



**IPG** Politécnico  
| da | Guarda  
Polytechnic  
of Guarda

# RELATÓRIO DE PROJETO

Licenciatura em Energia e Ambiente

André Daniel Fernandes Sebastião

dezembro | 2016





*Escola Superior de Tecnologia e Gestão*

*Instituto Politécnico da Guarda*

---

# O CONCEITO PASSIVE HOUSE

ANDRÉ DANIEL FERNANDES SEBASTIÃO

RELATÓRIO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIADO

EM ENERGIA E AMBIENTE

Dezembro/2016

## **Resumo**

A Humanidade tem vindo a utilizar quantidades de energia cada vez mais elevadas, pelo que a procura para obter este recurso se tem tornado cada vez mais dispendiosa. A previsibilidade de escassez das fontes de energia não renováveis levou a que se implantassem ações que visem a diminuição do consumo de energia. O setor dos edifícios é um dos que mais energia necessita, e por isso nas últimas décadas tornou-se um dos alvos mais identificado nesta vertente e sobre o qual recai maior preocupação ambiental. Desta forma, alcançar a sustentabilidade em edifícios torna-se num vetor de elevada importância, sendo este facto ainda mais notório quando abordamos esta temática nas cidades, onde a otimização energética pode ser amplificada. O desafio da sociedade contemporânea passa por mitigar o impacto da construção, dos materiais, equipamentos e sistemas e simultaneamente privilegiar o aproveitamento dos recursos e a poupança energética.

Assim, a construção segundo os requisitos Passive House apresenta-se como uma solução para se atingir essas reduções e para tornar os edifícios mais eficientes, já que promove a eficiência energética e um menor consumo de energia, através de medidas passivas.

## **Abstract**

Mankind has been using amounts of energy higher and higher, so this feature has become increasingly expensive. Predictability of scarcity of non-renewable energy sources led to the implantation of actions aimed at reducing energy consumption. The buildings sector is one of the more energy needs, so in recent decades has become one of the most identified and on which lies greater environmental concern targets. Thus to achieve sustainability in buildings becomes a highly important vector and be even more noticeable when we approach this issue in cities where energy optimization can be amplified. The challenge of contemporary society is to mitigate the impact of construction, materials, equipment and systems and simultaneously focus on the use of resources and energy saving.

Thus the construction according to the requirements of Passivhaus is presented as a solution for achieving such reductions and to make more efficient buildings, since it promotes energy efficiency and reduced energy consumption by passive measures.

## **Agradecimentos**

O presente projeto contou com a contribuição e apoio de várias pessoas a quem desejo expressar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Prof. Rui Pitarma, orientador deste trabalho, pela sua total disponibilidade e permanente acompanhamento, e principal incentivador à escolha do tema.

O meu agradecimento estende-se também a todos os professores do curso de Energia e Ambiente, pela contribuição e ensino ao longo destes anos académicos que me proporcionaram novos conhecimentos.

Por fim, agradeço aos meus pais, irmão, avós, família, amigos e a todos aqueles que acreditaram em mim e me transmitiram a força sem a qual eu não conseguiria chegar ao fim deste percurso académico.

## Índice Geral

Capítulo I – Apresentação e Enquadramento.....	1
1.1 – Introdução.....	1
1.2 - Objetivos .....	2
1.3 - Estrutura do projeto.....	3
Capítulo II - A Energia e o Património Edificado .....	5
2.1 O Cenário energético habitacional a nível mundial e as perspetivas futuras .....	5
2.2 O futuro da procura energética global nos Transportes e Indústria.....	7
2.3 A Evolução do consumo energético mundial .....	9
2.4 O cenário energético em Portugal .....	11
2.5 A energia no setor dos Edifícios.....	13
2.5.1 Fatores que condicionam a adoção de soluções construtivas .....	13
2.6 A eficiência energética em edifícios.....	14
2.7 O Parque Habitacional existente em Portugal .....	15
2.8 O enquadramento legal em Portugal da eficiência energética no setor dos edifícios.....	18
Capítulo III – O Conceito Passive House .....	23
3.1 O Aparecimento e Desenvolvimento do Conceito Passive House .....	23
3.2 Os Princípios associados às novas “Casas Passivas” .....	24
3.2.1 Super Isolamento .....	26
3.2.2 Redução das pontes térmicas e a envolvente opaca do edifício .....	29
3.2.3 Assegurar a Estanqueidade do ar no edifício.....	31
3.2.4 Sistema de ventilação com sistema de recuperação de calor.....	34
3.2.5 Vãos envidraçados de alta qualidade térmica e o sombreamento .....	36
3.2.5.1 Vãos envidraçados impostos pela norma e a caixilharia mais benéfica .....	39
3.2.6 Otimização dos ganhos de calor internos .....	41
3.2.7 Modelação energética de ganhos e perdas através do programa Passive House Planning Package (PHPP).....	44
3.3 Requisitos Térmicos exigidos pela norma Passive House.....	45

3.4 Certificação Passive House .....	47
<b>Capítulo IV – O Projeto Passive On e alguns Casos Práticos.....</b>	<b>50</b>
4.1 O Projeto Passive On.....	50
4.1.2 Casa Passiva tipo do Reino Unido.....	52
4.1.3 Casa Passiva tipo de Espanha.....	53
4.1.4 Casa Passiva tipo de Itália .....	55
4.1.5 A Casa Passiva tipo de França.....	56
4.1.6 Casa Passiva tipo de Portugal.....	57
4.2 A implementação do conceito Passive House em Portugal.....	59
4.2.1 Passive House em Ílhavo, Aveiro.....	59
4.2.2 Principais características construtivas da moradia B em Ílhavo.....	60
4.2.3 Requisitos térmicos e avaliação de resultados.....	62
4.3 Passive House da Costa Nova, Aveiro .....	63
4.3.1 Soluções construtivas e avaliação de resultados.....	65
4.4 Outros Exemplos de Passive House .....	66
4.4.1 Exemplo em Espanha .....	66
4.4.2 Exemplo em França .....	69
4.4.3 Exemplo na Alemanha.....	70
4.4.5 Exemplo na China .....	71
4.4.5 Exemplo no Canadá.....	73
<b>Capítulo V – Conclusões Finais .....</b>	<b>76</b>

## **Índice de Figuras**

Figura 1 - A evolução da procura energética em habitações a nível mundial.....	6
Figura 2 - A Procura energética mundial nos transportes .....	7
Figura 3 - A Procura energética mundial na Indústria .....	8
Figura 4 - Consumo total de energia primária no Mundo em 2013 .....	9
Figura 5 - Evolução do consumo mundial de energia primária, por região, em Mtep.....	10

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

Figura 6 - Evolução do consumo total de energia primária em Portugal .....	11
Figura 7 - Evolução do consumo de energia primária e final em Portugal .....	12
Figura 8 - Distribuição ao longo do século XX de novas construções EU-25 .....	16
Figura 9 - A reabilitação e conservação de edifícios face a novas construções .....	17
Figura 10 - Evolução da dependência energética em Portugal .....	20
Figura 11 - Primeira Passive House em Damstadt-Kranichstein .....	24
Figura 12 - Exemplo de Funcionamento de uma casa <i>Passiva</i> .....	26
Figura 13 - Exemplo de parede com isolamento pelo exterior .....	28
Figura 14 - Eliminação de pontes térmicas na envolvente de um edifício.....	29
Figura 15 – Termografia para identificar pontes térmicas .....	30
Figura 16 - Condensação devido a fissuras .....	31
Figura 17 - Blower-door test: representação do funcionamento do ensaio.....	33
Figura 18 - Representação esquemática de um permutador de calor .....	35
Figura 19 - Elementos que constituem um vão .....	36
Figura 20 - Ganhos solares durante o Inverno .....	37
Figura 21 - Exemplo de lamelas de sombreamento e pala horizontal e vertical.....	38
Figura 22 -Estratégias bioclimáticas na fase de conceção .....	39
Figura 23 - Aplicação do vidro Low-E .....	40
Figura 24 - Modelo da etiqueta da eficiência energética em eletrodomésticos .....	43
Figura 25 -Classes Passive House para Certificação .....	48
Figura 26 - Países parceiros do projeto ‘Passive On’ .....	50
Figura 27 - Estratégia de ventilação de verão e de inverno no Reino Unido, respetivamente.....	52
Figura 28 - Estratégia de ventilação-iluminação no verão e estratégia de aquecimento no inverno em Espanha, respetivamente .....	54
Figura 29 -Estratégia de Verão (direita) e de Inverno (esquerda) numa casa passiva em Itália ....	56
Figura 30 - Secção opcional de uma casa Passivhaus em França .....	57
Figura 31 - 3D da casa Passivhaus proposta para Portugal.....	58
Figura 32- Vista da parte exterior das Moradias A e B em Ílhavo.....	59
Figura 33 – Isolamento térmico das paredes exteriores (direita) e da cobertura (esquerda).....	60



## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

Figura 34 - Esquema de condutas de extração e insuflação de ar na moradia B .....	61
Figura 35 - Aplicação de banda betuminosa flexível na ligação da tubagem de ventilação com a parede .....	62
Figura 36 - Passive House da Costa Nova, fachada principal (esquerda) e tardoz (direita) .....	63
Figura 37 - O interior da Passive House na Costa Nova .....	64
Figura 38 - Vista 3D da nova biblioteca de Villamediana de Iregua .....	67
Figura 39 - Vista interior e exterior da biblioteca de Villamediana de Iregua .....	68
Figura 40 - Vista do edifício de habitação em Bessancourt .....	69
Figura 41 - Vista exterior (esquerda) e interior (direita) do ginásio desportivo de Unterschleissheim .....	70
Figura 42 - Passive House Bruck em Zhejiang (Shanghai) .....	72
Figura 43 - Sistema de ventilação com recuperação de calor .....	73
Figura 44 - Passive House em Victoria no Canadá .....	74

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Alguns tipos de materiais isolantes e a sua condutibilidade térmica .....	27
Tabela 2 - Classe de eficiência das janelas certificadas pela Passive House .....	40
Tabela 3 - Soluções construtivas para a envolvente opaca do edifício .....	65

O CONCEITO PASSIVE HOUSE

“Man cannot remake himself without suffering, for he is both the marble and the sculptor”.

**Alexis Carrel**

# Capítulo I

## Apresentação e Enquadramento

## **Capítulo I – Apresentação e Enquadramento**

### **1.1 – Introdução**

Nada como a energia revolucionou mais a história da civilização. Ela recua até aos primórdios da humanidade principiando com a descoberta do fogo, através do qual se tornou possível ao homem empregar a sua energia para poder cozinhar, para o aquecimento ou para iluminação. Mais tarde, descobriu-se como aproveitar outros tipos de energia primária como a energia do vento que foi muito importante na história da navegação marítima ou a energia da água, utilizada por exemplo em moinhos de água. Com o decorrer dos séculos descobriram-se novas fontes de energia e novas formas de a transformar, como a descoberta da energia a vapor que surge no eclodir da Revolução Industrial no séc. XVIII, e permitiu grande avanço na tecnologia, e um aumento exponencial do consumo de energia.

Atualmente os grandes desafios que a sociedade enfrenta passam por encontrar soluções para dois problemas que se afiguram iminentes: o risco potencial de alterações climáticas e a escassez dos recursos naturais. Para assegurar um futuro mais sustentável é essencial mitigar o impacto ambiental que a atividade humana tem sobre o planeta.

A aplicação do conceito Passive House pode ser uma das alternativas para abrandar os danos impostos pela humanidade ao planeta uma vez que procura conciliar a busca pela eficiência energética e a aposta nas energias renováveis. Regra geral, a energia passa por um ciclo que engloba as seguintes etapas: a transformação, a distribuição e o consumo. Nestes processos parte da energia é “perdida”. Considerando que a energia que chega ao utilizador final, nem sempre é toda aproveitada, torna-se fundamental atenuar as perdas. A constatação deste facto realça a importância que a eficiência pode ter na minimização dos impactos ambientais e no custo energético. A eficiência energética pode ser definida, como sendo a otimização/racionalização que se pode aplicar ao consumo de energia. Este conceito assenta na implementação de estratégias e medidas que permitam combater o desperdício de energia, princípio esse que pode ser aplicado num edifício, desde a aquisição de recursos energéticos adequados até à utilização da energia.

## **1.2 - Objetivos**

O objetivo principal deste projeto passa por apresentar e divulgar o conceito Passive House, detalhando os princípios e requisitos térmicos associados a esta norma construtiva idealizada por Wolfgang Feist e Bo Adamson, fundamentada posteriormente com as diretrizes definidas pelo Passivhaus Institut. Esta abordagem incide no âmbito da energia no sector dos edifícios e pretende averiguar de que forma a utilização de implementação de novas soluções construtivas possibilita uma maior eficiência energética. Um dos focos deste projeto será analisar a aplicabilidade do conceito a países do sul da Europa, nomeadamente Portugal, divulgando as primeiras casas passivas certificadas através desta norma, bem como procedendo á apresentação de outros exemplos na Europa e no mundo de edifícios que seguem estes padrões.

### **1.3 - Estrutura do projeto**

O presente Projeto encontra-se estruturado em cinco capítulos, onde cada um dos quais se evidencia pela abordagem de uma temática específica relacionada com o conceito Passive House.

O capítulo 1 incide na apresentação e enquadramento do tema, identificando os principais objetivos do projeto.

No capítulo 2 é abordada a temática da energia e o património edificado, onde se avalia o consumo energético em Portugal e a nível mundial. De entre os vários aspetos tratados estão a eficiência no setor dos edifícios, os fatores que condicionam a adoção de soluções construtivas e enquadramento legal da eficiência energética no setor dos edifícios em Portugal.

No capítulo 3 apresenta-se o conceito Passive House onde são enumerados os princípios e os requisitos térmicos impostos pela norma, expondo também o processo de certificação.

No capítulo 4 o assunto discutido é relativo á definição das diretrizes que a norma Passive House adota para países do sul da Europa, através do Projeto Passive On. Neste capítulo é referido também como foi feita a implementação do conceito em Portugal, expondo as primeiras casas passivas construídas. Nesta vertente aborda-se também outros exemplos de Passive Houses.

No capítulo 5 são sistematizadas todas as conclusões principais obtidas com o trabalho desenvolvido.

# **Capítulo II**

## **A Energia e o Património Edificado**

## Capítulo II - A Energia e o património edificado

### 2.1 O Cenário energético habitacional a nível mundial e as perspetivas futuras

Os recursos energéticos são atualmente o foco dos interesses estatais, originando disputas geopolíticas desde a primeira Revolução Industrial no século XVIII, ocorrida na Inglaterra. Na segunda metade do século XX, com a expansão do meio urbano e industrial, primeiramente na Europa e Estados Unidos e depois estendendo-se á América Latina e Sudeste Asiático no início do século XXI, assistiu-se a um aumento exponencial da procura energética em consequência do aumento populacional. Nos últimos anos, a questão energética traz novas discussões: agências internacionais, nações e a sociedade, debatem sobre a temática do consumo, os recursos naturais, mudanças climáticas e, principalmente, a segurança energética [1].

A energia relaciona-se com as pessoas, isto é com cada individuo e com a sociedade no seu global. As previsões a longo prazo apontam que a população mundial passe dos atuais 7 biliões para os 9 mil milhões de habitantes em 2040, bem como que a economia mundial duplique. É por isso previsível que a classe média se torne mais numerosa e procure um modo de vida confortável, que conduzirá à inevitável subida da procura energética que contudo se supõe que seja de alguma forma travada devido ao aumento da eficiência e dos avanços tecnológicos. Os sinais de pressão sobre o planeta poderiam ser, por isso, mais significativos. Contudo, a tendência relativa à procura de fontes de energia é algo que não se altera facilmente, sendo expectável que as fontes tradicionais, petróleo, carvão e gás natural, ainda sejam maioritárias no futuro mais imediato [3].

As próximas décadas irão forçar todavia a mudança de paradigma, uma vez as energias renováveis surgiram como a principal solução para mitigar a dependência energética. Atualmente, a percentagem de energia europeia obtida com base em fontes renováveis situa-se nos 13%. A maioria das energias renováveis permitem obter eletricidade a partir de soluções descentralizadas, contudo, sob o ponto de vista económico, exigem maior investimento inicial [7]. Mesmo que o capital financeiro investido seja superior, as energias renováveis – eólica *onshore* e *offshore*, solar fotovoltaica e solar térmica ou ainda ondas/marés – possuem vantagens significativas, ao terem menores riscos face à volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis e permitindo reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.



## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

Através do gráfico abaixo representado é possível observar que os maiores destaques relativos à procura de energia referentes às habitações, e considerando um cenário futuro de 2040, são para a Índia e a China - que serão os dois países mais populosos do mundo - dos quais se antecipa a maior subida referente à procura energética que deverá situar-se nos 450 e 500 Quadrilhões de BTUs (*British thermal unit*, 1 BTU=1055 J) respetivamente.

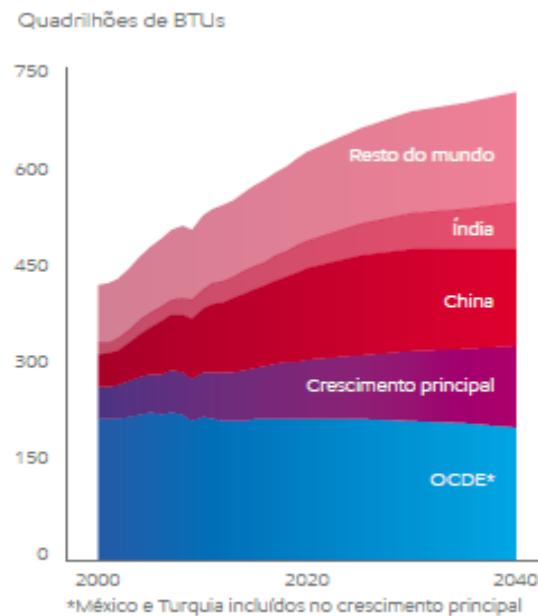


Figura 1 - A evolução da procura energética em habitações a nível mundial [3]

Em relação aos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) é esperado que a procura energética se mantenha constante até 2040. Os principais fatores que explicam essa estabilidade são: A OCDE engloba os Estados Unidos bem como a grande maioria dos países da Europa, onde se verifica um menor crescimento populacional, possuem a tecnologia mais avançada e os padrões de vida e consumo de energia *per capita* já são relativamente altos o que permitirá uma maior eficiência energética.

As habitações irão notar uma mudança contínua em direção à eletricidade e ao gás natural, deixando de fazer uso dos combustíveis de biomassa, como madeira, que ainda atualmente são responsáveis por aproximadamente 40% das necessidades mundiais de energia residencial. A

eletricidade é a forma de energia final que regista o crescimento mais rápido, podendo contribuir de forma decisiva para a redução de combustíveis fósseis no combinado energético mundial.

Esta mudança de paradigma irá possibilitar que as pessoas residentes nos países em desenvolvimento melhorem os seus padrões de vida, sem necessariamente aumentar a utilização global de energia.

## 2.2 O futuro da procura energética global nos Transportes e Indústria

O panorama futuro relativamente aos transportes calcula um crescimento que duplique o número de veículos ligeiros que existem atualmente, passando de cerca de 800 milhões, para perto de 1,7 mil milhões em 2040. Esta estimativa é apoiada pelo crescimento mundial da população e o conseqüente maior número de pessoas de países em desenvolvimento que irão adquirir maior capacidade financeira que lhe possibilitara comprar mais automóveis. Contudo, o aumento do número de veículos ligeiros será atenuado pelo facto de que os próprios veículos se tornarem mais eficientes no consumo de combustível, como é observável no gráfico da figura 2 [3].

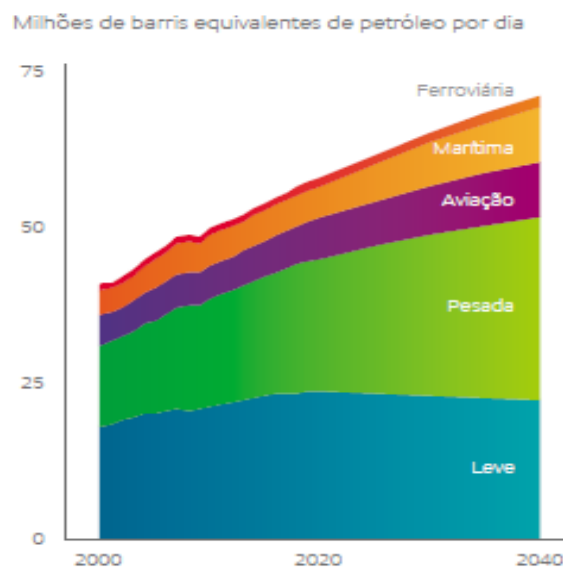


Figura 2 - A Procura energética mundial nos transportes [3]

É expectável que em 2040 os veículos híbridos representem 35% do total de veículos ligeiros e que a sua eficiência média passe de 9,8 litros/100 km para 5,1 litros/100 km. No que se refere ao transporte comercial (camiões, aviões, navios e comboios), a procura energética poderá aumentar até 70% até 2040, impulsionado pelo crescimento previsto da atividade económica e pelo aumento associado à circulação de bens e mercadorias.

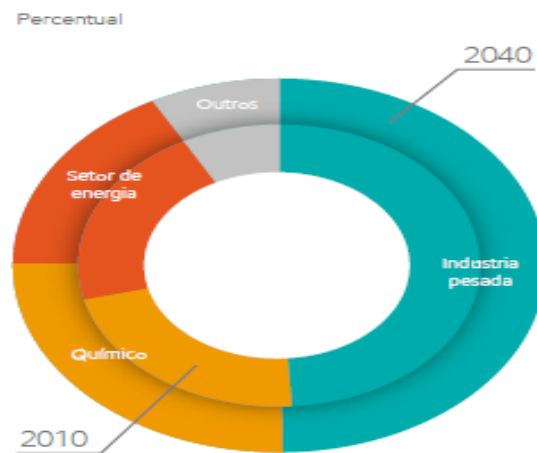


Figura 3 - A Procura energética mundial na Indústria [3]

A expansão futura das infraestruturas urbanas irá criar uma nova corrida para a obtenção de mais bens materiais como o aço, cimento e outros bens industriais de alto consumo energético. O crescimento urbano é razão principal que explica o aumento da procura global de energia para o setor industrial, que deverá aumentar 1/3 até 2030, com o crescimento a estar concentrado em países não membros da OCDE, como a China e o Brasil [3].

O consumo global de energia industrial será fortemente impulsionado pelo setor de produtos químicos, onde se prevê um maior aumento da procura, isto porque as empresas químicas empregam a energia de duas formas, como combustível e como matéria-prima, com o petróleo e o gás natural líquido como constituinte.

Neste cenário relativo à procura energética no setor industrial, pode-se constatar que o aumento será quase inevitável para fazer face aumento da população, fazendo dilatar

numericamente o valor do combustível para a agricultura bem como incremento na procura de energia para pavimentar um maior número de vias de comunicação [3].

### 2.3 A Evolução do consumo energético mundial

A energia desempenha um papel crucial na economia e no progresso e desenvolvimento da sociedade. Todavia, esta observação indiscutível, não fundamenta um crescimento sem controlo, quer na procura quer da oferta de energia. Atualmente, podemos constatar, com base em relatórios e pesquisas científicas, que o planeta é afetado pela procura energética cada vez mais intensa, o que coloca em cima da mesa questões de custo e segurança do abastecimento energético.

No último século o consumo energético mundial não parou de aumentar, com a exceção dos momentos em que se registaram crises petrolíferas de 1973 e em 1978/1983 no Médio Oriente devido ao conflito, Israelo-Árabe, onde se verificou um decréscimo de consumo uma vez que a economia foi abalada [8].

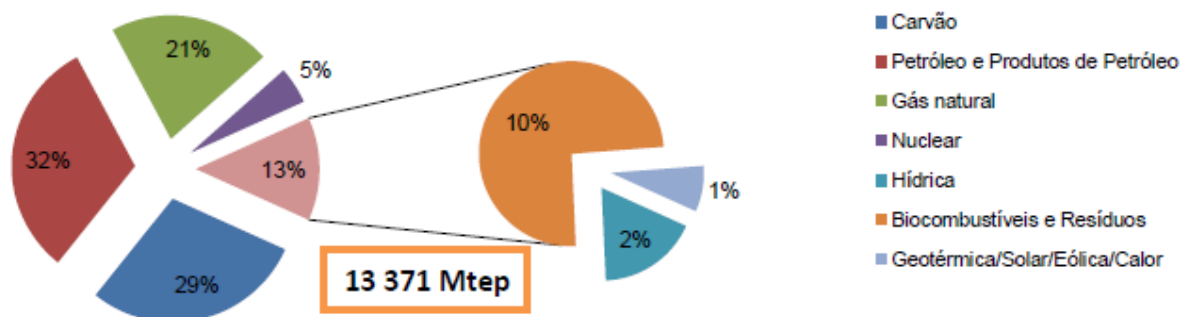
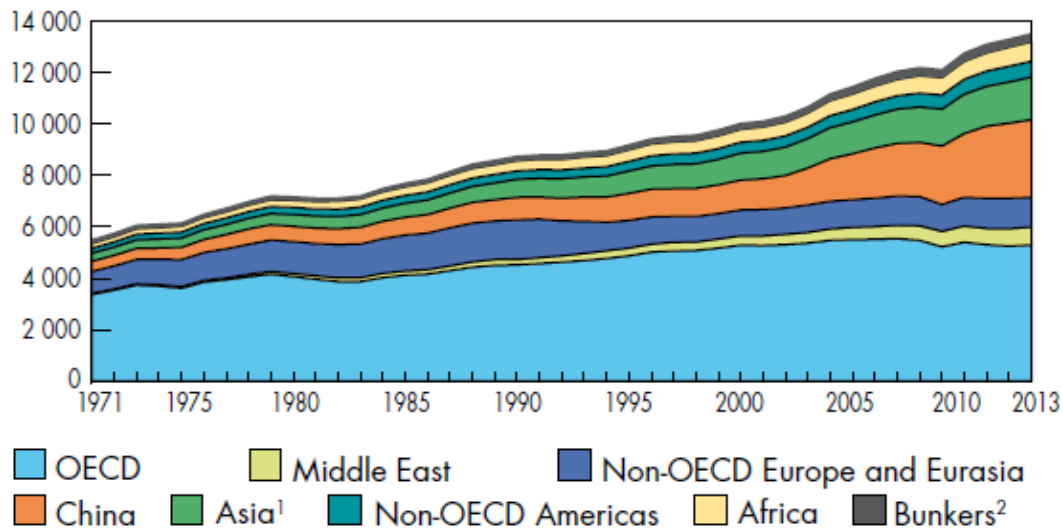


Figura 4 - Consumo total de energia primária no Mundo em 2013 [8]

Após os dois períodos de crise petrolífera, em que o consumo de energia primária estagnou, nas décadas que se seguiram registou-se um aumento contínuo, mais que duplicando o valor de 6106 Mtep registado em 1973 para 13371 Mtep em 2013.

Na figura 4 podemos observar a origem da energia primária (energia que não sofreu qualquer transformação ou conversão) consumida pela Humanidade, onde o claro destaque vai para os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) que representam ainda a fonte maioritária de obtenção de energia com cerca de 81,7% do total. A restante percentagem distribui-se pela energia obtida através de fontes renováveis, com 13,5%, e a energia nuclear com 5% [8].



1. *Asia excludes China.* 2. *Includes international aviation and international marine bunkers.*

Figura 5 - Evolução do consumo mundial de energia primária, por região, em Mtep [6]

Segundo os dados obtidos pelo gráfico da figura 5, que retrata a evolução do consumo mundial de energia primária por região, podemos verificar que a maior fatia de consumo energético pertence ao conjunto dos países OCDE. Apesar disso, este conjunto de países perdeu parte do peso relativo que detinha, no que se refere ao total do consumo energético mundial de energia primária que em 1973 era de 61,3%, sendo que em 2013 representou 39,2 % da energia primária consumida no mundo [6].

O maior realce vai para o crescimento progressivo da China, que no período de tempo considerado, 42 anos entre 1971 e 2013, passou de cerca de 500 Mtep para quase 3000 Mtep. A nova potência asiática fez disparar o seu consumo energético, onde as necessidades ávidas de energia são alicerçadas na sua população numerosa, mais de 1 mil milhões de habitantes, bem como o facto de ser essencial para sustentar a segunda maior economia mundial em termos PIB nominal apenas atrás dos Estados Unidos da América.

## 2.4 O cenário energético em Portugal

O consumo energético em Portugal tem sofrido oscilações ao longo das duas últimas décadas, e a maior evidência é a descida da procura de energia através do petróleo e do carvão, que desde 2005 baixou consideravelmente, em contraste com a subida das fontes de energia renovável e o gás natural, como observamos através do gráfico da figura 6.

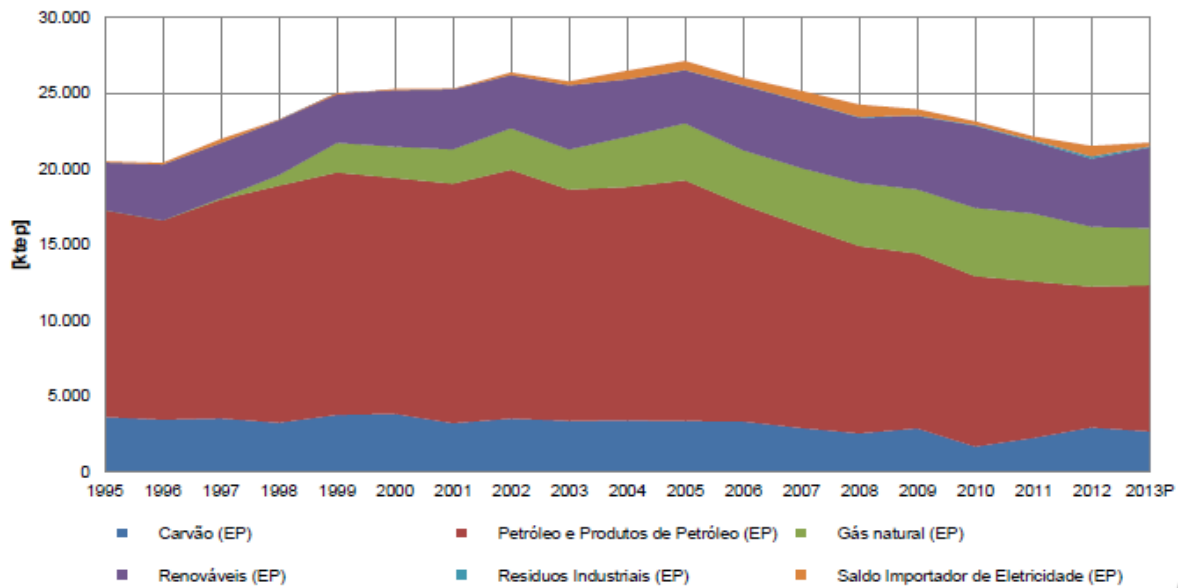


Figura 6 - Evolução do consumo total de energia primária em Portugal [8]  
 Dados da referência: DGEG, 2015

No ano de 2013, os dados indicam que o petróleo e os seus derivados representam 44,4 % do consumo de energia primária em Portugal e as fontes renováveis 24,5%. O restante consumo reparte-se pelo gás natural 17,4%, pelo carvão 12,2%, o saldo importador de eletricidade 1,1% e resíduos industriais com apenas 0,4% e portanto sem expressão no gráfico acima [9].

Da análise da figura 6 constata-se que o consumo de energia primária desceu significativamente entre 2005 e 2013, passando de 27,087 ktep para 21,704 ktep, como se pode observar na figura 6.

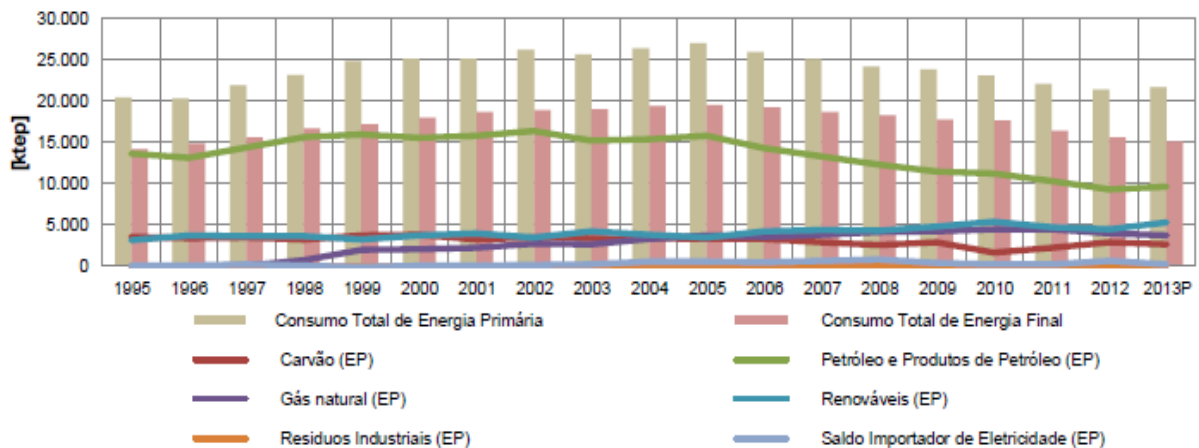


Figura 7 - Evolução do consumo de energia primária e final em Portugal [8]

Relativamente ao consumo de energia final, e procedendo à comparação do ano de 2005, durante o qual se registou o maior consumo de total de energia final de Portugal com 19.579 ktep, em 2013 verifica-se a tendência de descida já observada anteriormente no que respeita ao consumo de energia primária, (uma redução de aproximadamente 23%) apresentando um consumo de 15,167 ktep.

Com base no gráfico da figura 7 é possível reconhecer que a estrutura de consumo final de energia em Portugal encontra-se assente no petróleo e produtos derivados, que são ainda maioritários no consumo, com uma quota de 48% do total em 2013. No entanto, esta parcela tem decrescido nas últimas duas décadas, baixando significativamente a cota no mercado de energia. A eletricidade representa atualmente cerca de um 25,6% de cota, seguido do gás natural que

representa cerca de 10%. O restante consumo reparte-se pelo calor 9%, pelas renováveis 6,7% e outros 0,6% [9].

## **2.5 A energia no setor dos Edifícios**

Atualmente constata-se que o consumo energético associado ao setor dos edifícios é muito elevado. Na União Europeia (EU) este representa 40% da energia final consumida superando o setor dos transportes e da indústria e, nesse sentido, a EU aborda esta temática como prioritária, estabelecendo nos últimos anos diretivas com o intuito de aumentar a eficiência energética dos edifícios, através da redução do consumo de energia e da promoção da utilização de energias renováveis [10]. O objetivo central é tornar o novo património edificado mais eficiente e, para isso, a partir de 2018 aplicar-se-á aos novos edifícios públicos a nova diretiva europeia. A partir de 2020 a mesma será dirigida a todos os novos edifícios, por forma a implementar o padrão NZEBs (Nearly Zero Energy Buildings), isto é “edifícios com necessidades quase nulas de energia”, de acordo com a tradução adotada para Portugal da Diretiva 2010/31/EU por forma a diminuir a dependência energética dos combustíveis fósseis.

### **2.5.1 Fatores que condicionam a adoção de soluções construtivas**

Para almejar a meta de “energia quase zero”, é fundamental entender que o setor dos edifícios abrange diversas áreas, não se referindo apenas a fatores construtivos mas sim a aspetos que são transversais a toda a logística de um edifício. A sustentabilidade neste setor é algo que se deve perseguir, sendo primordial a análise de outras componentes relativas à integração da estrutura no meio ambiente. Somente a incorporação racional e multidisciplinar de várias especialidades, que estão incluídas durante a fase de projeto, construção e exploração de edifícios, permitirá encontrar as melhores soluções que possibilitem o melhor: conforto, desempenho e eficiência energética.

Os principais fatores a ter em consideração relativamente à procura das melhores soluções que permitam a máxima eficiência energética de um edifício são: o clima, a forma e orientação do



edifício, a envolvente, o isolamento térmico, a iluminação, a ventilação e a utilização de equipamentos eficientes [11] [12]. O impacto do edifício pode ser atenuado através da observação e adoção de soluções construtivas passivas (arquitetura), ativas (climatização e iluminação artificial) e combinar tecnologias de produção energética renovável (preferencialmente locais), de uma forma eficiente e competitiva [11].

## **2.6 A eficiência energética em edifícios**

A UE definiu a eficiência energética como uma das grandes prioridades por três razões principais: (i) a segurança de abastecimento, pois a dependência energética externa pode aumentar significativamente, estimando-se que pode cifrar-se em 70% em 2030 se nenhuma medida for tomada; (ii) a proteção do ambiente, uma vez que a produção e utilização de energia são responsáveis por 94% das emissões de CO<sub>2</sub>; (iii) as opções na oferta de energia são limitadas, sendo que a União Europeia pode atuar na procura energética, forçando a diminuição do consumo energético.

O setor dos edifícios ocupa, como foi anteriormente visto, uma percentagem elevada no consumo de energia. Devido a este peso considerável, existe um vasto campo a ser explorado com vista a implementar políticas e novas metodologias que possibilitem uma poupança energética expressiva, sendo, deste modo, um sector estratégico para a mudança de paradigma do consumo energético. A conjuntura atual requer por isso que o sector dos edifícios adquira e execute novas práticas e técnicas na construção e que haja um investimento muito significativo em novas tecnologias. No sector residencial, estima-se que 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 [5].

A International Energy Agency definiu, como medidas onde se podem introduzir melhorias no sector edifícios, os seguintes pontos:

- 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.

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

- O seu âmbito incide sobre todos os edifícios independentemente do seu tamanho;
- Todos os novos edifícios deverão ser edifícios 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 edifícios 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 edifícios.

Os edifícios devem ser encarados como sistemas térmicos, ou seja como elementos com características de transmissão e de armazenamento de energia. Assim, melhorando energeticamente a sua envolvente obteremos um sistema térmico mais eficiente e, como tal, poderão ser satisfeitas as condições de conforto dos seus ocupantes com um consumo de energia reduzido.

## **2.7 O Parque Habitacional existente em Portugal**

O parque edificado em Portugal é dos mais recentes na Europa, quando comparado com os restantes países da UE (como é observável no gráfico da figura 8), pois cerca de 61% dos

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

edifícios tem idade inferior a 40 anos e 29% com idade inferior a 20 anos. O número de edifícios construídos em Portugal após 1981 correspondia a cerca de 44% do total de edifícios. Nesse mesmo ano 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, segundo dados do Instituto Nacional de Estatística.

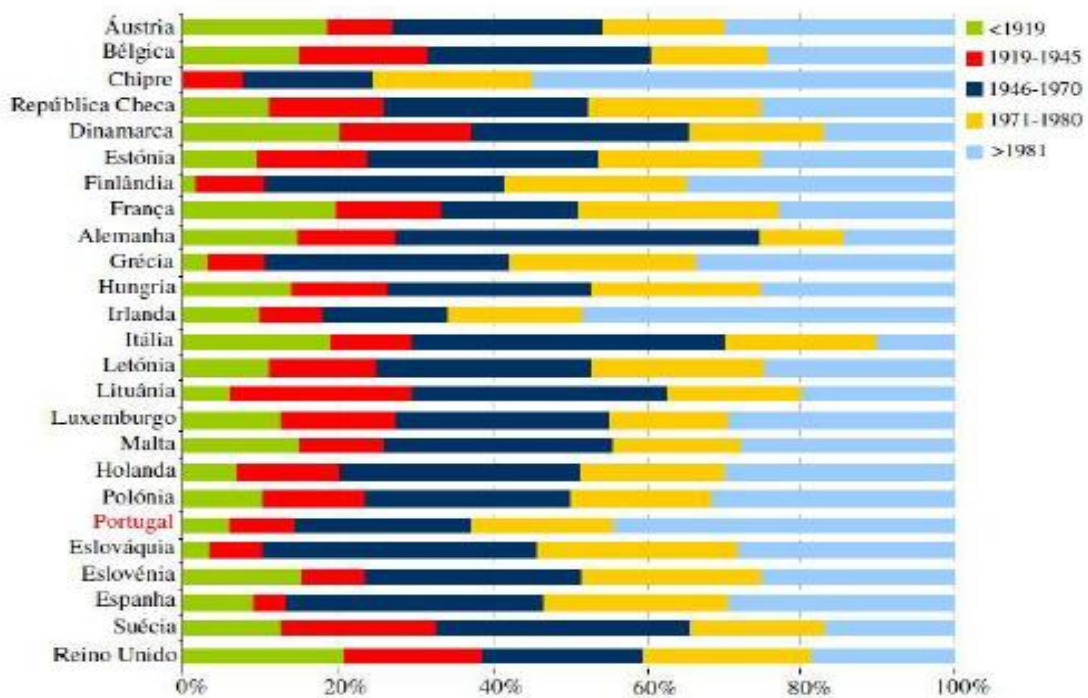


Figura 8 - Distribuição ao longo do século XX de novas construções EU-25 [5]

O crescimento do sector da construção foi particularmente expressivo durante a década de 1990, com um crescimento acentuado do mercado imobiliário. Contudo, atualmente verifica-se que o desenvolvimento e construção de novos edifícios sofreu uma queda abrupta desde o início do século XXI. Se associarmos esta evidência a outros fatores como os elevados consumos energéticos dos edifícios em Portugal e a urgência de obras de reabilitação em edifícios degradados, podemos concluir que o trilho terá de passar pelo aumento do peso da reabilitação no sector da construção e da eficiência energética. 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, atuando 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 [5] [13].

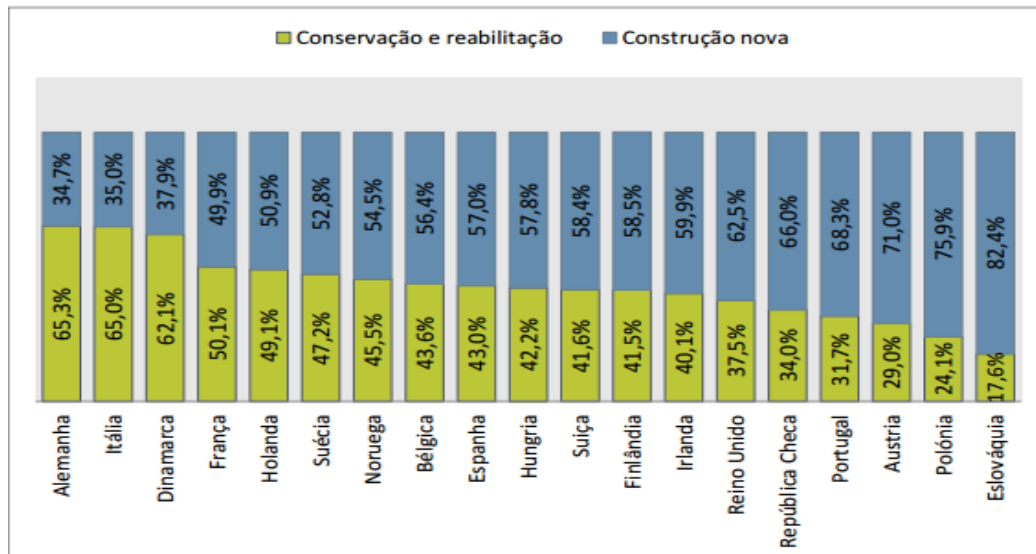


Figura 9 - A reabilitação e conservação de edifícios face a novas construções [13]

Através dos dados do gráfico da figura 9, pode-se verificar que países como a Alemanha, Itália, Dinamarca e França lideram o “ranking” na Europa, no que concerne à aposta na conservação e reabilitação de edifícios face a novas construções, ultrapassando a média europeia de 50% referente a esta temática. Em Portugal, porém, conta-se que o valor é muito mais baixo, ficando-se pelos 31,7%. A reabilitação térmica e energética de edifícios pode ser uma estratégia auspiciosa, possibilitando baixar o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, contribuindo para a redução das necessidades energéticas do País. A reabilitação energética de edifícios tem como objetivo aumentar o conforto dos ocupantes e diminuir o consumo energético. As medidas que podem proporcionar este desfecho são as seguintes: a reabilitação geral e de fachadas, o isolamento térmico, a impermeabilização de coberturas e a pintura do edifício.

## **2.8 O enquadramento legal em Portugal da eficiência energética no setor dos edifícios**

Em Portugal, a abordagem legislativa à temática da eficiência térmica e energética começou a ser debatida em 1990 com promulgação do Decreto-Lei nº40/90 de 6 de Fevereiro, que deu origem ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). O RCCTE instituiu regras aplicadas a todos os edifícios de habitação e serviços com o intuito de assegurar as exigências de conforto térmico, para aquecimento ou arrefecimento ambiente, de ventilação, para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, e das necessidades de água quente sanitária (AQS) de modo que estas possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia [5] [14] [15].

O enquadramento legislativo em Portugal relativo a esta matéria pressupõe a observância das diretivas europeias emanadas pelo Parlamento Europeu e Conselho Europeu. Portugal como membro da EU define depois a estratégia nacional, em concordância com essas diretivas. Na prossecução da diretiva europeia 2002/91/CE, em 2006 Portugal implementou três Decreto-Lei, com vista a impulsionar o desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, que foram os seguintes [9] [5]:

- 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, que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) substituindo o Decreto-Lei nº 119/98;
- O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), substitui o Decreto-Lei nº 40/90.

Em 2008 Portugal implementou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015 (PNAEE), através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008

de 20 de Maio com base na Diretiva n.º 2006/32/CE e com o objetivo de encontrar medidas que promovessem a eficiência energética em quatro áreas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado, com uma perspetiva provisória até ao ano de 2015 [9].

Em 2010, procedeu-se à revisão dos decretos-leis n.º 78/2006, 79/2006 e n.º 80/2006 no âmbito da aplicação da nova diretiva europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios. Com a aplicação da nova abordagem conferida pela Diretiva 2010/31/EU, de 19 de maio designada “Energy Performance of Buildings Directive”, que entrou em vigor em 2012 e trouxe novidades e novos objetivos, entre os quais o conceito de “edifícios com necessidades quase nulas de energia”, obrigando a que, “o mais tardar em 31 de dezembro de 2020, todos os novos edifícios tenham desempenhos energéticos muito elevados”. Portugal procedeu á transposição da nova diretiva comunitária para a legislação nacional com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que passou a ser uma ferramenta essencial na avaliação da eficiência energética dos edifícios em Portugal. Este diploma introduziu mudanças importantes relativamente aos anteriores, entre as quais destacam-se as seguintes [9]:

- É um diploma único, onde estão contidos o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – REH (correspondente ao antigo RCCTE) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços – RECS;
- Desde 1 janeiro de 2009, que qualquer edifício, novo ou existente, deve possuir um certificado válido de desempenho energético, o qual será de apresentação obrigatória aquando da celebração do respetivo contrato de compra, locação ou arrendamento. Este diploma acrescenta a obrigatoriedade dos proprietários de frações ou edifícios (extensível também aos promotores ou mediadores) indicarem a classificação energética dos mesmos, contante do respetivo pré-certificado ou certificado SCE em qualquer anúncio publicado com vista à sua venda ou locação ou arrendamento. Dependendo do tipo de edifício ou fração existem dois tipos de certificados, um de habitação e outro de comércio e serviços.

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

- A ventilação natural passa a ser favorecida em relação aos equipamentos de ventilação mecânica para assegurar uma melhor qualidade do ar interior. Passa também a ser importante a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de proteção para concentrações de poluentes do ar interior.
- Nos edifícios já existentes o certificado energético presta informação sobre as medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior, com viabilidade económica.
- Nos novos edifícios a certificação energética permitirá provar a aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior no imóvel, a obrigatoriedade de instalar sistemas de energias renováveis e obtenção de informação sobre o seu desempenho energético.

Neste mesmo ano de 2010, Portugal implementou um novo plano de ação referente á energia. A nova Estratégia Nacional para a Energia (ENE) foi aprovada através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010 de 15 de Abril, que estará ativa até 2020. A ENE 2020 assume como objetivos central o seguinte: criar uma agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética que atualmente se cifra nos 73,9%, como é visível no gráfico da figura 10, percentagem que tem baixado nos últimos anos. Contudo, assume ainda valores muito elevados [16].

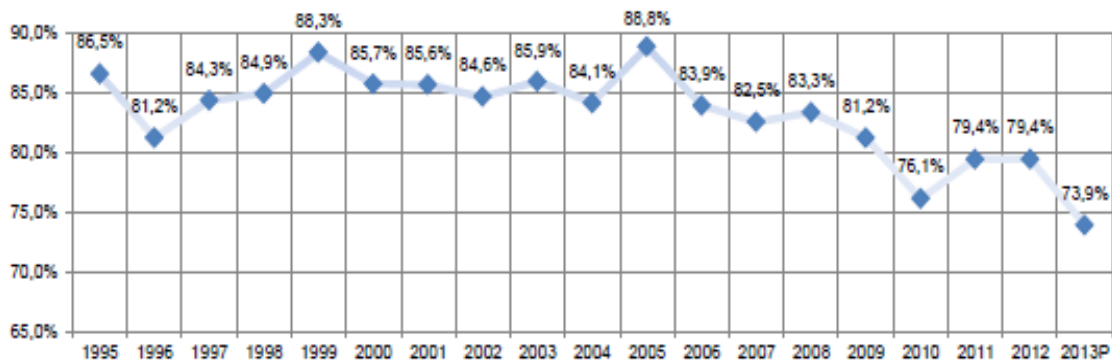


Figura 10 - Evolução da dependência energética em Portugal [8] [9]

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

Para alcançar as metas acima enunciadas, a ENE 2020 propõe uma aposta nas energias renováveis, diminuindo a dependência face aos combustíveis fósseis, a promoção da eficiência energética, a garantia da segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental. A nova abordagem energética prevê como objetivos mais ambiciosos a atingir, os seguintes: 31% de fontes de energia renovável no consumo de energia final, redução de 20% do consumo de energia final, obter 60% do consumo final bruto de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis (FER) [16] [17].



# Capítulo III

## O Conceito Passive House

## **Capítulo III – O Conceito Passive House**

### **3.1 O Aparecimento e Desenvolvimento do Conceito Passive House**

As crises petrolíferas 1973 e de 1978/1983 ativaram uma preocupação global que até então passara despercebida, a finitude e a excessiva dependência dos combustíveis fósseis. Estes factos tomaram de assalto a consciência mundial para a necessidade de procurar novas fontes de energia. A conceção de soluções energéticas alternativas passou a ser algo ponderado, e nesse sentido procedeu-se á criação de novos processos e metodologias que permitissem maximizar a eficiência energética. No que se refere aos edifícios, as investigações passaram a centrar-se em adotar e obter as melhores condições interiores de acordo com as estações do ano, através da integração de várias componentes entre as quais: a manipulação da forma do edifício, a dimensão e disposição de vãos e o desempenho térmico dos materiais, o designado desenho passivo. O desenho passivo é uma visão global, aberta a diversos tipos de interpretações que variam de acordo a localização e o tipo de clima, com o objetivo de minimizar o consumo energético de combustíveis fósseis, utilizados no aquecimento, ventilação, iluminação e arrefecimento [20].

Assente sobre este princípio aparece o conceito Passive House, desenvolvido pelo investigador alemão Wolfgang Feist no Passivhaus Institut (PHI) e por Bo Adamson da Universidade de Lund, Suécia. Esta ideia foi abordada através de um projeto de investigação denominado Passive House Preparatory Research Project iniciado em 1988. Em 1991, como resultado de um projeto elaborado por um grupo de cientistas liderados por Wolfgang Feist, foi concluída a elaboração de um edifício experimental em Darmstadt-Kranichstein, no centro da Alemanha (Figura 11) [20].



Figura 11 - Primeira Passive House em Damstadt-Kranichstein [20]

A construção da primeira Passive House em Damstadt-Kranichstein deu-se na sequência do projeto de investigação Passive House Preparatory Research Project, onde foram aplicados os seguintes princípios: a definição de janelas com caixilharia com isolamento térmico e vidros triplos orientadas a Sul, a redução de pontes térmicas, os elevados níveis de isolamento e o controlo da qualidade do ar interior, através do sistema de ventilação com recuperação de calor [5] [20]. Na Europa, estima-se que atualmente existam 32 mil edifícios com esta marca. Países e cidades, como a Áustria ou Frankfurt, adotaram esta norma como obrigatória. O conceito Passive House pretende ser adaptável a todos os tipos de clima, com mais de 55 mil edifícios certificados em todo o mundo, número que tem crescido de forma significativa na Ásia, América do Norte e Europa, com Portugal incluído [18].

### **3.2 Os Princípios associados às novas “Casas Passivas”**

O conceito de casa passiva, definido pelo PHI, é “um edifício no qual o conforto térmico (ISO 7730) pode ser alcançado apenas através do aquecimento ou arrefecimento posterior da massa de ar novo que é exigida para alcançar as condições suficientes da qualidade do ar interior, sem ser necessária uma recirculação adicional do ar”.

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

As novas “Casas Passivas” podem ser uma das soluções que permitem a partir de 2020 fazer face às exigências da UE relativamente à eficiência energética. A Diretiva 2010/31/EU prevê a implementação de “edifícios com necessidades quase nulas de energia” e a aplicação deste conceito pode ser uma resposta. A metodologia que suporta o conceito de “Casas Passivas” privilegia essencialmente a melhor solução construtiva que possibilite obter um sistema de aquecimento e arrefecimento eficiente. Esta norma dá assim grande importância aos fatores passivos da construção do edifício, isto é a racionalização dos consumos começa rigorosamente com requisitos muito apertados na fase da conceção e construção do imóvel. A procura do equilíbrio entre o isolamento térmico e a captação solar é também um dos grandes objetivos. Quanto maiores forem os ganhos energéticos “passivos”, menores serão as quantidades de calor adicionais necessárias. O correto isolamento térmico garantirá que o calor pretendido permaneça no interior e o indesejado no exterior. A utilização de um sistema de ventilação que fornece ar novo constante ao interior, aliado a um sistema de recuperação de calor de elevada eficiência permite que o calor existente no ar e que é extraído seja reutilizado.

Relativamente à aplicação de um modelo assente nas energias renováveis, este irá atuar como complementar e a sua escolha estará dependente da localização e clima onde o edifício se encontra inserido. Contudo, a seleção de um modelo de energias renováveis é facultativa. [18] [19].

Com o intuito de obter o objetivo final da eficiência, que caracteriza o conceito Passive House, procura-se diminuir a energia despendida para o aquecimento e arrefecimento, mantendo os padrões de qualidade e conforto interior. A norma firma-se em sete princípios principais, que são inerentes à construção de qualquer Casa Passiva (figura 12), que de seguida se enunciam:

- Super isolamento;
- Redução das Pontes Térmicas e a envolvente opaca do edifício;

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

- Assegurar a Estanqueidade ao ar no edifício;
- Sistema de ventilação com sistema de recuperação de calor;
- Vãos envidraçados de alta qualidade térmica e o sombreamento;
- Otimização dos ganhos de calor internos;
- Modelação energética de ganhos e perdas através do programa Passive House Planning Package (PHPP);

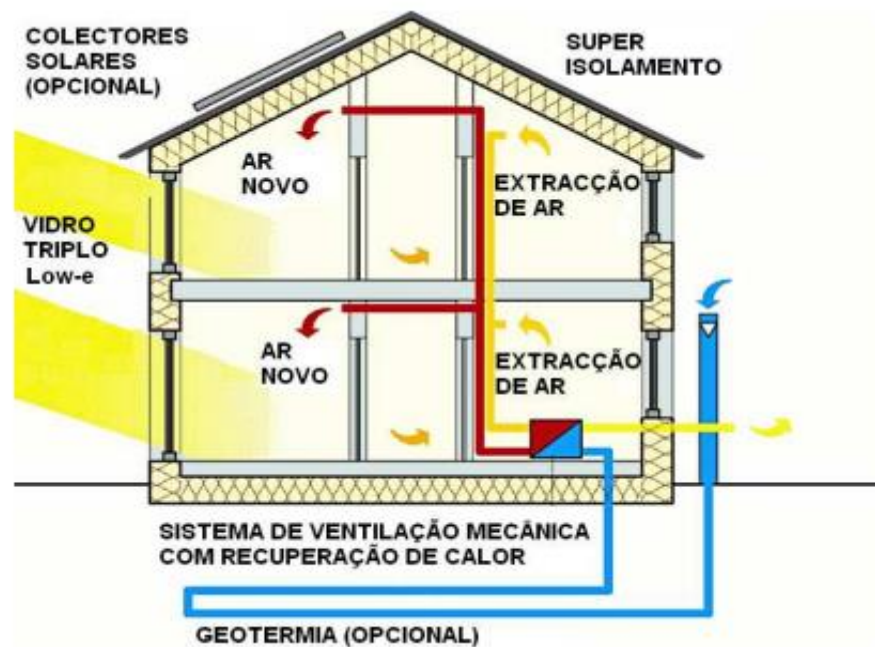


Figura 12 - Exemplo de Funcionamento de uma casa *Passiva* [21]

### 3.2.1 Super Isolamento

O correto isolamento da envolvente do edifício é essencial para minimizar as perdas de energia, pelo que os valores de  $U$  [ $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ] (coeficiente de transmissão térmica: representa o fluxo de calor por hora em watt por metro quadrado para uma diferença de temperatura de  $1^\circ C$  entre o interior e o exterior) para a envolvente opaca não deverão ser superiores a  $0,15 W/m^2 \text{ } ^\circ C$  (para as condições climáticas do centro e norte da Europa). Para os países do sul da Europa, onde se

insere Portugal os requisitos climáticos exigem que o valor de U deve compreender-se entre 0,23 e 0,32 W/m<sup>2</sup> °C [22].

Um bom isolamento tem com finalidade impossibilitar a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior do edifício, isto é impede as perdas térmicas durante os meses frios, e o sobreaquecimento durante meses quentes. Para seleccionar o melhor isolamento térmico deve-se considerar como relevante a condutibilidade térmica dos materiais. A análise deste valor permite perceber a quantidade de calor que se dissipa pela envolvente, sendo que quanto menor for o valor, melhor será o isolamento pois o calor perdido é menor. Na tabela seguinte pode-se observar alguns dos materiais mais utilizados para isolar uma habitação [10] [30]:

Tabela 1 - Alguns tipos de materiais isolantes e a sua condutibilidade térmica [10]

Isolantes	$k$ [W/m. °C]
Poliestireno extrudido – CO <sub>2</sub> blowing (XPS)	0,034
Poliestireno extrudido – HFC (XPS)	0,030
Poliestireno expandido (EPS)	0,040
Lã de vidro	0,036
Lã de rocha	0,040
Poliuretano (PUR)	0,028

O isolamento pelo exterior é a melhor opção a adotar num edifício, para que este cumpra os requisitos Passive House, uma vez que garante mais vantagens, designadamente as seguintes: maior inércia térmica no interior do edifício (caracterizada pela capacidade interior de armazenamento de calor que depende da massa superficial útil dos elementos de construção) com a utilização de materiais como o betão armado, paredes de tijolo ou blocos de betão de alta densidade, redução da espessura dos elementos construtivos, a poupança energética e o aumento do conforto térmico interior [24].

As paredes exteriores constituem um elemento crucial para atingir a meta da eficiência, estas apresentam a maior área de contacto com o exterior e por isso são locais mais propícios para ocorrem permutações de calor entre o ambiente interior e exterior. As perdas energéticas que resultam das paredes exteriores podem significar 25% a 30% das perdas totais num edifício [10]. É por isso fundamental definir como proceder ao isolamento das paredes. Vigoram dois métodos

distintos: o isolamento interior e o isolamento exterior. Contudo, no âmbito de obter uma Passive House, como anteriormente visto, o ideal será eleger o isolamento pelo exterior (Figura 13), que apresenta um conjunto de benefícios mais favorável ao edifício.

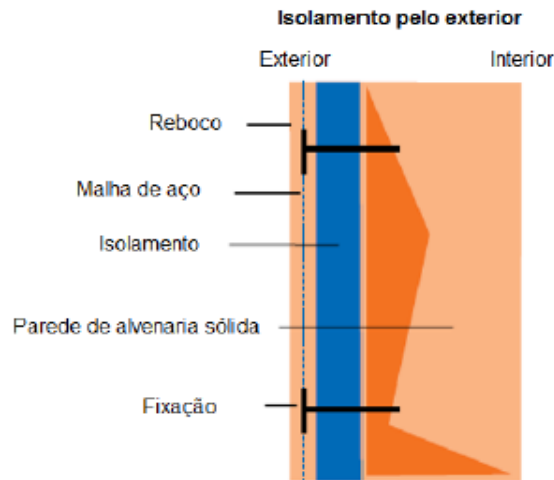


Figura 13 - Exemplo de parede com isolamento pelo exterior [10]

De entre as vantagens já enunciadas, este método também pode conferir os seguintes proveitos: a proteção da estrutura do edifício, uma vez que a parede vai estar resguardada face às condições atmosféricas, funcionando a parede interior como um reservatório térmico, absorvendo calor durante o dia e libertando-o durante a noite, reduzindo assim as flutuações de temperatura da casa durante o dia, bem como a redução de pontes térmicas (zonas de ligação entre diferentes elementos da envolvente de um edifício). Os materiais mais empregues neste tipo de isolamento são a lã mineral ou poliestireno expandido (EPS), sendo que ainda podem ser revestidos com uma rede de fibra de vidro ou malha de aço para fortalecer e ganhar resistência ao impacto [21] [10].

A aplicação de janelas eficientes também se encontra inserida nesta temática, isto porque constituem o elo mais fraco no que se refere ao comportamento térmico do edifício. As janelas são por isso um dos elementos construtivos que mais necessita de proteção relativamente à envolvente exterior, à qual se encontra exposta. As janelas eficientes das Passive Houses deverão apresentar um coeficiente de condutibilidade inferior a  $0,80 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , para que se consigam obter temperaturas superiores a  $17^\circ\text{C}$  junto à sua superfície [20]. Na Europa central as janelas

devem possuir vidro triplo, de baixa emissividade enquanto para os países do sul da Europa, poderão ser utilizados vidros duplos onde é primordial que a caixilharia seja bem isolada para anular as perdas de energia.

### 3.2.2 Redução das pontes térmicas e a envolvente opaca do edifício

A envolvente opaca do edifício representa na generalidade dos casos a superfície de maior exposição do edifício com o ambiente exterior. Esta abrange a estrutura que delimita o interior do edifício do exterior e sobre a qual não passa a luminosidade. Os diversos constituintes da envolvente do edifício são responsáveis pelas perdas e ganhos de energia, devido à transmissão de calor por condução – no inverno, perdendo calor; e no verão, com ganhos de calor. É por isso fulcral, capacitar o edifício de um isolamento eficaz que permita a ambicionada eficiência e, para isso, devem-se escolher materiais com boa resistência térmica que estejam de acordo com características bioclimáticas da região. Deve-se privilegiar o isolamento das paredes externas, dos tetos, telhados e janelas [5] [24].

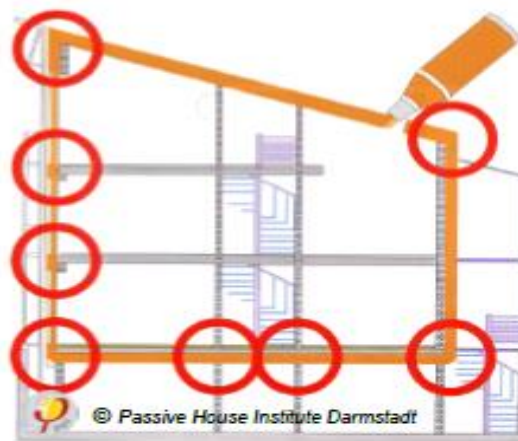


Figura 14 - Eliminação de pontes térmicas na envolvente de um edifício [19]

As pontes térmicas são locais da envolvente de um edifício onde se dá a ligação entre vários elementos que fazem parte da constituição do mesmo (janelas, cunhais, juntas, paredes, cobertura, lajes térreas, vigas, pilares, pavimento, fundações). Estes pontos de contacto também



designados como irregularidades geométricas, são zonas frágeis e voláteis que estão sujeitas a um maior choque térmico [23]. As perdas de calor através das pontes térmicas são um fator crítico a considerar, porque têm um impacto significativo sobre o desempenho energético do edifício. O fluxo de calor geralmente aumenta nestes locais em comparação com as áreas adjacentes quando há uma diferença de temperatura significativa entre o interior e o exterior. A diferença que ocorre no gradiente de temperatura poderá provocar também a formação de condensações (onde se dá uma diminuição da temperatura superficial), promovendo o crescimento de fungos e o surgimento de patologias.

As medidas que permitem combater o défice de energia perdida, nas pontes térmicas exigem um investimento financeiro avultado, mas revelam-se de extrema importância para cumprir os requisitos da norma Passive House, que requer que estas sejam inferiores a  $0,01 \text{ W/mK}$ . Para o cumprimento deste parâmetro, as soluções a adotar podem passar pelas que de seguida se apresentam [5] [23]:

- O correto isolamento térmico de forma continua no exterior e em todos os elementos construtivos (a aplicação de  $0,3 \text{ m}$  de isolamento elimina a totalidade das pontes térmicas);
- Instalar as janelas no plano da camada isolante e envolver parte da caixilharia da janela com o isolante;
- Conceber uma arquitetura compacta, com o mínimo de reentrâncias e saliências por forma a minimizar a superfície exterior. A forma do edifício define a sua envolvente exterior, local onde ocorrem as perdas térmicas;

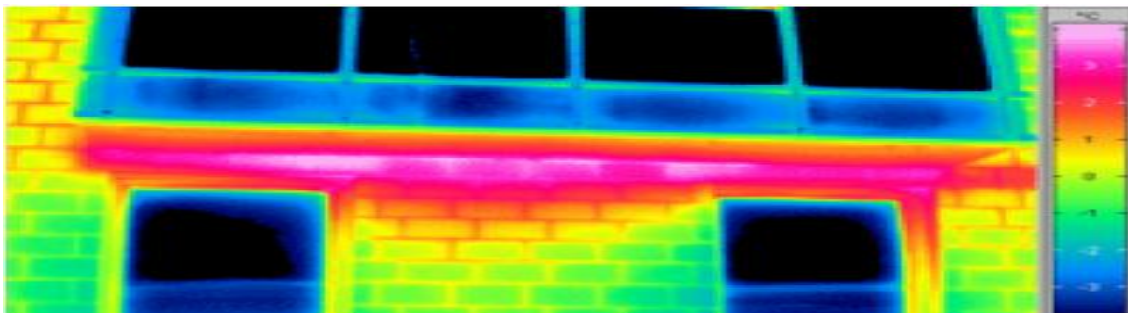


Figura 15 – Termografia para identificar pontes térmicas [23]

A eliminação total das perdas de calor através das pontes térmicas é algo impossível, contudo a sua redução é exequível. Planear e executar com o maior detalhe todas as conexões e cantos dotando os mesmos de maior espessura de isolamento e dimensionar a arquitetura do edifício, para que a sua geometria favoreça a performance energética, são objetivos a serem alcançados para reduzir e minimizar o impacto que as pontes térmicas têm inevitavelmente no desempenho do imóvel.

### 3.2.3 Assegurar a Estanqueidade do ar no edifício

Assegurar a estanqueidade do ar no edifício é um dos parâmetros que a norma Passive House impõe. A passagem e a circulação de ar devem ser controladas. O cumprimento deste princípio é essencial para evitar potenciais problemas associados à humidade e condensação. Contrariamente ao que seria expectável, o movimento do fluxo de ar para o interior do edifício, proveniente de brechas e fissuras, pode ser prejudicial e a noção que auxiliam e melhoram a renovação de ar é errada porque essa transmissão é incontrolável em termos de pressão do vento e da oscilação da temperatura. Em climas mais frios, ou durante o Inverno, onde as temperaturas são mais baixas, esta constatação torna-se evidente, a infiltração de ar frio vai aumentar as diferenças de temperatura entre os diversos andares de um edifício, aumentando a necessidade de aquecimento do espaço [5] [21].

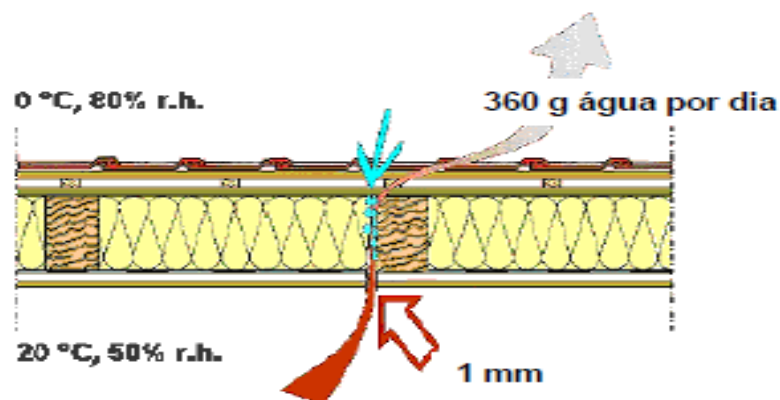


Figura 16 - Condensação devido a fissuras [24]

A passagem de ar nestes pontos pode assim induzir perdas de calor que provocam desconforto e põem em causa a eficácia do sistema de ventilação com recuperação de calor, quando este se encontra instalado. A aplicação deste sistema é imposto pela norma Passive House em alguns climas, com o intuito de fornecer ar ao ambiente interior.

Perante os factos acima enunciados torna-se claro que é fundamental conseguir elevado nível de estanquidade numa casa passiva, para cumprir os requisitos e obter um conjunto de vantagens: uma temperatura interna uniforme sem correntes de ar, proporcionar o conforto térmico aos ocupantes e garantir a qualidade do ar interior. Confirmar que a envolvente do edifício se encontra convenientemente selada é o objetivo delineado, e para tal deve-se proceder à utilização de uma membrana estanque ao ar, compatibilizada com cada elemento construtivo. O tipo de construção é o fator que faz diferir a constituição destas membranas que podem ser em madeira, em chapa de alumínio, membranas pára-vapor ou qualquer outro material que possua uma boa capacidade de impermeabilização. Todavia, a aplicação deste elemento é mais importante nos países do norte e centro da Europa. Em países do sul como Portugal não faz sentido utilizar membrana de estanquidade ao ar, porque a estanquidade da construção pode ser garantida pelos rebocos [23] [26].

As exigências para a estanquidade são verificadas através de um teste de pressurização, o “*blower door test*”, na terminologia inglesa. Este procedimento baseia-se na criação de um gradiente de pressão entre o interior e o exterior do edifício, recorrendo a um ventilador instalado numa porta ou janela. A sua finalidade é quantificar a permeabilidade ao ar de um edifício, medir o fluxo de ar entre diferentes zonas, testar a impermeabilidade da canalização e auxiliar a localização fugas de ar pela envolvente do edifício.

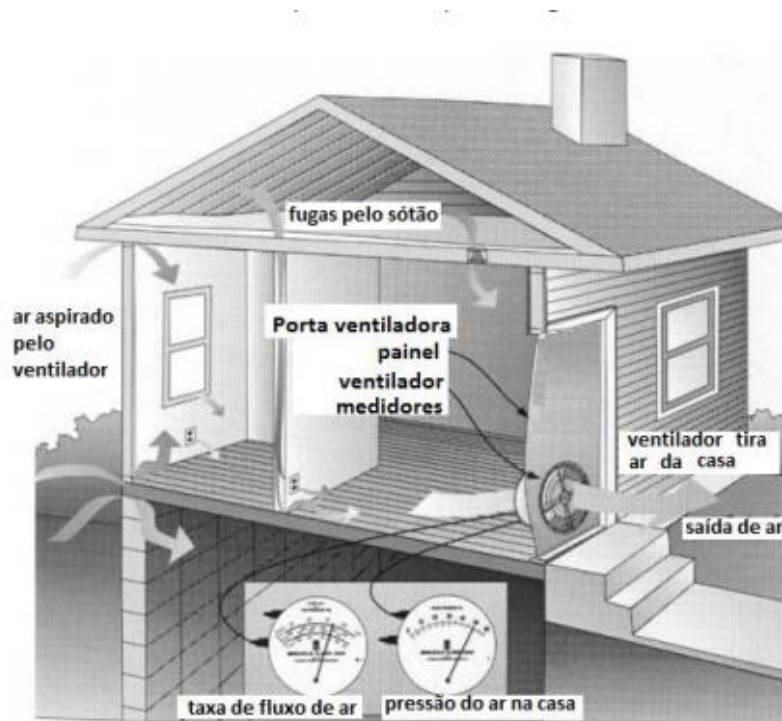


Figura 17 - Blower-door test: representação do funcionamento do ensaio [27]

Os requisitos que constam na norma Passive House obrigam que este ensaio aplique uma pressão de 50 Pa entre o interior do imóvel e o exterior e que a esta pressão, a taxa de renovações de ar no edifício apresente valores que sejam inferiores a 0,6 renovações/hora. O *Blower door test* deve ser executado na fase de aplicação da membrana de estanquidade e na fase final da construção. Durante o procedimento todas as portas e janelas devem permanecer fechadas, com a exceção das portas interiores. Este mesmo processo é efetuado do exterior para o interior e vice-versa. Este ensaio, direcionado a uma casa passiva, utiliza como já foi referenciado um ventilador que é disposto numa porta exterior ou numa janela que concebe uma diferença de pressão de 50 Pa. A taxa de troca de ar correspondente do edifício indica o nível de estanquidade e a fuga de ar através da envolvente do edifício [21] [27].

### **3.2.4 Sistema de ventilação com sistema de recuperação de calor**

A ventilação assume-se como um dos princípios mais importantes a assegurar numa casa passiva. É um dos critérios que a norma Passive House exige para garantir a qualidade do ar interior, e que pode estar comprometida devido aos seguintes fatores: elevado tempo de permanência dos residentes em espaços interiores, elevada carga poluente (ocupantes, equipamentos) e a estanqueidade dos edifícios.

A correta ventilação tem como objetivos principais preservar a qualidade do ar interior e proporcionar o conforto térmico aos ocupantes. O conceito de conforto térmico segundo Povl Ole Fanger é subjetivo, isto é, depende do indivíduo e da sua perceção aos quais estão associados parâmetros individuais como o vestuário, atividade física e características fisiológicas mas também parâmetros ambientais como a temperatura, humidade relativa, temperatura radiante média e velocidade do ar. A zona de conforto é atingida com temperaturas do ar interior compreendidas entre os 20 e os 26°C sendo ainda necessário renovar o ar interior (que contém poluentes e CO<sub>2</sub>) com o recurso a técnicas de ventilação [20].

O procedimento abrange duas técnicas de ventilação distintas: a ventilação natural e a ventilação mecânica. O recurso a sistemas de ventilação mecânica surge como a técnica preferencial para atingir os padrões exigidos, isto porque é mais controlável. É um método no qual a insuflação/extração de ar, e o gradiente de pressões, são provocados pela existência de ventiladores. Um sistema de ventilação mecânica bem concebido exige a estanqueidade do edifício como obrigatória, para que o sistema possa funcionar de forma eficaz. É essencial que a movimentação do ar no interior do edifício seja 100% controlada pelo sistema mecânico de ventilação, facilitando assim o controlo das temperaturas interiores e qualidade do ar pretendida [20].

A implementação de sistemas de ventilação com sistema de recuperação de calor apresenta-se como o ideal para responder a esta problemática. Estes são compostos por uma unidade de ventilação, um sistema de controlo, um recuperador de calor - permutador e filtros (Figura 18) e permite aliar os seguintes benefícios: o conforto térmico, a qualidade do ar interior e o baixo consumo de energia. Os permutadores de calor são equipamentos térmicos que têm como objetivo promover a transferência de calor entre duas ou mais correntes de fluidos.

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

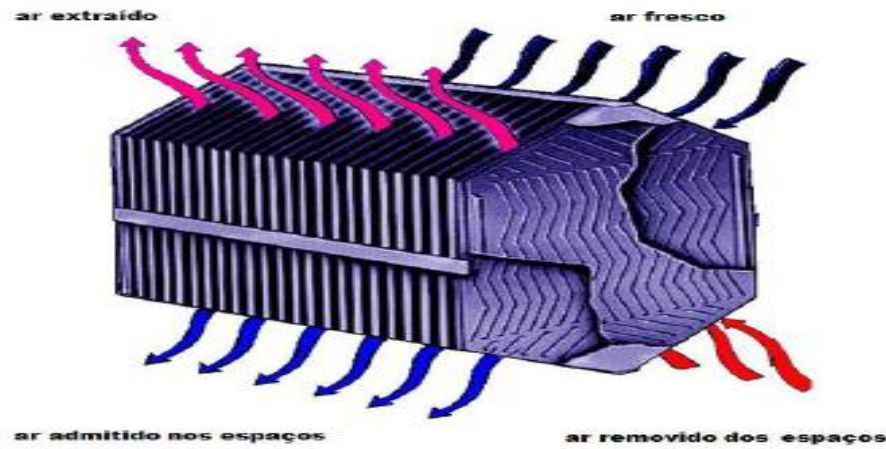


Figura 18 - Representação esquemática de um permutador de calor [5]

O princípio de funcionamento destes dispositivos mecânicos é baseado na recuperação de calor presente no ar poluído, extraíndo-o e misturando uma determinada quantidade deste com o ar captado a partir do exterior. A recuperação do calor do ar extraído é feita por um permutador de calor, que transfere de volta o ar admitido sem que ocorra a mistura dos fluxos de ar, conseguindo-se taxas de recuperação e eficiência entre os 75 e os 90% com baixos consumos elétricos. Este sistema permite realizar a climatização (aquecimento/arrefecimento) dos espaços, apenas com a troca de calor entre o ar que é admitido pelo ar que é removido e manter a qualidade do ar sobretudo no que diz respeito aos níveis de humidade e à concentração de CO<sub>2</sub>. [5] [29]. Os sistemas de ventilação devem possuir ainda um baixo nível acústico (menos de 25 dB). A norma exige ainda o caudal de ar mínimo de renovação por pessoa de 30 m<sup>3</sup>/h; no sector residencial, a ocupação estimada é de uma pessoa por 30 m<sup>2</sup>;

Associada à ventilação, está também a imposição de existir pelo menos uma abertura por cada compartimento do edifício para favorecer o fluxo natural de ar nas noites de Verão (“*free cooling*”). Esta imposição está contudo direcionada somente a países do sul da Europa [26].

A ventilação natural pode ser explicada como a renovação do ar sem o recurso a elementos mecânicos, isto é, a promoção da entrada de ar fresco no interior do edifício substituindo assim o ar poluído que se encontra no seu interior. Os fluxos de ar são o resultado de um diferencial de

pressões originado por dois fatores: a ação do vento sobre o edifício e a alteração da densidade do ar por ação da temperatura.

A ventilação natural num edifício pode processar-se através de aberturas e infiltrações, promovidas aleatoriamente pelas janelas e portas. A admissão de ar que permita baixar os níveis de CO<sub>2</sub> e da concentração poluente, também pode ser feita por três tipos de dispositivos sendo estes: as aberturas fixas, as aberturas reguláveis e as aberturas auto-reguláveis. O grande inconveniente associado a estes sistemas e que os torna inviáveis, segundo o Passivhaus Institut, é a constante perda de energia através da ventilação durante a noite no Inverno, que se dá através da substituição do ar interior que está aquecido pelo ar exterior mais frio que é admitido. A ventilação natural fica aquém dos padrões impostos pela norma Passive House, uma vez que o seu desempenho é aleatório e complexo [5] [28] [29].

### 3.2.5 Vãos envidraçados de alta qualidade térmica e o sombreamento

A designação vão envidraçado corresponde a um mecanismo constituído por um “envidraçado” composto por um sistema de caixilho e vidro, no qual fecha o vão, a abertura na envolvente na vertical, sendo constituído pelas ombreiras que são as partes laterais onde assenta o lintel na parte superior horizontal, e ainda por peitoril e soleira que corresponde à parte horizontal inferior onde assenta a caixilharia [30].

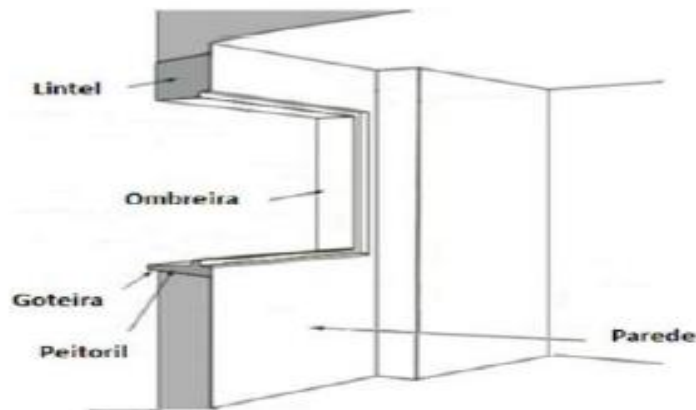


Figura 19 - Elementos que constituem um vão [30]

A colocação de áreas envidraçadas de alta qualidade térmica é uma das componentes mais relevantes a implementar numa casa passiva e a sua correta projeção permitirá diminuir o consumo energético adquirir contacto visual com o exterior e obter um bom índice de luminosidade natural no edifício. A disposição e localização dos vãos envidraçados é de enorme importância para atingir um bom desempenho energético. Nesse sentido a fachada com maior percentagem de área translúcida deverá estar orientada para sul, para maximizar os ganhos solares diretos durante o inverno e as menores áreas envidraçadas dispostas a Norte de modo a diminuir as perdas térmicas, isto para edifícios residenciais localizados no hemisfério norte.

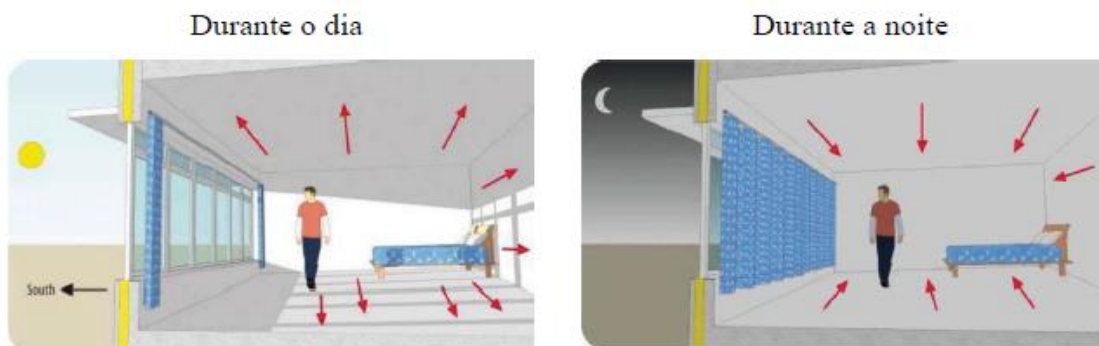


Figura 20 - Ganhos solares durante o Inverno [30]

No que se refere ao aproveitamento energético que é possível obter através da radiação solar incidente sobre os vãos envidraçados, verifica-se que durante o dia, no Inverno, a maior exposição destas áreas possibilita a entrada de energia solar, o que, conseqüentemente, permite o aquecimento do espaço interior. Durante a noite a energia acumulada através da absorção pela inercia térmica dos materiais que constitui as paredes e lajes e outros elementos construtivos é libertada sob a forma de calor (Figura 21). Todavia, no Verão, a maior exposição dos vãos envidraçados á radiação incidente pode constituir um inconveniente, isto é, o excesso de ganhos de energia solar podem provocar um sobreaquecimento. Este facto evidencia a necessidade de implementar a proteção devida nos vãos envidraçados através do sombreamento. Os dispositivos que permitem essa finalidade são muito variados: palas horizontais e verticais, persianas, lamelas fixas ou reguláveis de sombreamento, estores e cortinas interiores.



## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

No âmbito das casas passivas e com a perspectiva de alcançar a máxima eficiência, a estratégia a adotar na vertente do sombreamento deve passar pela colocação destas proteções através do exterior do edifício. Esta solução apresenta-se como mais vantajosa, porque permite uma reflexão da radiação solar, antes da sua entrada no espaço interior, dissipando assim a energia absorvida pelo elemento sombreador localizado no exterior. Nesse sentido, a preferência deve recair para a instalação de palas horizontais e verticais ou de lamelas de sombreamento [30].



Figura 21 - Exemplo de lamelas de sombreamento e pala horizontal e vertical [31]

Os sistemas de sombreamento são um importante dispositivo para a regulação térmica e para a diminuição das necessidades de aquecimento e de arrefecimento de um edifício. No entanto, existe um conjunto de outras medidas de igual relevância que podem ser encaradas de forma global e integrada, com vista à otimização dos pressupostos da utilização de sistemas passivos. A arquitetura bioclimática estuda a adaptação, por meios naturais, da construção ao clima do local de implantação da construção, promovendo o aproveitamento dos recursos naturais (sol, vento, água). Uma das técnicas passa pela adoção de medidas no sector do aproveitamento solar passivo, um conceito com algum interesse no âmbito Passive House, sendo somente opcional. A arquitetura bioclimática considera a vegetação como um elemento decisivo 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 protetoras dos ventos dominantes. Por outro lado, a vegetação de folha caduca (figura 22) 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 [5] [34].

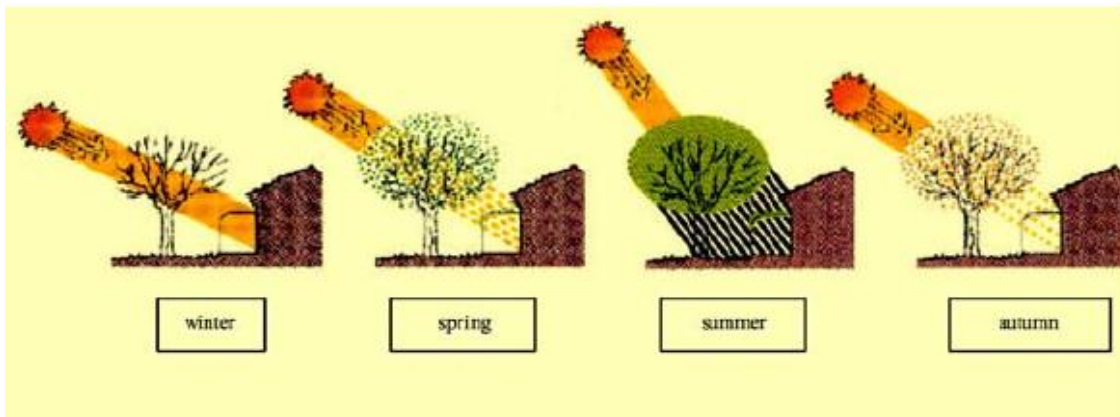


Figura 22 -Estratégias bioclimáticas na fase de conceção [34]

### 3.2.5.1 Vãos envidraçados impostos pela norma e a caixilharia mais benéfica

Os vãos envidraçados para além do proveito indiscutível que proporcionam: o ganho de energia térmica que aquece o interior do edifício e a luminosidade proveniente da radiação solar também apresentam um contra, inerente às perdas térmicas que lhe estão associadas. Estas ocorrem como já foi anteriormente abordado, quando a diferença entre a temperatura interior e o exterior é assinalável, o que permite ao calor fluir pelos elementos constituintes da janela (caixilho e vidro) com sentido da zona quente para a zona fria. Para atenuar este efeito os vãos envidraçados devem possuir vidro triplo com preenchimento de árgon ou cripton, no centro e norte da Europa, e vidro duplo de baixa emissividade no sul da Europa segundo o Passive House Institut. Segundo os padrões impostos pela norma, os vãos envidraçados devem ser constituídos por janelas eficientes que incorporem vidro Low-E (low emissivity), que têm como finalidade

impossibilitar a transferência térmica de calor entre o interior e exterior do edifício. O vidro destas janelas recebe uma camada ultrafina de metal de baixa emissividade num dos seus lados, com objetivo que essa camada filtre os raios solares intensificando o controlo de transferência de temperaturas, sem impedir a transmissão luminosa [19] [32].

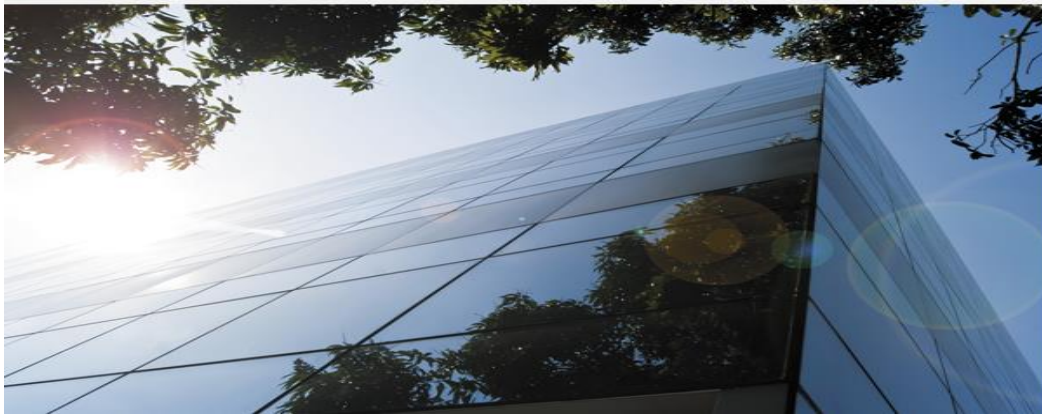


Figura 23 - Aplicação do vidro Low-E [32]

A correta instalação de um envidraçado é importante para preservar a estanquidade, a ventilação e o conforto térmico do edifício. Na tabela 2, abaixo representada, podemos observar as diferentes classes de eficiência de uma janela Passive House, associadas à respetiva transmissão térmica linear onde quanto menor for o seu valor menor será o calor perdido e por isso maior será a qualidade térmica que proporcionará à habitação.

Tabela 2 - Classe de eficiência das janelas certificadas pela Passive House [24]

Classe de eficiência das janelas		
$\Psi_{opaq}$	PH Classe de Eficiência	Designação
$\leq 0.245 \text{ W/(mK)}$	phD	
$\leq 0.200 \text{ W/(mK)}$	phC	Componente certificável
$\leq 0.155 \text{ W/(mK)}$	phB	Componente Básico
$\leq 0.110 \text{ W/(mK)}$	phA	Componente Avançado
$\leq 0.065 \text{ W/(mK)}$	phA+	Componente muito avançado

A norma Passive House estabelece para os vãos envidraçados (inclui vidro e caixilho) que o valor de U seja inferior a  $0,80 \text{ W/ (m}^2 \text{ K)}$  para fatores solares na ordem dos 50%. Os vãos envidraçados orientados a Este ou Oeste, ou cujo ângulo de inclinação seja inferior a  $75^\circ$  em relação à horizontal, não podem ter uma área superior a 15% da área útil do espaço que servem sem que disponham de dispositivos de controlo solar que permitam uma redução de 75% dos ganhos solares. Para os vãos orientados a Sul, este valor não pode ser superior a 25% da área útil do espaço que servem.

Relativamente ao outro elemento constituinte dos vãos, a caixilharia que permite mais ganhos é a de Plástico (PVC) reforçada com perfis em aço, que consegue assim o aumento da resistência mecânica dos caixilhos e um bom isolamento térmico [24] [5]. A opção por uma caixilharia híbrida pode também configurar-se como boa solução. Estas são constituídas por dois ou mais materiais (alumínio, madeira e PVC), onde os maiores benefícios são a resistência aos agentes atmosféricos.

### **3.2.6 Otimização dos ganhos de calor internos**

Atualmente qualquer habitação tem por si própria problemas intrínsecos que afetam o espaço interior que não eram observáveis há um século atrás, entre os quais: poluição eletromagnética proveniente da eletricidade e a poluição química que se dá através da libertação de um conjunto de substâncias químicas voláteis, que se volatilizam facilmente no ar devido as condições de temperatura e estão presentes na pintura, equipamentos e mobiliário. A modernidade trouxe consigo novos inconvenientes, que prejudicam a qualidade do ambiente interior. Porém, a mesma causa também possibilitou o aparecimento de novas tecnologias para minimizar esses problemas. O espaço interior é também palco para ganhos de calor internos, algo que pode ser benéfico ou prejudicial para os seus utilizadores consoante a suas necessidades o exijam. Após a adoção de medidas que permitem potenciar a eficiência térmica do edifício e melhorar a qualidade do ar interior como: o isolamento da envolvente, a implementação do sistema de ventilação com recuperação de calor e a estanquidade do edifício, os ganhos internos de calor são otimizados.

Para o avolumar de ganhos internos contribuem a energia proveniente da ocupação, iluminação e equipamentos [11]. No que se refere à ocupação, os ganhos de calor estão relacionados com o número de ocupantes e este acréscimo adicional provem da atividade metabólica do corpo humano que difere consoante as atividades às quais este está sujeito. Mesmo que a ocupação seja diminuta, o calor extra introduzido pelas pessoas no ambiente interior é significativo.

A iluminação é outro fator que também contribui para os ganhos térmicos no interior do edifício. A adoção das melhores práticas e técnicas a utilizar na iluminação artificial deve ser um parâmetro de grande importância a considerar pois abarca a vertente térmica e energética. No mercado é possível encontrar lâmpadas eficientes tais como lâmpadas fluorescentes de alto rendimento com balastro eletrónico (T5HE) e os LED's (díodo emissor de luz). A tecnologia LED permite um menor consumo energético, baixa emissão de calor e um período de vida útil elevado, que pode variar entre as 20000 - 45000 horas [10] [12].

Os equipamentos e eletrodomésticos que estão inseridos na habitação introduzem também no ambiente interior quantidades de calor relevantes, sendo desta forma um dos critérios a ser discutido numa casa passiva, registando-se ainda o impacto destes no consumo de energia. Em termos energéticos, o aumento do consumo de eletricidade no setor dos edifícios resulta de diversos fatores, tais como [9]:

- Maior presença de equipamentos nas habitações (máquinas de lavar e secar, frigoríficos, congeladores, combinados, computadores, televisões, equipamentos de ar condicionado, entre outros);
- Introdução de novos equipamentos, maioritariamente, eletrónicos, informáticos e de comunicação (descodificadores de televisão por cabo, internet, ADSL, aparelhos de DVD, telefones sem fios, entre outros), muitos com consumo de standby;
- Duplicação ou triplicação de alguns equipamentos, principalmente de televisões e computadores;
- Aumento do número de habitações mais espaçosas exigindo, por conseguinte, mais ou melhores meios de climatização;

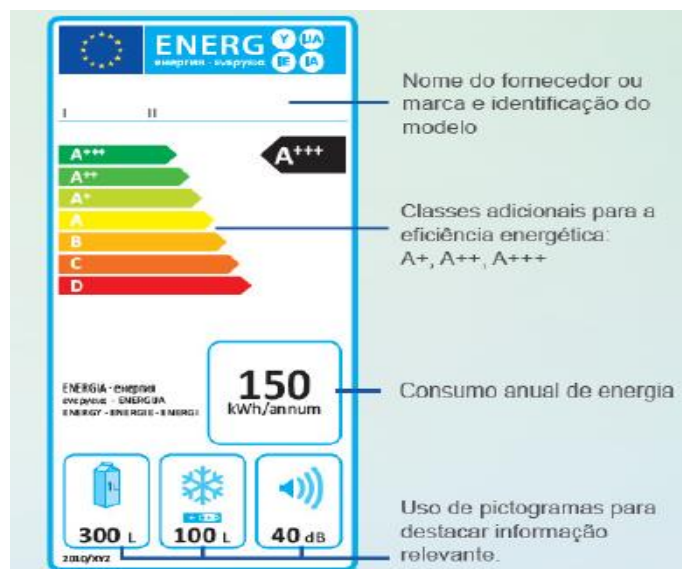


Figura 24 - Modelo da etiqueta da eficiência energética em eletrodomésticos [14]

A estratégia para mitigar o impacto energético numa habitação deve passar pela utilização de equipamentos eficientes, que se mostra como uma medida fundamental para alcançar a eficiência energética e reduzir os custos com a energia. A UE criou em 2012 a etiqueta energética (figura 24) que tem por objetivo fornecer ao consumidor informações sobre o desempenho e outras características essenciais dos equipamentos e eletrodomésticos. As classes energéticas variam de A a D, sendo A a classe energética mais eficiente e D a menos eficiente. Na classe A existem subclasses, até A+++, para adaptar a informação à evolução tecnológica existente e para permitir uma maior diferenciação do produto em termos de eficiência energética [14].

Em síntese, podemos concluir que o conhecimento da dinâmica destes três fatores (ocupação, iluminação e equipamentos) pode contribuir para um eficaz controlo dos ganhos internos de calor, minimizando-os, isto é, expelindo-os nos meses mais quentes, ou maximizando-os com a recirculação interior nos meses mais frios [11]. O programa Passive House Planning Package estabelece para edifícios residenciais, o valor padrão de 2.1 W/ m<sup>2</sup> para ganhos internos.

### **3.2.7 Modelação energética de ganhos e perdas através do programa Passive House Planning Package (PHPP)**

O Passive House Planning Package (PHPP) é um programa desenvolvido pelo Passive House Institut, em formato de folhas de cálculo, que contem as ferramentas necessárias que possibilitam projetar o funcionamento de uma casa passiva, contabilizar o balanço energético e estimar o consumo anual de energia associado ao edifício. O PHPP pode ser aplicado a qualquer edifício, todavia este revela-se mais importante para execução e análise de vários fatores associados a casas passivas no sentido de obter os dados que permitam averiguar se os edifícios cumprem os requisitos obrigatórios pela norma Passive House. As folhas de cálculo agregam diferentes entradas e cálculos para diversas áreas e o seu funcionamento é baseado nas leis da física e em algoritmos específicos apoiados nas normas internacionais vigentes. De entre diversos aspetos, o PHPP aborda os seguintes:

- Dimensionamento dos componentes individuais (conjuntos de componentes de construção, incluindo o cálculo do valor-U, definição do tipo de janelas e sua qualidade térmica, a listagem dos equipamentos e eletrodomésticos utilizados e respetivas características, dados climáticos do local, sombreamento, ventilação etc.) e a influência que estes têm sobre o equilíbrio energético do edifício no inverno, bem como no verão;
- Dimensionamento da carga de aquecimento e carga de refrigeração;
- Dimensionamento dos sistemas mecânicos para todo o edifício: aquecimento, refrigeração e o fornecimento de Águas Quentes Sanitárias;
- A verificação da eficiência energética do conceito de construção na sua totalidade;

Os principais resultados fornecidos por este programa incluem: o consumo de energia primária, as necessidades de aquecimento e arrefecimento e as respetivas cargas máximas.

Os cálculos processam-se de forma instantânea, ou seja, depois de alterar uma entrada, o utilizador pode ver imediatamente o efeito sobre o balanço energético do edifício. Isso torna

possível comparar componentes de diferentes qualidades, sem grande esforço e, assim, otimizar o projeto de construção específico [5] [13].

### 3.3 Requisitos Térmicos exigidos pela norma Passive House

A norma Passive House incorpora em si três elementos chave que a definem e que são capitais para sua implementação, sendo estes: um limite energético, um requisito de qualidade relativo ao conforto térmico e um conjunto definido de sistemas passivos economicamente viáveis que possibilitam cumprir o limite energético e atingir o requisito de qualidade. A norma que é já uma marca de referência na eficiência impõe padrões para que um edifício possa ser reconhecido como Passive House, este deve incorporar os seguintes requisitos energéticos:

[19] [21]:

- As necessidades de aquecimento e de arrefecimento não poderão exceder os 15 kWh/ (m<sup>2</sup> ano);
- A carga máxima de aquecimento/arrefecimento é limitada a um valor máximo de 10 [W/m<sup>2</sup>];
- O valor máximo de energia primária necessária (para o aquecimento, arrefecimento e Águas Quentes Sanitárias) e eletricidade não poderá exceder o valor máximo de 120 [kWh/ m<sup>2</sup>.ano];
- A estanquidade ao ar, que terá de ser verificada por entidade independente através do *blower door test* e emissão do respetivo relatório, com um valor de renovações do volume de ar do edifício inferior a 0,6 h<sup>-1</sup>, aferidos com uma pressurização de 50 Pa;



## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

- A temperatura mínima limite no verão e inverno é respetivamente de 26°C e 20°C. O sobreaquecimento excessivo, isto é com a temperatura a registar-se superior a 26°C, não pode verificar em mais do que 10% do tempo total.

Contudo, estas exigências destinam-se mais precisamente para a Alemanha e outros países localizados no norte e centro da Europa, onde o clima é mais frio e, por isso, os consumos energéticos referentes ao aquecimento são mais decisivos para o desempenho energético do edifício. No sentido de monitorizar os dados essenciais relativos a uma casa passiva, o Passivhaus Institut desenvolveu o já mencionado, Passive House Planning Package (PHPP). Todavia, este apenas pode ser aplicado relativamente à Alemanha. Este programa é constituído por folhas de cálculo direcionadas a arquitetos e designers para ajudar no projeto de Casas Passivas e que têm as seguintes finalidades:

- Calcular os coeficientes de transmissão térmica dos componentes, com um isolamento térmico elevado;
- Calcular balanços energéticos;
- Determinar taxas de ventilação que originem conforto;
- Calcular as cargas de aquecimento;

No pólo oposto encontram-se os países do sul da Europa (ex.: Espanha, Portugal, Itália e Grécia) onde o clima mediterrâneo domina, caracterizado por ser mais quente e ameno. A constatação deste fator levou à adaptação do conceito, com a introdução de novos requisitos. Com o intuito final de atingir o mesmo grau de exigência que a norma evidencia na Europa central, relativamente ao conforto térmico, à qualidade do ambiente do ambiente interior no verão e no inverno e o diminuto consumo de energia, foi desenvolvido o projeto Passive-On. Este novo projeto sugere alterações de acordo com as condições climáticas dos países do sul da Europa, entre as quais se enumeram as seguintes [11]:

- O teste de estanquidade do ar à envolvente do edifício deverá cumprir o teste de pressurização (50 Pa), segundo a norma EN 13820, inferiores a 0,6 rph (renovações por hora), caso a qualidade do ar interior e o conforto térmico sejam obtidos através de um

sistema mecânico de ventilação. (Em locais com condições de projeto com temperaturas superiores a 0°C, o teste de pressurização com um valor limite de 1,0 rph é suficiente para atingir o aquecimento desejado;

- Durante o verão, onde as temperaturas são mais elevadas, o edifício deverá manter a temperatura interior num intervalo de valores de conforto estabelecido pela norma europeia EN 15251. A temperatura deverá manter-se abaixo dos 26°C, caso exista um sistema de arrefecimento ativo.
- Critério de conforto da temperatura interior no inverno: a temperatura no interior do edifício deve ser mantida acima dos 20°C.
- A introdução de um limite explícito de necessidades de arrefecimento no verão (15 kW.h/(m<sup>2</sup>.ano));

### **3.4 Certificação Passive House**

Para um edifício obter a classificação de casa passiva terá de possuir um certificado “Quality-Approved Passive House”, documento esse que será emitido na fase de projeto ou na conclusão do edifício. A certificação só é possível com o cumprimento dos requisitos térmicos exigidos pela norma Passive House, sendo todavia os critérios de avaliação diferentes consoante a utilização dada ao edifício (residencial ou serviços), ou caso se trate de uma construção nova ou reabilitação. A validação e análise de dados agrupa diversos parâmetros como: a ventilação, o consumo de energia primária, verificação das necessidades de aquecimento e arrefecimento bem como o balanço térmico e energético. O resultado e a posterior apreciação é feita com recurso ao PHPP, anteriormente mencionado. A certificação é feita pelo PHI ou por outra entidade habilitada pelo mesmo. O processo de certificação passa pela inclusão de técnicos, projetistas e verificadores de projeto credenciados, que efetuam a avaliação do edifício face aos padrões que a norma decreta [5].

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

No que se refere às classes de certificação, o PHI introduziu novas categorias para além da “Passive House Classic”. Estas incorporam uma aposta nas energias renováveis que se apresentam atualmente como o complemento ideal para maximizar a eficiência de uma casa passiva padrão.

Com a publicação do PHPP 9, procedeu-se à adição de duas novas categorias relativas á certificação de edifícios: Passive House Plus e a Passive House Premium.

Este novo processo de avaliação assenta na energia renovável primária. O consumo relativo ao aquecimento de uma casa passiva continuará a aplicar-se e não pode exceder os 15 kWh /m<sup>2</sup>a, mas com a introdução das novas categorias, a procura global de energia primária renovável (PER) será utilizada em detrimento da energia primária antes considerada. No caso da categoria Passive House Classic, esse valor será no máximo de 60 kWh /m<sup>2</sup>ano. Um edifício construído para Passive House Plus é mais eficiente, pois não pode consumir mais de 45 kWh /m<sup>2</sup>.a de energia primária renovável. Este edifício deve também gerar pelo menos 60 kWh /m<sup>2</sup>a de energia em relação à área coberta pelo edifício. No caso da Passive House Premium, o consumo de energia primária renovável é limitado a apenas 30 kWh /m<sup>2</sup>.a, com, pelo menos, 120 kWh /m<sup>2</sup>.a de energia a ser gerada pelo edifício [33] [19].



Figura 25 -Classes Passive House para Certificação [33]

# Capítulo IV

## O Projeto Passive On e alguns Casos Práticos

## Capítulo IV – O Projeto Passive On e alguns Casos Práticos

### 4.1 O Projeto Passive On

O sucesso obtido pelo Passivhaus Institut com o desenvolver e implementar de um método para o projeto de uma casa, que não só é energeticamente eficiente mas também cumpre os objetivos de conforto durante o ano, naturalmente suscitou a questão de este método poder ser aplicado em outros países e climas. O interesse crescente que o conceito construtivo tem despertado prende-se a com a possibilidade de criar, projetar e construir de forma inteligente. A Comissão Europeia a par de outras entidades públicas e privadas decidiu investir na temática Passive House e procedeu ao financiamento do programa de investigação Passive On (2005-2007), que fundamentalmente analisa a questão da aplicabilidade do conceito a países do sul da Europa como Portugal, Espanha e Itália, mas também está associado a países como o Reino Unido e a França como climas "temperados". Nos países do sul da Europa as necessidades de aquecimento são geralmente inferiores às dos países nórdicos e o índice de radiação solar é muito superior por isso a aplicação deste conceito terá de ser diferente e adotar novos requisitos térmicos, já anteriormente observados. O Projeto Passive On integra os seguintes países: Portugal, Espanha, França, Reino Unido, Itália e Alemanha [35].



Figura 26 - Países parceiros do projeto 'Passive On' [35]

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

Cada membro do projeto apresenta uma proposta relativa á conceção de uma casa passiva tipo, que procura manter o desenho passivo, o foco é o desempenho do edifício e o cumprimento rigoroso dos padrões que a norma exige em termos de conforto térmico e consumo energético. A diversidade quanto á aplicação do conceito manifesta-se devido a fatores como: o clima, a natureza do mercado de habitação, os custos de construção e as práticas construtivas. Contudo, essa variedade pode ser vantajosa por forma a comparar os custos e as estratégias de projeto nos diferentes países.

O consórcio do projeto Passive On é coordenado pelo grupo de investigação *Efficiency Research Group* do Politécnico de Milão e inclui institutos de investigação públicos e privados com demonstrada experiência nas temáticas das casas passivas, arrefecimento passivo e no campo da regulamentação. Os parceiros no projeto são [22] [35]:

- eERG (Coordenador de projeto), Provincia di Venezia, Rockwool, de Itália;
- International Conseil Energie (ICE), de França;
- PassivHaus Institut, da Alemanha;
- Natural Works e o Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) de Portugal;
- School of the Built Environment, Nottingham University, do Reino Unido;
- Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía (AICIA), de Espanha;

Este projeto, para além de propor algumas alterações à atual norma PassivHaus Alemã, alcançou também alguns resultados entre os quais, se apresentam:

- Diretrizes de projeto: A norma Passive House em climas quentes da Europa – diretrizes de projeto;
- Revisão da definição da norma integrando cargas de arrefecimento e soluções para arrefecimento e a atualização do programa PHPP;
- Um relatório de estratégia dos mecanismos de apoio ao desenvolvimento do mercado de casas passivas.

### 4.1.2 Casa Passiva tipo do Reino Unido

A Casa Passiva tipo adotada para o Reino Unido foi projetada e desenvolvida School of the Built Environment (SBE) da Universidade de Nottingham, é definida com três quartos e dois pisos. Os requisitos de energia e conforto da norma Passivhaus Alemã foram adaptados ao contexto inglês tendo em consideração o clima local, os padrões de construção, o contexto técnico e económico, tal como as diferenças no estilo de vida e as expectativas que os compradores de casa do Reino Unido têm em relação ao uso de um espaço e a sua interação com o edifício. Uma das principais características desta habitação tipo e que difere da norma é utilizar a ventilação natural, com um baixo controlo (controlado manualmente) ou um alto controlo (controlo automático) das janelas. Esta habitação é caracterizada por possuir dois espaços, um a norte e outro a sul que funciona como um espaço estufa, ajudando a maximizar os ganhos solares através de uma grande área envidraçada constituída por um vidro simples [35] [21].

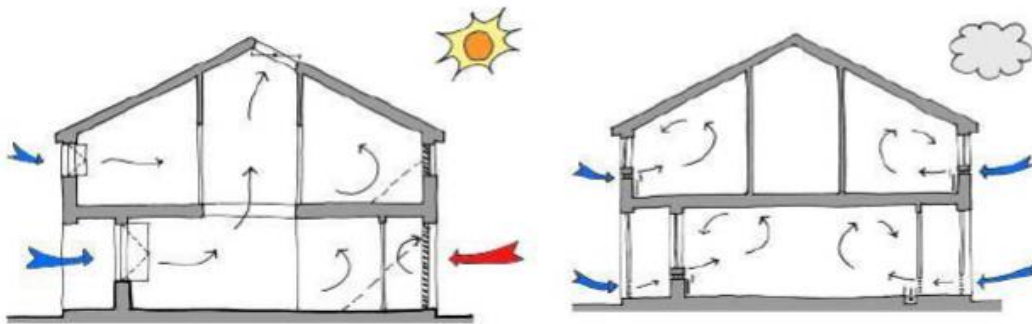


Figura 27 - Estratégia de ventilação de verão e de inverno no Reino Unido, respetivamente [35]

A estratégia que este modelo segue, aborda no inverno como técnica o pré aquecimento do ar infiltrado através do espaço estufa no lado sul do edifício, que pode atingir temperaturas de 20°C prevendo-se também a utilização de sistemas de aquecimento convencionais ou a aplicação de caldeiras ou bombas de calor. No verão a utilidade do espaço estufa é obtida com a sua abertura, para permitir o fluxo de ar e evitar o sobreaquecimento. No que se refere ao isolamento térmico, as paredes e a cobertura apresentam respetivamente coeficiente de transmissão térmica (U) entre

0,2 W/ (m<sup>2</sup>.°C) e 0,15 W/ (m<sup>2</sup>.°C). Este modelo privilegia a grande capacidade térmica do interior que pode ser obtida com painéis de betão pré-fabricados expostos, ou, quando uma construção mais leve é preferida, com o uso de materiais com mudança de fase (PCM) embebidos no reboco. Esta proposta para a casa passiva tipo do Reino Unido, estima que as necessidades energéticas anuais se cifrem nos 13,8 kWh/m<sup>2</sup>, abaixo do limite imposto de 15 kWh/ m<sup>2</sup>, apresentando um custo extra de apenas 69 €/m<sup>2</sup> [35].

#### **4.1.3 Casa Passiva tipo de Espanha**

Em Espanha o Projeto Passive On analisou e definiu a proposta para uma casa passiva tipo, para uma vivenda plurifamiliar, constituída por três ou quatro quartos dispostos numa área útil total de 100 m<sup>2</sup>, localizada na região da Andaluzia: Granada e Sevilha com um custo extra estimado de 25 €/m<sup>2</sup>. Ambas as cidades têm uma influência climática do Mediterrâneo mas com algumas particularidades que as tornam mais extremas e complexas que as outras localizações, Sevilha tem um clima muito severo no verão e Granada tem um inverno muito rigoroso. A conceção e distribuição em planta deste modelo é diferente daquele que é mais empregue em Espanha, tal é visível na diminuição da área relativa às paredes exteriores e na projeção de uma maior área envidraçada disposta a sul, aumentando a captação solar reduzindo as necessidades energéticas [35] [21].

A estratégia ambiental seguida pelo exemplo Passive House de Espanha considera os seguintes pontos:

- Pré-aquecimento do ar admitido - Não inclui nenhum sistema de ventilação mecânico, isto porque o clima não o obriga. Os sistemas de pré-aquecimento passivo do ar que se têm sido mais empregues na construção podem agrupar-se da seguinte forma: estufa, tubos enterrados, coletores solares a ar, fachada dupla ventilada ou janelas ventiladas [36].



## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

- Envidraçados – A área envidraçada é responsável pela maximização dos ganhos solares no inverno sendo útil em termos térmicos e de iluminação. O controlo da radiação solar incidente é feito através de dispositivos de sombreamento móveis. A norte do edifício é recomendado reduzir a área de envidraçado para o mínimo sem afetar significativamente a iluminação natural.
- Massa Térmica e Inércia – Nesta temática são propostas duas soluções: Baixa inércia tradicional com um tijolo de 6 cm no pano interior, e outra com elevada inércia nas paredes interiores e com blocos cerâmicos de baixa densidade na parte exterior.
- Ventilação Noturna - O espaço das escadas a norte atua como uma chaminé que permite a extração do ar durante o período noturno do verão.
- Iluminação – No sentido de promover a iluminação natural é implementada no topo do edifício uma grande janela orientada a sul, que permite a admissão de luz natural na zona norte.

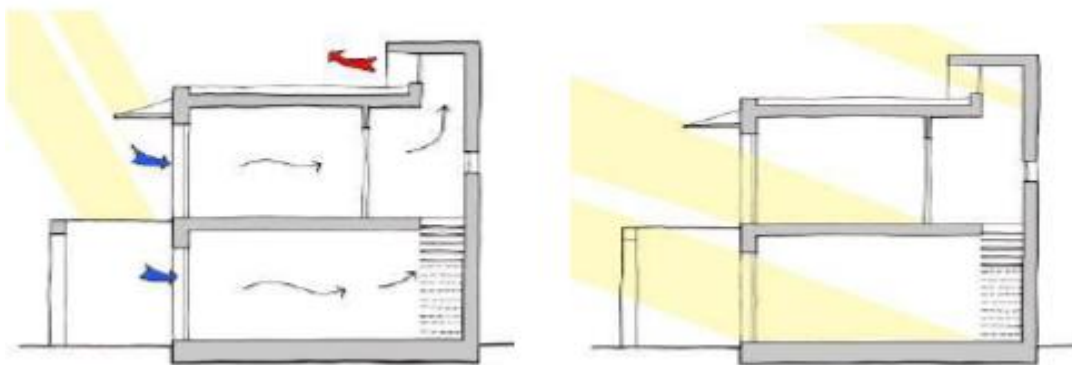


Figura 28 - Estratégia de ventilação-iluminação no verão e estratégia de aquecimento no inverno em Espanha, respetivamente [35]

#### 4.1.4 Casa Passiva tipo de Itália

A casa passiva proposta para Itália segue em grande parte as diretrizes e soluções que são implementadas no centro da Europa isto é dota o edifício de elevados níveis de isolamento, a inexistência de pontes térmicas e o recurso á ventilação ativa com recuperação de calor. Apesar de a casa passiva de Itália incorporar várias medidas da casa passiva alemã, alguns conceitos são distintos. Em virtude de um clima mais ameno em Itália, existe a possibilidade de os limites de energia e conforto que a norma requer possam ser alcançados outro tipo de critérios menos rigoroso, entre os quais se enumeram os seguintes:

- Níveis de Isolamento - São inferior a uma casa passiva na Alemanha, com os valores de 10 cm para o isolamento das paredes exteriores e 15 cm para a cobertura;
- Estanquidade ao ar da envolvente – Segundo a análise e investigação do projeto para cidades como Milão e Roma a estanquidade do ar pode ser obtida com valor de 1,0 rph;

Este modelo de casa passiva pretende assegurar o conforto térmico e energético durante o inverno com a utilização dos seguintes parâmetros: minimizar as perdas de calor através do isolamento e da correção de pontes térmicas, facultar um aquecimento ativo com a utilização de uma bomba de calor (piso radiante) de baixo consumo de potência máxima 1,5 KW e ganhos de energia provenientes do sol com a colocação de envidraçados em 30% da fachada sul. No verão o objetivo passa por reduzir os ganhos solares com o sombreamento das janelas e com a expulsão do ganhos solares e internos que acrescentam um suplemento de calor, através da utilização de um sistema de ventilação natural ativo durante a noite. O ar da noite deve atravessar o edifício através do efeito do vento e das diferenças de pressão, ou utilizando uma ventoinha de um sistema de ventilação ativo (figura 29).

O projeto conclui que, para a Itália, o custo da casa passiva está avaliado com um custo extra de 84 €/m<sup>2</sup>, estimativa esta que é superior em 7 % a uma casa contruída com os requisitos regulamentados [35].

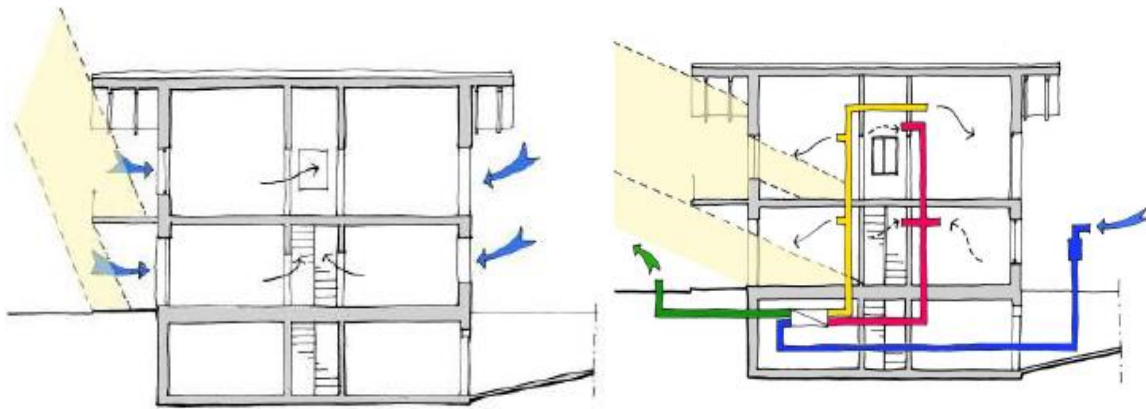


Figura 29 -Estratégia de Verão (direita) e de Inverno (esquerda) numa casa passiva em Itália [35]

#### 4.1.5 A Casa Passiva tipo de França

Em França a proposta de casa passiva apresenta semelhanças com a norma alemã. Os pontos de contacto estabelecem-se porque o clima é idêntico quando consideramos o norte de França, todavia na zona sul, nomeadamente a região de Nice e Carpentras, o clima que se regista é o mediterrâneo, onde as diretrizes para a construção deste tipo de habitações seguem os critérios de definidos pelo Projeto Passive On. Na disposição em planta as casas passivas projetadas para estas zonas têm por norma dois andares, uma cave não aquecida, um espaço aberto no piso térreo e três quartos no primeiro piso. Para Carpentras o nível de isolamento determinado é respetivamente 8 e 15 cm para o pavimento e paredes exteriores enquanto para Nice o nível de isolamento considerado é o que está regulamentado sendo este admitido como suficiente. Em ambos os casos, encontramos as seguintes medidas: o isolamento se processa pelo exterior, a utilização de um sistema de ventilação com recuperação de calor e utilização de vidros de baixa emissividade todavia em Carpentras os níveis de isolamento são superiores a 300 mm e os caixilhos tem de ter corte térmico. No inverno aos ganhos térmicos devem ser maximizados devido ao isolamento e a utilização de uma bomba de calor compacta (sistema que utiliza o calor do ar extraído) da contribuindo assim para esse efeito (figura 31).

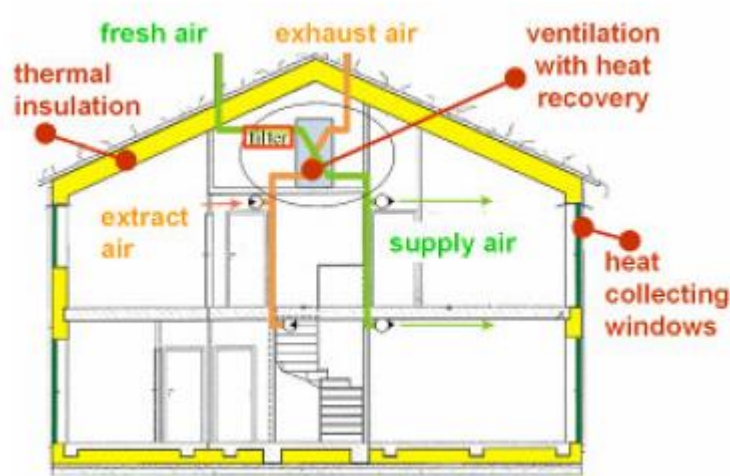


Figura 30 - Secção opcional de uma casa Passivhaus em França [35]

No que refere às estratégias de arrefecimento, estas variam consoante a localização. Em Carpentras, devido às baixas temperaturas noturnas e aos aceitáveis níveis de humidade, o sombreamento e a ventilação por abertura de janelas é suficiente para se atingir o conforto térmico. Para Nice, com níveis de humidade mais elevados e amplitudes térmicas diárias menos acentuadas, o sistema ativo de arrefecimento é necessário para ser acionado em algumas situações. Constata-se que tanto em Carpentras e Nice as necessidades de aquecimento se encontram abaixo dos 15 kWh/ m<sup>2</sup> definidos pela norma registando-se 14,8 kWh/ m<sup>2</sup> e 13,1 kWh/ m<sup>2</sup> respetivamente [35].

#### 4.1.6 Casa Passiva tipo de Portugal

O protótipo de casa passiva para Portugal é uma casa com dois quartos distribuídos por um piso único, que cumpre a regulamentação energética em vigor, que desde 2013 impõe que todas as novas construções que possuam exposição solar conveniente tenham obrigatoriamente um sistema solar térmico que possibilite o aquecimento das Águas Quentes Sanitárias (Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto 2013).

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

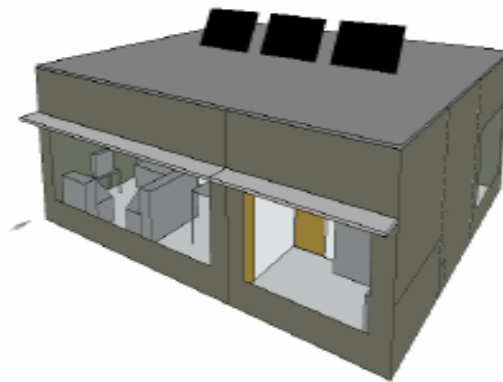


Figura 31 - 3D da casa Passivhaus proposta para Portugal [35]

O modelo de casa passiva para Portugal é de planta retangular com dois quartos e um telhado horizontal, com uma área útil total de 110 m<sup>2</sup> e situada em Lisboa. Todavia este projeto não limita os arquitetos na elaboração do desenho construtivo para a mesma podendo ser ampliada contemplando maior número de divisões e/ou área de pavimento. O custo extra total estimado é de 57 €/m<sup>2</sup>. Os fatores tidos como mais importantes na proposta apresentada prendem-se com a radiação do solar, ventilação para arrefecimento e forte inércia térmica para controlar as variações de temperatura [35]. Relativamente ao isolamento o projeto prevê que para regular a temperatura do ambiente interior estes valores devem ser de 150 mm e 100 mm para cobertura e paredes exteriores, com valores de U de 0,23 W/ (m<sup>2</sup>.°C) e 0,32 W/ (m<sup>2</sup>.°C).

A captação da radiação solar é um dos aspetos mais relevantes pois é muito elevada ao longo do território português e pode ser otimizada ao máximo com o seu aproveitamento de forma direta (grandes vãos envidraçados a sul) e indireto (sistemas solares térmicos). O sistema solar térmico instalado será responsável por providenciar a energia fundamental para o aquecimento da casa. Quanto aos painéis solares, estão orientados a sul com uma inclinação do plano horizontal de 50°, para aumentar a eficiência durante o inverno. Os dispositivos de sombreamento estabelecidos são estores e palas para prevenir o aquecimento excessivo. Uma proteção solar efetiva e uma estratégia de ventilação noturna, que dissipe os ganhos solares e os ganhos internos, podem permitir reduzir a potência de um sistema ativo de arrefecimento ou mesmo tornar dispensável a sua instalação [5] [21].

## 4.2 A implementação do conceito Passive House em Portugal

### 4.2.1 Passive House em Ílhavo, Aveiro

A implementação da norma em Portugal passa por adaptar os requisitos legais e técnicos do país e fazer com que os projetistas possibilitem a aplicação do conhecimento existente para adaptar a norma. As primeiras Passive Houses certificadas em Portugal surgem com o projeto desenvolvido pela empresa Homegrid em 2008 que planeou a construção de duas moradias unifamiliares localizadas em Ílhavo, no distrito de Aveiro. As duas habitações estão localizadas num lote cuja área total é de cerca de 1530 m<sup>2</sup>, subdivididos em 580 m<sup>2</sup> para a Moradia A e 650 m<sup>2</sup> para a Moradia B, correspondendo a primeira a uma tipologia T3 e a segunda a um T4. Ambas as moradias apresentam a mesma área útil de 210 m<sup>2</sup> e são constituídas pelo rés-do chão, 1º andar e sótão. Os dados climáticos considerados relativos à localidade de Ílhavo, situada a uma altitude de 50 m, foram obtidos pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia que verificou que a temperatura média em 2014 na Estação de aquecimento (Outubro a Maio) e na Estação de arrefecimento (Junho a Setembro) foi 9,5 °C e 20,6 °C respetivamente [21] [37].



Figura 32- Vista da parte exterior das Moradias A e B em Ílhavo [37]

#### 4.2.2 Principais características construtivas da moradia B em Ílhavo

A moradia B tal como a moradia A foi construída e concluída em 2012 em Ílhavo, ambas seguem os padrões Passive House e são certificadas pelo PHI, sendo as primeiras a obter esse selo de alta eficiência energética em Portugal. Apesar de serem semelhantes as moradias são diferentes em alguns aspetos como a área, assim o caso que será abordado refere-se á moradia B uma vez que sobre ela que existem mais dados que permitem uma melhor interpretação. A implementação e conceção dos dois edifícios observou os princípios associados à norma com o intuito futuro de monitorizar desempenho do edifício através da análise das condições de conforto (temperatura, humidade relativa, concentração de CO<sub>2</sub>), condições exteriores (radiação solar, velocidade do vento, luminosidade, humidade relativa, precipitação e temperatura), consumos elétricos (aparelhos e equipamentos) e consumos hídricos (água potável e não potável, águas quentes sanitárias) [38] [5].

No que se refere ao isolamento térmico, uma das componentes exigidas pela norma, a solução escolhida para o revestimento das paredes exteriores, foi a utilização de ETICS (External Thermal Insulation Composite System) constituídos por placas de poliestireno expandido (EPS) fixas ao paramento exterior da parede com cola e fixações mecânicas, posteriormente revestidas por reboco, aplicado em várias camadas em geral de ligante misto, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro e protegido por um acabamento, geralmente de ligante sintético. A opção por este sistema permitiu um valor de  $U=0,221 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ .

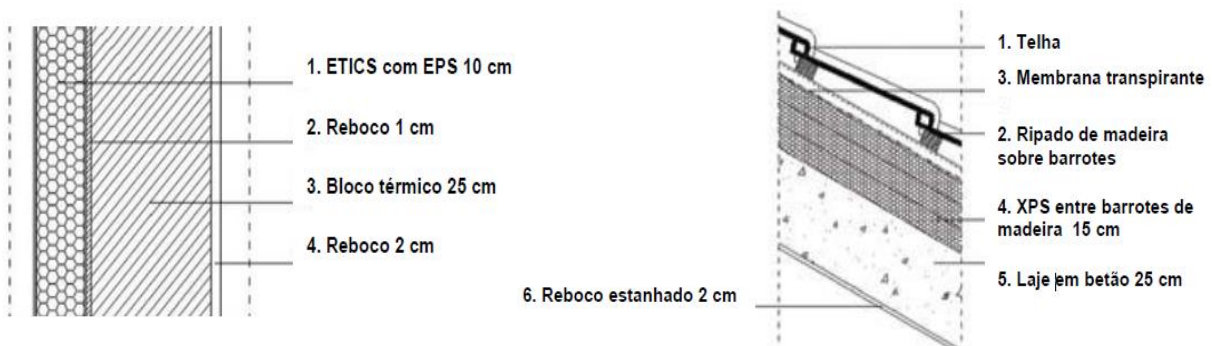


Figura 33 – Isolamento térmico das paredes exteriores (direita) e da cobertura (esquerda) [21]



Relativamente à cobertura a estratégia executada foi a aquela que se observa na figura acima, com a estrutura a estar assente num reboco estanhado de 2 cm e uma laje em betão de 25 cm. A técnica empregue para promover o isolamento térmico passou pela utilização XPS, isto é placas constituídas por espuma rígida poliestireno extrudido sobre a qual se sobrepõe a membrana transpirante e a telha como é visível na figura 34.

Os vãos envidraçados que a moradia possui são de vidro duplo e são formados pelos seguintes elementos: caixilharia de alumínio com corte térmico e soleira/peitoril em alumínio, vidro incolor 6 mm + 4mm com lâmina de Gás Árgon com 16 mm, ETICS (EPS) 15 cm, caixa de estore térmica e proteção exterior em lâminas de alumínio de cor clara, com espuma de poliuretano, XPS com 10cm e painel de madeira lacada com 20 mm [5].

O sistema de ventilação com recuperação de calor utilizado é constituído por um sistema de aquecimento formado por uma bomba de calor com exaustão de ar e dois radiadores de água pequenos ligados a um fogão a lenha com permutador de calor. O esquema terá como princípio a insuflação de ar nos quartos e salas e extração de ar na cozinha e instalações sanitárias através de condutas. O equipamento permite a interligação de um sistema solar térmico composto por dois coletores e um depósito. No inverno, o sistema transfere parte da carga térmica do ar extraído para o ar insuflado e para as AQS, enquanto no verão, parte da carga térmica do ar recebido é transferida para as AQS, se o sistema estiver a funcionar [5] [21].



Figura 34 - Esquema de condutas de extração e insuflação de ar na moradia B [37]



No sentido de garantir a estanquidade da moradia procedeu-se à averiguação dos locais mais suscetíveis de fugas e conclui-se que os pontos onde ocorre essa permeabilidade do ar eram 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 elétricas existentes. O isolamento dessas zonas foi efetuado através de aplicação de bandas betuminosas flexíveis e de vedantes à base de poliuretano.



Figura 35 - Aplicação de banda betuminosa flexível na ligação da tubagem de ventilação com a parede [5]

### 4.2.3 Requisitos térmicos e avaliação de resultados

No âmbito de obter a certificação, a moradia passou uma avaliação que incidiu na verificação e análise do cumprimento dos requisitos térmicos impostos pela norma. O processo de apreciação do estipulado passa pelo programa PHPP, que evidenciou os seguintes resultados:

- Necessidades de Energia para Aquecimento:  $8 \leq 15 \text{ kWh/ m}^2.\text{a}$
- Carga de Aquecimento:  $10 \leq 10 \text{ W/ m}^2$ ;
- Necessidades de Energia para Arrefecimento:  $0 \leq 15 \text{ kWh/ (m}^2.\text{a)}$
- Carga de Arrefecimento:  $0 \leq 10 \text{ W/ m}^2$
- Necessidades de Energia Primária:  $63 \leq 120 \text{ kWh/( m}^2\text{a)}$
- Frequência de excesso de temperatura:  $0 \leq 10 \%$
- Estanquidade do ar - Blower Door Test:  $0,45\text{h} \leq 0,6\text{h}$

Como é possível constatar na avaliação efetuada todos os parâmetros foram cumpridos. O objetivo central para os próximos dois anos, tal como já foi referido anteriormente é a monitorização de outros fatores fundamentais como a radiação solar, a temperatura e os consumos elétricos. Esta investigação posterior é importante porque apesar de as moradias apresentarem um desenho arquitetónico semelhante e as mesmas soluções construtivas, o número de inquilinos será diferente portanto há a necessidade de verificar o comportamento de cada habitação perante diferentes padrões de utilização do edifício. Esta avaliação dá a conhecer o desempenho da casa e permitirá implementar melhorias futuras que aumentem a sua eficiência [38] [37].

### 4.3 Passive House da Costa Nova, Aveiro

A mais recente Passive House, certificada pelo PHI, localiza-se na Costa Nova, no concelho de Ílhavo, distrito de Aveiro. Este novo projeto também liderado pela empresa Homegrid trata-se da primeira Passive House no sector do turismo em Portugal, uma unidade de alojamento local de dois pisos, com 4 quartos, e que permite a sua divisão em duas unidades totalmente independentes (um apartamento por piso) [39].



Figura 36 - Passive House da Costa Nova, fachada principal (esquerda) e tardoz (direita) [38]

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

A fachada principal está orientada a nascente, por onde é feito o acesso ao edifício e para onde estão orientados a zona social, com sala comum e cozinha. Os quartos comunicam para o pátio definido a tardoz (lado ou fachada de um edifício que se opõe ao lado ou à fachada do lado da rua ou da fachada principal). Esta moradia é uma construção nova contudo ficou limitada relativamente a alguns fatores condicionantes uma vez que teve que manter a área de construção, volume, alinhamentos e características da fachada da construção existente que se encontrava degradada. Os principais inconvenientes que surgiram para a implementação deste projeto foram os que a seguir se apresentam:

- A existência de vielas a norte e a sul que impossibilitam a abertura de novos vãos para além dos existentes;
- A exposição solar do edifício e o forte sombreamento provocado pela envolvente;
- Os requisitos e exigências municipais tendo em vista a conservação da identidade do local;

O Projeto foi direcionado e definido segundo as diretrizes da norma Passive House e os princípios que estão associados a este conceito isto é, define uma arquitetura compacta, com um baixo fator de forma; evita locais não aquecidos no interior do edifício; garante sistemas de janelas e portas de grande eficiência energética; tem em consideração as estratégias solares passivas, critérios estes que permitem uma melhor performance energética do edifício.



Figura 37 - O interior da Passive House na Costa Nova [38]

### 4.3.1 Soluções construtivas e avaliação de resultados

No âmbito da observância dos parâmetros que a norma exige é fundamental que esta moradia, como exemplo de Passive House adote uma série de soluções construtivas que viabilizem o cumprimento dos requisitos térmicos impostos. Com o objetivo de minimizar pontes térmicas e promover um desempenho ótimo do edifício na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento, foi necessário impor a esta moradia um nível de isolamento adequado. Na tabela seguinte podemos visualizar soluções construtivas utilizadas nos diferentes elementos da envolvente opaca do edifício.

Tabela 3 - Soluções construtivas para a envolvente opaca do edifício [39]

Descrição da solução construtiva		Valor de U W/(m <sup>2</sup> K)
PAREDE	ETICS (EPS) 100mm; Reboco 10mm; Bloco Térmico 200mm; Reboco 20mm;	0,285
COBERTURA	Telha Cerâmica; Ripado de madeira; Membrana transpirante; XPS 200mm entre barrotes de madeira 80x200 mm; Placa OSB 9 mm; Barreira de vapor; Forro de madeira 12mm;	0,231
LAJE TÉRREA	Betão de limpeza; XPS 60mm; Laje de betão armado 250mm; enchimento e regularização 100mm; revestimento final (variável);	0,408

No que se refere á envolvente transparente, onde os vão envidraçados são o elemento de maior relevância por várias razões entre as quais: possuem coeficiente de transmissão térmica elevado e permitem obter ganhos de energia através da radiação solar. Relativamente a esta moradia a solução construtiva escolhida passou por janelas com as seguintes características: caixilho de madeira com isolamento ( $U = 0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) e vidro triplo com argon ( $U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Esta opção possibilitou um balanço positivo das janelas, na estação de aquecimento, em 410 kwh/a,

com ganhos solares de 1384 kwh/a e perdas por transmissão de 874 kwh/a. O sombreamento é feito através de palas no pátio tardoz. O valor médio de U da janela instalada é de 0,77 W/ (m<sup>2</sup>K).

No que respeita à ventilação, foram definidos dois sistemas de ventilação com recuperação de calor, um para cada piso facultando assim a distinção entre as necessidades das diferentes zonas da moradia e assegurando a climatização e a qualidade do ar interior. O dispositivo selecionado para satisfazer estas funções foi a Unidade de ventilação com recuperação de calor Nilan Ct 300, sendo este equipamento certificado pelo PHI apresentando uma eficiência de recuperação de calor de 85% acima dos 75% impostos [38] [39].

No que se refere ao balanço energético a avaliação dos resultados obtidos passou pelo procedimento exigido isto é através do programa PHPP, onde se constata o cumprimento dos requisitos térmicos. Os valores finais destes parâmetros face aos valores limites, foram os que a seguir se enunciam [39]:

- Necessidades de Energia para Aquecimento:  $13 \leq 15 \text{ kWh/ (m}^2\text{.a)}$
- Carga de Aquecimento:  $10 \leq 10 \text{ W/ m}^2$
- Necessidades de Energia para Arrefecimento:  $1 \leq 15 \text{ kWh/ (m}^2\text{.a)}$
- Carga de Arrefecimento:  $5 \leq 10 \text{ W/ m}^2$
- Necessidades de Energia Primária:  $52 \leq 120 \text{ kWh/ (m}^2\text{a)}$
- Frequência de excesso de temperatura:  $3,1 \leq 10 \%$
- Estanquidade do ar - Blower Door Test:  $0,41\text{h} \leq 0,6\text{h}$

## **4.4 Outros Exemplos de Passive House**

### **4.4.1 Exemplo em Espanha**

A nova biblioteca de Villamediana de Iregua localizada na província de La Rioja, em Espanha foi concluída em 2015 e tornou-se o primeiro edifício público a ganhar a certificação Passive House no país vizinho. É um edifício de dois andares projetado para se integrar no ambiente adaptar e criar o máximo de espaço público possível [40].



Figura 38 -Vista 3D da nova biblioteca de Villamediana de Iregua [40]

O volume de construção é o resultado do cruzamento dos dois cubos e possui uma área total considerada de 616 m<sup>2</sup>. O grande cubo contém a área principal da Biblioteca, que são as salas de leitura para, crianças, jovens e adultos e está orientada para sul e oeste. A luz do sol é garantida em todos os espaços interiores graças a um pátio central com uma grande árvore 7 m de altura no interior inspirado no conceito de árvore do conhecimento. O pequeno cubo contém todos os serviços e espaços de circulação e é iluminada por uma clarabóia. As principais fachadas possuem com barras verticais que possibilitam o sombreamento e a limitação da entrada de energia solar. A cobertura é relvada, e funciona como um espaço verde para todo o ambiente circundante. A estrutura desta componente construtiva assenta na seguinte composição:

- Placa de 25 mm OSB (Oriented Strand Board) termo que designa lâminas de madeira, unidas com uma resina sintética.
- 200 mm XPS (placas em espuma rígida poliestireno extrudido)
- 5 mm EPDM (ethylene propylene diene terpolymer), definição de borracha sintética de etileno-propileno-dieno
- 5 mm geotêxtil
- 50 mm Betão
- 50 mm XPS



## O CONCEITO PASSIVE HOUSE

No que refere às paredes exteriores e no sentido de dotar as mesmas de isolamento térmico a solução construtiva escolhida foi ETICS com EPS que permitiu obter um valor de  $U = 0.154 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Os vãos envidraçados deste edifício formados por janelas de vidro triplo com argon que possibilitou um valor de  $U = 0.53 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Na componente da ventilação, este edifício possui um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor, composta por três recuperadores de calor de fluxo contracorrente, de alta eficiência. A climatização será assegurada por um sistema de aquecimento e ar condicionado através da utilização de uma bomba de calor. O sistema possui cinco unidades interiores com potência unitária 2,2 kW Frio / 2,8 kW Calor, dotados de sensores que detetam a presença de pessoas/utilizadores. Se não houver ninguém no local, param automaticamente o funcionamento do climatizador. Relativamente aos dados obtidos pelo PHPP, os resultados do balanço energético deste edifício são o que a seguir se apresentam:

- Necessidades de Energia para Aquecimento:  $13 \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Carga de Aquecimento:  $10 \leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$ ;
- Necessidades de Energia Primária:  $96 \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Estanquidade do ar - Blower Door Test:  $0,4\text{h} \leq 0,6\text{h}$



Figura 39 - Vista interior e exterior da biblioteca de Villamediana de Iregua [40]

#### 4.4.2 Exemplo em França

Em França, um exemplo Passive House é o edifício de habitação unifamiliar localizado em Bessancourt, perto de Paris. O edifício foi concluído em 2009, possui uma área útil de 161 m<sup>2</sup> e é formado por dois pisos foi construído em madeira (estrutura e paredes) é revestido integralmente por uma segunda camada em canas de bambu (figura 41) [5].



Figura 40 - Vista do edifício de habitação em Bessancourt [40]

O isolamento térmico das paredes exteriores é realizado com a utilização de 3,5 cm de fibras de madeira na base seguido de 24 cm de feixes de madeira com celulose e finalmente com 8,5 cm de madeira na superfície de contacto com o ambiente exterior permitindo obter um valor de  $U = 0,14 \text{ W/ (m}^2\text{K)}$ . Relativamente á cobertura a estratégia utilizada é igual diferenciando apenas o valor de cada componente, a laje é constituída por 7 cm de argamassa, 20 cm EPS e placa de betão de 18 cm.

No que diz respeito aos vãos envidraçados procedeu-se á utilização de estruturas envidraçadas com vidro triplo, que possibilitou alcançar um valor de  $U = 0,6 \text{ W/ (m}^2\text{K)}$ .

Esta moradia possui um sistema de ventilação com recuperação de calor com uma bomba de calor integrada. No sentido de reduzir as necessidades energéticas esta habitação utiliza um sistema fotovoltaico integrado na cobertura [5] [40].



Relativamente aos dados obtidos pelo PHPP, os resultados do balanço energético deste edifício são o que a seguir se apresentam:

- Necessidades de Energia para Aquecimento:  $11 \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Carga de Aquecimento:  $10 \leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$ ;
- Necessidades de Energia Primária:  $90 \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Estanquidade do ar - Blower Door Test:  $0,48\text{h} \leq 0,6\text{h}$

#### 4.4.3 Exemplo na Alemanha

O ginásio desportivo de Unterschleissheim localizado região da Alta Baviera, distrito de Munique construído em 2003, a arquitetura do edifício aponta para uma construção organizada de forma modular onde os componentes individuais foram montados de acordo com o princípio deste sistema. Este edifício possui uma área útil total de  $1000 \text{ m}^2$  e foi o primeiro ginásio a ser certificado como Passive House [40].



Figura 41 - Vista exterior (esquerda) e interior (direita) do ginásio desportivo de Unterschleissheim [40]

Relativamente às características construtivas as soluções adotadas para as paredes exteriores são constituídas da seguinte forma por painéis de madeira intercalados com fibra mineral possibilitando um valor de  $U = 0,088 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , no que se refere ao corredor de entrada optou-se pela colocação de envidraçados em toda a fachada no sentido de promover a luminosidade natural. Quanto á cobertura a estratégia utilizada para promover o isolamento térmico passou pela aplicação de 16 mm de painéis à base de madeira, 120 mm de fibra mineral, 280 mm de fibra mineral e 16 mm de painéis à base de madeira.

Os vão envidraçados utilizados são de vidro triplo tal como a norma Passive House determina, permitindo obter um valor de  $U = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

No que refere ao sistema de ventilação com recuperação de calor, foi implementada uma rede de aquecimento através da captação de energia geotérmica. Através do programa PHPP, obteve-se os seguintes valores [40]:

- Necessidades de Energia para Aquecimento:  $14 \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Carga de Aquecimento:  $8 \leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$ ;
- Necessidades de Energia Primária:  $84 \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Estanquidade do ar - Blower Door Test:  $0,2\text{h} \leq 0,6\text{h}$

#### **4.4.5 Exemplo na China**

O Projeto Passive House Bruck foi implementado em Zhejiang (Shanghai) no sul da China através de uma parceria entre a empresa Landsea Tecnology, o PHI e a Agencia de Energia da Alemanha. Este edifício concluído em 2014 é um complexo de apartamentos com cinco andares, formado por 36 de apartamentos, 6 suites executivas com quarto duplo e 4 conjuntos de apartamentos modelo com três quartos. Os apartamentos foram planeados de modo que as famílias chinesas, interessados nos benefícios de habitação sustentável, tivessem uma oportunidade de residir temporariamente no prédio.



Figura 42 - Passive House Bruck em Zhejiang (Shanghai) [40]

Relativamente às características dos elementos construtivos as soluções adotadas foram as seguintes: para as paredes exteriores passou pela utilização de materiais como betão e tijolo, EPS e gesso proporcionando um valor final de  $U: 0,162 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ ; para a laje térrea constituída por argamassa, betão leve, isolamento de impacto sonoro e betão com um valor final de  $U = 0.807 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ ; Quanto à cobertura os materiais utilizados para constituírem a estrutura foram gesso, betão leve, gesso de cimento, spray de espuma PU e betão com  $U = 0,807 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ .

O edifício adotou um sistema de ventilação com recuperação de calor e humidade e ainda a aplicação de duas bombas de calor, uma com a finalidade de garantir a carga de arrefecimento necessária e a outra para a carga de arrefecimento máximo (figura 44). O aquecimento das AQS é obtido através de um sistema de painéis solares térmicos dispostos na cobertura. Através do programa PHPP, obteve-se os seguintes valores, relativos ao balanço térmico [40]:

- Necessidades de Energia para Aquecimento:  $15 \leq 15 \text{ kWh} / (\text{m}^2.\text{a})$
- Carga de Aquecimento:  $8 \leq 10 \text{ W} / \text{m}^2$ ;
- Necessidades de Energia Primária:  $109 \leq 120 \text{ kWh} / (\text{m}^2.\text{a})$
- Estanquidade do ar - Blower Door Test:  $0,42\text{h} \leq 0,6\text{h}$

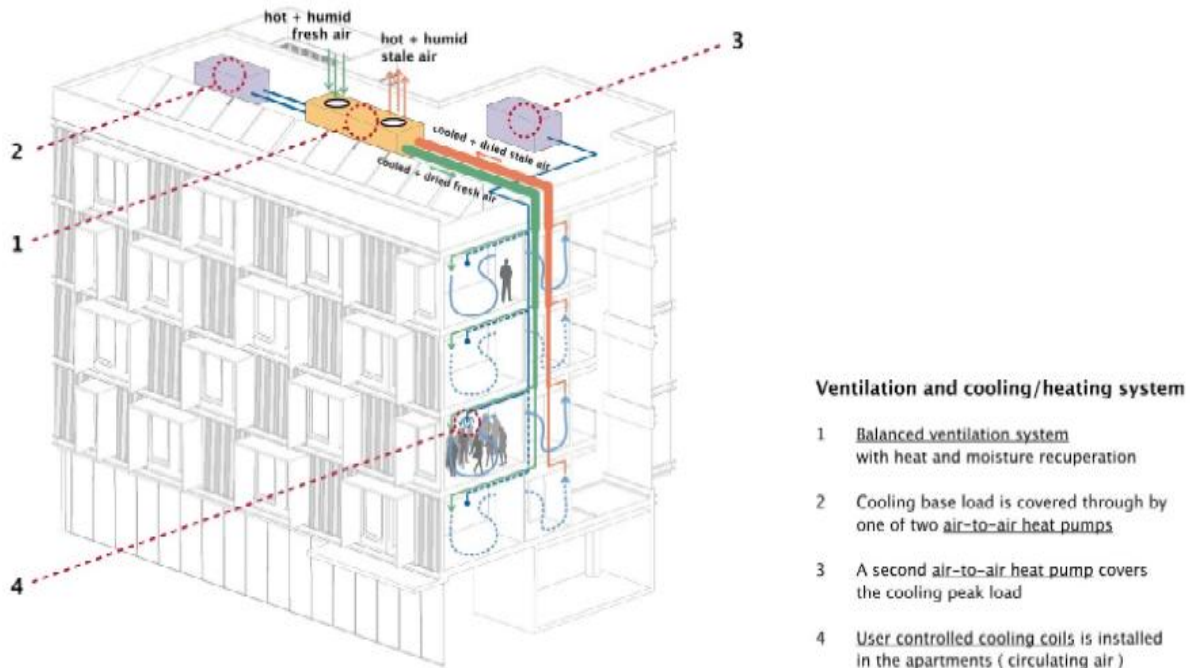


Figura 43 - Sistema de ventilação com recuperação de calor [38]

#### 4.4.5 Exemplo no Canadá

Um exemplo Passive House no Canadá é esta moradia moderna, construída em estrutura de madeira, localizada numa área residencial na cidade de Victoria. Em comparação com a maioria dos projetos de construção de casas passivas, este projeto tem uma forma relativamente complexa devido orientação em "T". Este edifício possui dois apartamentos, ocupa uma área de terreno de 251 m<sup>2</sup> e tem uma garagem exterior fora da envolvente térmica.

Relativamente aos elementos construtivos desta habitação, a estratégia passou pela utilização de paredes exteriores com estrutura de madeira e celulose com espessura de 191 cm com valor de  $U = 0,135 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ , a laje é constituída por betão e isolamento EPS de 406 mm com um valor final de  $U = 0,093 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ . Quanto à cobertura a opção passou pela utilização de lã de rocha com uma dupla camada de isolamento de 270 mm.

## O CONCEITO PASSIVE HOUSE



Figura 44 - Passive House em Victoria no Canadá [40]

Nesta moradia os vãos envidraçados são do tipo low-e e de vidro triplo com argon, possibilitando um valor de  $U = 0,74 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . No que diz respeito aos sistemas mecânicos esta Passive House incorpora uma unidade de ventilação e uma caldeira de aquecimento a gás de elevada eficiência. Através do programa PHPP, os dados disponíveis relativos ao balanço térmico são os que a seguir se apresentam [40]:

- Necessidades de Energia para Aquecimento:  $15 \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Necessidades de Energia Primária:  $106 \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Estanquidade do ar - Blower Door Test:  $0,47\text{h} \leq 0,6\text{h}$

# Capítulo V

## Conclusões Finais

## **Capítulo V – Conclusões Finais**

As novas diretivas europeias relativas á eficiência energética nos edifícios forjaram o interesse por uma construção mais sustentável. É neste âmbito atual que o conceito Passive House se torna relevante, pois segue uma “filosofia” construtiva que potencia diversas vantagens. Entre elas destacam-se, melhores condições de conforto e saúde em espaços interiores, a alta eficiência energética e a redução de custos energéticos.

Com o estado atual do mercado da construção, a certificação Passivhaus é algo que ainda requer um grande esforço em várias vertentes, para um edifício poder granjear deste estatuto. Na verdade, em muitos países as casas passivas ainda representam uma baixa quota de mercado. Fatores como o custo económico (uma Passive House exige um investimento superior a uma habitação comum) e a falta de informação em relação a este conceito são os aspetos que mais travam uma implementação completa deste padrão construtivo.

Ao longo deste trabalho foi possível constatar que na conceção de edifícios deve-se valorizar cada vez mais os aspetos funcionais e de eficiência energética, devendo dar-se primazia às soluções passivas em detrimento das ativas. Os edifícios devem ser encarados como sistemas térmicos, ou seja como elementos com características de transmissão e de armazenamento de energia.

O desenho passivo é uma visão global aberta a diversos tipos de interpretações, que variam de acordo a localização e o tipo de clima, os materiais utilizados e o tipo de arquitetura. A versatilidade deste conceito transforma-o numa ideia, uma ideia que pode ser o “ponto de ignição” para outras, com poder suficiente para mudar o mundo e o paradigma atual.

## **Bibliografia**

- [1] educacao.globo.com/artigo/questao-energetica-na-atualidade.html (27/7/2016 - 14:41);
- [2] Energy and Climate Change (2015) – World Energy Outlook Special Report (27/7/2016 – 14:55);
- [3] ExxonMobil - Panorama Energético: Perspetivas para 2040 – Destaques – Revista Eletrónica (28/7/2016 – 22:01)
- [4] World Energy Outlook 2014 – Revista Eletrónica (28/7/2016);
- [5] Gavião, J. (2012), Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal – Tese de mestrado, Universidade do Minho, Portugal (29/7/2016 – 22:10);
- [6] Key World Energy Statistics 2015 – International Energy Agency (29/7/2016- 23:01);
- [7] IDN Cadernos - Segurança Nacional e Estratégias Energéticas de Portugal e de Espanha 2011 – (1/8/2016 – 19:01)
- [8] Cunha, F. (2015), Estudo de estratégias e tecnologias de climatização para atingir Edifícios NZEB – Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal – (1/8/2016 – 19:10);
- [9] Direção Geral de Energia e Geologia - www.dgeg.pt – (1/8/2016 – 19:23);
- [10] Dias, S. (2015) - Os sistemas energéticos para habitação autossustentável em clima Português: simulação e análise energética – Dissertação de mestrado – Universidade de Lisboa, Portugal (2/8/2016 – 13:40);
- [11] Oliveira, B. e Craveiro, F. (2007), Eficiência Energética de Edifícios - Projeto de Instalações, Potencial de Economia e Energia em Edifícios Públicos da Região Oeste e Vale do Tejo, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal – (2/8/2016 – 15:40);
- [12] Dias, J. (2015) - Integração de Energias Renováveis num modelo de Edifício de Balanço Energético Quase Zero (NZEB) – Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, Portugal – (3/8/2016 – 16:55);
- [13] Pereira, B. (2012) - A Crise na Construção e a Reabilitação como Solução – Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Fernando Pessoa, Portugal – (25/8/2016 – 15:40);



- [14] Ganhão, A. (2011) - Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação – Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Portugal – (4/8/2016 – 18:50);
- [15] Decreto-Lei nº40/90. Diário da República (I Série) - Nº31. (1990.02.06). Páginas 490-504 – (5/8/2016 – 14:58);
- [16] Associação de Energias Renováveis – APREN - [www.apren.pt](http://www.apren.pt) – (31/8/2016 – 20:51);
- [17] Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) - Luis Silva, ADENE,2010 – Agência para a Energia – (31/8/2016 – 21:46);
- [18] Cardoso, F. e Ascenso, R. - Tema de Capa - Passivhaus, As Novas Casas Passivas – artigo de revista eletrónica – (31/8/2016 – 21:50);
- [19] Passive House Institut - [www.passivehouse.com](http://www.passivehouse.com) – (4/9/2016 – 22:08);
- [20] Figueira, J. (2014) - Simulação do Comportamento Térmico e Energético de Passive Houses em Portugal – Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal – (4/9/2016 – 22:10);
- [21] Costa, S. (2015) - Eficiência Energética de Edifícios: Conceito Passivhaus – Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, Portugal (7/9/2016 – 23:07);
- [22] Passive-On Project - [www.eerg.it/passive-on.org/pt/details.php](http://www.eerg.it/passive-on.org/pt/details.php) - (9/9/2016 - 23:23);
- [23] Almeida, E. (2013) - Casas Passivas: Conceito Passivhaus em Climas Mediterrâneos – Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal (12/9/2016 – 17:26);
- [24] Grangeia, R. (2013) - Passivhaus em Portugal: Viabilidade Económica – Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal (13/9/2016 – 15:11);
- [25] Jorge, A. (2013) - Convergência para NZEB de um edifício classificado – Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal (14/9/2016 – 20:54);
- [26] Oliveira, R. (2013) - Construir segundo requisitos Passivhaus: Modelação de Pontes Térmicas – Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal (14/9/2016 – 20:59);
- [27] Santos, A. (2012) – Sistema de Inspeção e Diagnóstico de Caixilharias – Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Portugal (15/9/2016 – 18:52);

- [28] Gomes, R. (2010) - Estudo e Conceção de Sistemas de Ventilação Natural em Edifícios de Habitação – Dissertação de mestrado, Universidade da Madeira, Portugal (16/9/2016 – 15:50);
- [29] Silva, F. (2008) - Impacto Energético de Ventilação Mecânica e Recuperação de Calor em Edifícios Residenciais de Portugal – Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (16/9/2016 – 19:10),
- [30] Marcos, A. (2013) - Vãos Envidraçados em Edifícios de Habitação: Otimização, Eficiência Energética e Análise Económica – Dissertação de mestrado – Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa, Portugal (17/9/2016 – 19:20);
- [31] [www.extrusal.pt/index.php?id=36&prt=21](http://www.extrusal.pt/index.php?id=36&prt=21) - (23/9/2016 – 20:57);
- [32] [www.anavidro.com.br/o-que-e-vidro-low-e-2/](http://www.anavidro.com.br/o-que-e-vidro-low-e-2/) ;
- [33] Passipedia – The Passive House Resource - PHPP – Passive House Planning Package – (29/9/2016 – 12:45),
- [34] Gomes, J. (2010) - Tecnologias de Construção Associadas aos Sistemas Sustentáveis de Produção de Água Quente e de Climatização em Edifícios – Dissertação de mestrado – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal (29/9/2016 – 12:55);
- [35] A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa: Diretrizes de Projeto para Casas Confortáveis de Baixo Consumo Energético - Passive On Project – IEEA – (3/10/2016 – 19:50);
- [36] Silva, P.; Carlos, J.; Corvacho, H. e Castro-Gomes, J. (2014) - Eficiência energética na construção sistemas de pré-aquecimento passivo do ar de ventilação – parte ii – Página 44-47 (11/10/2016 – 14:33);
- [37] [www.southzeb.eu/pt-pt/portfolio/passive-houses-ilhavo-houseb/](http://www.southzeb.eu/pt-pt/portfolio/passive-houses-ilhavo-houseb/) - (14/10/2016 – 23:59);
- [38] Associação Passivhaus Portugal - [www.passivhaus.pt/projectos.html](http://www.passivhaus.pt/projectos.html) - (14/10/2016 - 23:59);
- [39] Gavião, J. e Marcelino, J. (2015) Primeira Passive House no setor do Turismo em Portugal – Eficiência Energética – revista eletrónica – (16/10/2016 – 17:49);
- [40] Passive House Database - [www.passivhausprojekte.de/index.php?lang=en#d\\_4420](http://www.passivhausprojekte.de/index.php?lang=en#d_4420) – (17/10/2016 – 18:43)
- [41] Diretiva 2010/31/EU do Parlamento e Conselho Europeu de 19 de Maio de 2010 relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (5/8/2016 – 16:00);