforto, assume-se como ponto-chave na revolução energética actual. Os padrões *Passive House* são já obrigatórios em diversos estados e regiões de alguns países europeus e são considerados como a mais eficaz solução para a definição de um NZEB.

Como definido pelo *Passivhaus Institut* para a implementação do conceito nos diferentes países ou em diferentes condições climáticas, o processo passará sempre pela construção de protótipos que sirvam de base a estudos e análises posteriores tendo em vista a solidificação de práticas e conhecimentos. Ou seja, deve procurar-se alicerçar o desenvolvimento do conceito na construção de edifícios e procurando, de forma constante, a melhoria das soluções adoptadas e a optimização do desempenho nos próximos edifícios, numa lógica de melhoria constante.

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

As conclusões relativas à implementação do conceito *Passive House* no Sudoeste da Europa, são de que é possível obter edifícios confortáveis, com um consumo energético extremamente baixo e com impactos ambientais reduzidos, e associados a um baixo custo de ciclo de vida.

Por um lado a experiência da construção das primeiras *Passive Houses*, apesar de se tratar da adaptação de um projecto, revela o potencial de poupança mesmo em climas temperados. Tratando-se de um clima menos exigente que o clima onde o conceito foi implementado inicialmente, também as soluções adoptadas são menos exigentes e dispendiosas.

Por outro lado o facto de se tratar da adaptação de um projecto existente permite definir os princípios que poderão ser aplicados na reabilitação de um edifício existente. A integração do conceito *Passive House* na reabilitação do edificado, recorrendo a soluções de mercado correntes e com pouco acréscimo de custos, não só é possível como poderá ser o factor que dinamize o sector da reabilitação.

Os resultados obtidos pela modelação energética do edifício mostram que os consumos energéticos associados às necessidades de aquecimento e arrefecimento foram reduzidos num factor de 5, se considerarmos o somatório das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento na situação inicial, $(37 + 4) 41 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, e na adaptação *Passive House*, $8\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Os custos associados à implementação de soluções *Passive House* poderão ser significativamente reduzidos, em comparação com soluções convencionais. Já os custos de operação serão substancialmente mais baixo devido à redução das necessidades e, previsivelmente, do consumo energético.

A disseminação do conceito *Passive House* poderá dar um novo rumo ao sector da construção, que se encontra em claro declínio, uma vez que permitirá o desenvolvimento de produtos e soluções altamente eficientes e passíveis de serem exportadas para mercados com perfil semelhante ao português. As soluções *Passive House* apresentadas no caso de estudo, com a excepção do sistema de ventilação com recuperação de calor, foram desenvolvidas por empresas parceiras maioritariamente nacionais e de preferência sediadas regionalmente.

Princípios para a aplicação do conceito *Passive House* em Portugal

A disseminação do conceito originará também uma libertação de recursos económicos que poderão ser poupados ou aplicados noutros sectores da economia, devido às poupanças energéticas geradas.

Assim, a implementação deste conceito em Portugal, pode permitir, por um lado, o aumento do conforto térmico e da eficiência energética nos edifícios e a redução da factura energética (benefício para os utilizadores) e, por outro lado, a redução das emissões de CO₂, da importação de energia e a alocação de recursos para sectores produtivos da economia, devido às poupanças conseguidas (benefício para o país).

6.2 Trabalhos futuros

Em Portugal, com a construção das primeiras *Passive Houses* e com os resultados já apresentados, foi aberto o caminho para a implementação do conceito em Portugal. Esse caminho deverá prosseguir com a construção de mais edifícios, em diferentes localizações, programas e tipologias, que possam servir de base para alargar o estudo e a partilha de experiências e conhecimento. A criação da Associação Passivhaus Portugal será a alavanca para impulsionar o conceito e permitir a definição de uma estratégia que contribua para redução da dependência energética do país.

A principal tarefa a realizar futuramente é proceder à reabilitação de um edifício de modo a cumprir com os padrões *Passive House*, que permita o seu futuro estudo de modo a verificar, validar e melhorar a aplicação ao sector da reabilitação em Portugal.

A aplicação do conceito a outros programas diferentes do sector residencial, como por exemplo: edifícios de escritórios, equipamentos hoteleiros, edifícios escolares, equipamentos sociais, etc., permitirá aferir melhor o âmbito de aplicação do mesmo de modo a ajustar as soluções as diferentes padrões de utilização de um edifício.

A análise económico-financeira da utilização dos edifícios, novos ou reabilitados, para um período de 30 anos, é um dos trabalhos a realizar futuramente. Esta análise permitirá definir qual o período de retorno do investimento adicional e quais as poupanças geradas ao longo da utilização do edifício. Esta análise poderá ser complementada e comparada com os dados recolhidos durante o programa de monitorização.

Referências Bibliográficas

- Alfonso, J. (2011). La ventilación mecánica com recuperación de calor: La garantía de calidade del aire interior. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 9. Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid, Madrid
- Almeida, M. (2010). Apontamentos da Unidade Curricular Energia e Conforto nos Edifícios. Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães
- Almeida, M. (2011). Apontamentos da Unidade Curricular Patologia e Reabilitação Não Estrutural. Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães
- Alves, R. & Silva, T. (2011). Políticas Públicas de Energia em Portugal. Boletim Mensal de Economia Portuguesa número 6, Gabinete de Estratégia e Estudos e Gabinete de Planeamento, Estratégia, Avaliação e Relações Internacionais
- Antón, N. & Vogt, A. (2011). La envolvente opaca y el aislamiento: Minimizar perdidas. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 4. Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid, Madrid
- Banco de Portugal (2010). Projeções para a economia portuguesa: 2010-2012. Boletim Económico Inverno 2010, volume 16, número 4, páginas 9-21, Banco de Portugal
- Bastian, Z. (2011). EnerPHit certification for building modernization with *Passive House* components: Initial experience. 15th International *Passive House* Conference, Innsbruck
- Bengoa, A. & Nitsch, B. (2011). Los primeros hitos a tener en cuenta. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 3. Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid, Madrid
- Berger, W. (2011). Necesitamos edificios estancos. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 7. Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid, Madrid
- Birol, F. (2009). The time has come for a world energy revolution. Disponível online em http://www.iea.org/journalists/docs/birol_europes_world.pdf
- Brew, J. (2011). A *Passive House* Revisited – 27 Years Later. 15th International *Passive House* Conference Proceedings, páginas 527-532
- Clua, M. (2011). Será Passivhaus? Será casa passiva? Guia del estándar Passivhaus, capítulo 10. Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid, Madrid
- Córias, V. (2008). Desenvolvimento sustentável: Obras públicas e “resorts” não são o caminho. Artigo disponível online em <http://www.gecorpa.pt/>
- DGEG (2004). Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Direcção-Geral de Energia e Geologia, Lisboa
- DGEG (2008). A Evolução da Eficiência & Conservação de Energia em Portugal. Direcção-Geral de Energia e Geologia, disponível online em <http://www.dgge.pt/>
- DGEG (2011a). Energia em Portugal – Principais Números. Direcção-Geral de Energia e Geologia
- DGEG (2011b). Balanço Energético 2009 (provisório). Direcção-Geral de Energia e Geologia

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- Elswijk, M. & Kaan, H. (2008). European Embedding of *Passive Houses*. Promoting of European *Passive Houses*
- ENE (2005). Estratégia Nacional para a Energia. Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 de 24 de Outubro
- ENE (2010). Estratégia Nacional para a Energia 2020. Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010 de 15 de Abril
- EnerPHit (2010). EnerPHit: Certification as “Quality-Approved Energy Retrofit with *Passive House* Components”. PassivHaus Institut, Darmstadt
- EPBD (2002). Energy Performance of Buildings Directive. Directiva Comunitária 2002/91/CE
- Erdmann, C., Steiner, K. & Apte, M. (2002). Indoor carbon dioxide concentrations and sick building syndrome symptoms in the base study revisited: analyses of the 100 building dataset. Proceedings: Indoor Air 2002
- E-Retrofit (2007). *Passive House* Retrofit Report. E-Retrofit-Kit, Energieinstitut Vorarlberg, Áustria
- ETP (2008). Energy Technologies Perspectives 2008. International Energy Agency, Paris
- Feist, W. (2009). Best practice case-study – The “Passivhaus”. Factor Five. The Natural Edge Project, Gateshead
- Feist, W., Peper, S. & Gorg, M. (2001). CEPHEUS: Final Technical Report. enercity / Stadtwerke Hannover AG - Passivhaus Institut, Hannover
- Freitas, M., Salvado, S., Marques, W. (2009). O Preço da Energia e o Défice da Balança Energética em Portugal. Boletim Mensal de Economia Portuguesa número 5, Gabinete de Estratégia e Estudos e Gabinete de Planeamento, Estratégia, Avaliação e Relações Internacionais
- Gauna, J. (2011). Hacia los edificios sin hipoteca energética: Passivhaus – la casa passiva. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 1. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, Madrid
- Gauna, J. (2011). Los edificios passivos. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 2. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, Madrid
- Gonçalves, H. & Graça, J. (2004). Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. DGGE, Lisboa
- Gonçalves, H., Cabrito, P., Oliveira, M. & Patrício, A. (1997). Edifícios Solares Passivos em Portugal. INETI, Lisboa
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Beerling, D., Berner, R., Masson-Delmotte, V., Pagani, M., Raymo, M., Royer, D. & Zachos, J. (2008). Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim? *Open Atmos. Sci. J.*, volume 2 páginas 217-231
- Hasselaar, E., & Ginkel, J. (2004). The Healthy Bedroom. OTB Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies, Delft University of Technology, The Netherlands
- Holl, M. (2010). After the recast – EU policies for sustainable buildings. REHVA seminar, Brussels
- IBO (2009). Passivhaus – Bauteilkatalog. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie Springer – Verlag, Wien

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- IEEP (2009). Implementing Energy Efficiency Policies. International Energy Agency, Paris
- INE (2010). Estatísticas da Construção e Habitação 2009. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa
- INE (2011). Dados Estatísticos: Número de edifícios em Portugal. Disponível online em <http://www.ine.pt>
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Valencia
- IPHA (2012). Active for more confort: The *Passive House*. International *Passive House* Association, Darmstadt
- Kaan, H. (2008). High marks for Europe's low-energy houses: The PEP project. News Review of the Intelligent Energy – Europe Programme, número 4, página 4
- Kunzig, R. (2009). The Canadian Oil Boom: Scraping Bottom. Disponível online em <http://ngm.nationalgeographic.com/2009/03/canadian-oil-sands/kunzig-text>
- KWE Statistics (2010). Key World Energy Statistics 2010. International Energy Agency, Paris
- LiderA (2011). Apresentação sumária. Disponível online em http://lidera.info/resources/LiderA_apresentacao_sumaria_2011_v1.pdf
- Madeira, C. (2009). A Reabilitação Habitacional em Portugal - Avaliação dos Programas RECRIA, REHABITA, RECRIPH e SOLARH. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Regeneração Urbana e Ambiental, Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa
- Marcelino, J. & Gavião, J. (2012a). The first *Passive House* in Portugal: the path to self-sufficiency in energy, water and food. 16th International *Passive House* Conference Proceedings, páginas 641-642
- Marcelino, J. & Gavião, J. (2012b). A construção das primeiras *Passive Houses* em Portugal. O caminho para a autonomia de elevado nível. Congresso LiderA 2012, Lisboa
- Marcelino, J. & Gavião, J. (2012c). Water Energy Food almost Independent Building. Climatização Setembro/Outubro 2012 páginas 84-90
- Moita, F. (2010). Energia Solar Passiva. Argumentum, Lisboa
- Musall, E. (2012). The *Passive House* Concept as Suitable Basis towards Net Zero Energy Buildings 16th International *Passive House* Conference Proceedings, páginas 271-276
- OMS (2005). Climate and health. Fact sheet, World Health Organization
- Passipedia (2012). The *Passive House* resource. Disponível online em <http://www.passipedia.org/>
- Passive-On (2007). A norma Passivhaus em climas quentes da Europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético. Passive-On Project, Milão
- PHI (2012). *Passive House* Buildings Database. Disponível online em <http://www.passivhausprojekte.de>
- PHPP (2007). *Passive House* Plannign Package. Passivhaus Institut, Darmstadt
- PNAEE (2008). Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015. Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 de 20 de Maio

Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal

- RCCTE (1990). Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro
- RCCTE (2006). Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril
- Ribas, R. (2012). O que vai mudar com os NZEB? Climatização, páginas 7-14
- RSECE (1998). Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 119/98, de 7 de Maio
- RSECE (2006). Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril
- Santos, J. (2008). Avaliação experimental dos níveis de qualidade do ar interior em quartos de dormir - um caso de estudo. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Reabilitação de Edifícios, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
- SCE (2006). Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 Abril
- Schnieders, J. (2009). *Passive House* in South West Europe. Passivhaus Institut, Darmstadt
- Schnieders, J. (2012). *Passive House* for different climate zones. Passivhaus Institut, Darmstadt
- Steinmuller, B. (2008). Reducing Energy by a Factor of 10. Promoting Energy Efficient Sustainable Housing in the Western World. Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement, Lüneburg
- Thames (2008). O Sector da Construção em Portugal. Estudo de mercado, Thames Consultores
- Theumer, S. (2012). Introduction to PHPP. *Passive House* Basics Course, Hannover
- Wassouf, M. (2011). Edifícios passivos en España y en el resto del mundo. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 12. Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid, Madrid
- Weizsäcker, E., Hargroves, K., Smith, M., Desha, C. & Stasinopoulos, P. (2009). Factor Five. The Natural Edge Project, Gateshead
- WEO (2008). World Energy Outlook 2008. International Energy Agency, Paris
- WEO (2009). World Energy Outlook 2009. International Energy Agency, Paris
- WWF (2011). The Energy Report: 100% Renewable Energy by 2050. World Wide Fund for Nature em colaboração com Ecofys e Office of Metropolitan Architecture, Gland