



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**Estudo de Soluções Construtivas Aplicadas
à Reabilitação Energética de Edifícios**

Marcos António Aragão Torrado

Dissertação

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ÁREA DE CONSTRUÇÃO

ORIENTADOR: Professor Doutor António Manuel de Sousa Baltazar Mortal

CO-ORIENTADOR: Professor Doutor Alfredo Manuel Gonçalves da Silva Braga

Janeiro de 2013

SUMÁRIO

A aposta na reabilitação do parque edificado, conduzirá a inequívocos benefícios a nível social, económico e ambiental, assegurando-se assim uma acrescida sustentabilidade do setor da construção civil de impacte tão determinante na nossa vida.

Esta dissertação desenvolver-se-á com o intuito de estimular a reabilitação do parque patrimonial edificado português, estudando soluções diversificadas, processos construtivos e disposições arquitetónicas que permitam assegurar uma evolução em termos de reduções do consumo energético e consequentes emissões de gases poluentes.

Para tal, analisar-se-á um caso prático de uma moradia no Algarve que apresenta um comportamento térmico deplorável, e onde se estudará o impacte de uma intervenção a nível energético, como o isolamento da envolvente, a aplicação de envidraçados mais apropriados para clima algarvio ou a aplicação de sombreamentos. Será efetuado um balanço a nível de impacte ecológico e económico, averiguando-se a redução de emissões poluentes, o investimento necessário e o seu tempo de retorno.

Palavras-Chave: Reabilitação Energética, Eficiência Energética, Arquitetura Bioclimática.

Study of Constructive Solutions Applied in the Energetic Rehabilitation of Buildings

ABSTRACT

Betting on the rehabilitation of the building stock will lead to unequivocal social, economic and environmental benefits, therefore ensuring an increased sustainability of the civil construction sector which has a determinant impact on our lives.

This dissertation will develop in order to stimulate the rehabilitation of the Portuguese built heritage park, studying diverse solutions, construction processes and architectural dispositions that can ensure an evolution in terms of energy consumption reductions and consequent greenhouse gas emissions.

To do so, it will be analyzed a case study of a dwelling in Algarve with deplorable thermal behavior, studying the impact of an energetic intervention, such as the insulation of the envelope, the application of glazing more suitable for Algarve's climate or the application of shadings. An assessment will be conducted environmentally and economically by examining the reduction of pollutant emissions, the required investment and his return time.

Key-Words: Energetic Rehabilitation, Energy Efficiency, Bioclimatic Architecture.

ÍNDICE

SUMÁRIO

ABSTRACT

1. Introdução.....	1
1.1. Estrutura da dissertação.....	3
2. Reabilitação de Edifícios.....	5
2.1. Situação do Parque Edificado e Mercado Imobiliário	5
2.2. Porquê Reabilitar?	10
2.3. Exigências de Sustentabilidade	11
3. Energia e Ventilação nos Edifícios.....	17
3.1. Influência do Clima na Arquitetura dos Edifícios.....	17
3.1.1. Caracterização do Clima Português	17
3.1.2. Movimento Aparente do Sol	20
3.2. Consumos Energéticos	22
3.3. A Importância da Ventilação.....	27
4. Soluções construtivas de reabilitação energética.....	29
4.1. Inércia Térmica	29
4.2. Isolamento Térmico.....	32
4.2.1. Isolamento Térmico em Paramentos	34
4.2.2. Isolamento Térmico em Coberturas	39
4.3. Envidraçados	43
4.4. Soluções Passivas / Arquitetura Bioclimática	46
4.4.1. Soluções Passivas de Aquecimento.....	47
4.4.2. Soluções Passivas de Arrefecimento	51
4.5. Soluções de Captação e Conversão de Energia.....	56
4.5.1. Painéis Solares Fotovoltaicos.....	56
4.5.2. Coletores Solares Térmicos.....	57
4.5.3. Energia Eólica	58
5. Caso de Estudo	59
5.1. Objetivos	59
5.2. Metodologia	59

5.3.	Caraterização do Edifício	60
5.4.	Caraterização Energética do Edifício	61
5.4.1.	Situação Atual	62
5.4.2.	Proposta de Reabilitação 1 (Isolamento da Envolvente Opaca)	64
5.4.3.	Proposta de Reabilitação 2 (Substituição dos Vãos Envidraçados)	67
5.4.4.	Proposta de Reabilitação 3 (Implementação de Sombreamentos)	69
5.4.5.	Proposta de Reabilitação 4 (Reabilitação Geral).....	72
5.4.6.	Proposta de Reabilitação 5 (Implementação de Meios Ativos)	74
5.5.	Análise de Resultados	76
6.	Conclusão	79
7.	Bibliografia	83

Anexos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Idade do parque edificado português baseada nos Censos de 2011 (Fonte: (INE, Censos 2011 - Resultados Provisórios, 2011)).....	6
Figura 2 - Segmento da reabilitação no sector da construção em 2002. (Fonte: Euroconstruct, 2003).....	6
Figura 3 – Importância do consumo de energia intrínseco dos materiais (Fonte: (Thirion)).....	13
Figura 4 - Classificação Climática de Koppen na Península Ibérica (Fonte (DPAEME, 2011)) .	18
Figura 5 – Médias Anuais da Temperatura e Pluviosidade (Fonte: (Miranda, et al., 2005)).....	19
Figura 6 – Translação da Terra em volta do Sol (Fonte: (Cunha, 2005))	21
Figura 7 – Variação do ângulo de incidência da radiação solar nos solstícios de Verão e Inverno (Fonte: (Instalação Sistemas Solares Fotovoltaicos))	21
Figura 8 – Quotização do consumo de energia em Portugal no ano de 2009 (Fonte: (INE/DGEG, 2011))	22
Figura 9 – Evolução do consumo energético dos edifícios de habitação e da sua quota no consumo total (Fonte: (INE/DGEG, 2011)).....	23
Figura 10 – Evolução da quotização dos diversos tipos de fontes energéticas (Fonte: (INE/DGEG, 2011)).....	23
Figura 11 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização (Fonte: (INE/DGEG, 2011)).....	25
Figura 12 – Distribuição do consumo de energia para aquecimento (Fonte: (INE/DGEG, 2011))	25
Figura 13 – Distribuição da despesa energética para aquecimento do ambiente (Fonte: (INE/DGEG, 2011)).....	26
Figura 14 – Quotização do tipo de fonte energética para preparação de AQS (Fonte: (INE/DGEG, 2011)).....	26
Figura 15 – Importância da inércia térmica na oscilação da temperatura interior (Fonte: (Moita, 2010))	30
Figura 16 – Efeito da inércia térmica na redução das necessidades energéticas de climatização (Fonte: (Lobão, 2004))	31
Figura 17 – Exemplos de soluções de isolamentos interiores (Fonte: (DGEG, 2004))	35
Figura 18 – Exemplo da aplicação de placas de isolamento na caixa-de-ar de um paramento. ...	36
Figura 19 – Exemplos de aplicação do isolamento pelo exterior (Fonte: (DGEG, 2004))	37
Figura 20 – Exemplo de um revestimento isolante (Fonte: DiaSen)	38
Figura 21 – Exemplo da aplicação de isolamento térmico em coberturas inclinadas (Fonte: (DGEG, 2004)).....	40
Figura 22 – Exemplos da isolação térmica de um edifício com desvão não aquecido (Fonte: (DGEG, 2004)).....	41
Figura 23 – Solução de isolamento térmico em coberturas invertidas (Fonte: (DGEG, 2004)) ...	42

Figura 24 – Ilustração da aplicação de painéis isolantes pré-fabricados (Fonte: Grazimac)	42
Figura 25 – Métodos de transferência do calor para o interior de uma parede de trombe (Fonte: (Özbalta & Kartal, 2010))	49
Figura 26 – Funcionamento de uma parede de trombe ao longo do ano (Fonte: (CAD, 2007)) .	49
Figura 27 – Exemplo de parede de trombe com correto sombreamento através do beirado (Fonte: (CAD, 2007))	50
Figura 28 – Ilustração de sistema de sombreamento fixo - palas (Fonte: (CAD, 2007)).....	53
Figura 29 - Sistema de sombreamento com recurso á vegetação (Fonte: (CAD, 2007)).....	53
Figura 30 – Diagramas de pressões derivadas da ação do vento em diferentes orientações (Fonte: (Moita, 2010))	54
Figura 31 – Telhado Solar (Fonte: (Awbi, 1998))	56
Figura 32 – Exemplo de painel solar fotovoltaico	57
Figura 33 – Exemplo de painel solar térmico	57
Figura 34 – Exemplo da aplicação de um aerogerador a uma habitação (Fonte: (PETElétrica, 2011))	58
Figura 35 – Vista aérea da moradia (Fonte: Bing Maps)	61

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Número, Tipo e Localização dos Alojamentos (Fonte: I.N.E. Censos 2011 – Resultados Provisórios).....	7
Quadro 2 – Forma de Ocupação dos Alojamentos (Fonte: I.N.E. Censos 2011 – Resultados Provisórios)	7
Quadro 3 – Tipologia dos envidraçados por número de alojamento e orientação (Fonte: I.N.E/D.G.E.G., 2011).....	9
Quadro 4 – Número de alojamento termicamente isolados (Fonte: I.N.E/D.G.E.G., 2011).....	10
Quadro 5 – Consumo de energia e emissões de CO ₂ intrínsecos dos materiais (Adaptado de(AEA, 2010)).....	14
Quadro 6 – Energia intrínseca associada ao isolamento de uma cobertura (Adaptado de (AEA, 2010))	15
Quadro 7 – Distribuição do consumo e despesa consoante o tipo de fonte (Fonte: (INE/DGEG, 2011))	24
Quadro 8 – Consumo de energia por tipo de fonte e utilização (Fonte: (INE/DGEG, 2011)).....	24
Quadro 9 – Poupança anual nas emissões de CO ₂ numa habitação média no Reino Unido (Fonte: (AEA, 2010)).....	32
Quadro 10 – Sondagem de mercado para soluções de ETICS	39
Quadro 11 – Características dos materiais dos caixilhos (Fonte: (EWC)).....	45
Quadro 12 – Relação entre a área da parede de Trombe e o seu espaço adjacente (Adaptado de Moita, 2010).....	50
Quadro 13 – Área de captação solar de uma estufa em função do compartimento que serve (Adaptado de Moita, 2010)	51
Quadro 14 – Levantamento dimensional da moradia.....	62
Quadro 15 – Necessidades Energéticas na Situação Atual	64
Quadro 16 – Impacte da isolamento térmica dos elementos opacos nas características térmicas dos diferentes elementos da envolvente.....	66
Quadro 17 - Necessidades Energéticas com Isolamento Térmico na Envolvente	66
Quadro 18 – Resultados da Introdução da Melhoria 1	67
Quadro 19 – Impacte da alteração dos vãos nas características térmicas dos diferentes elementos da envolvente.....	68
Quadro 20 - Necessidades Energéticas com Alteração dos Caixilhos	68
Quadro 21- Resultados da Introdução da Melhoria 2	69
Quadro 22 – Impacte da implementação de sombreamentos nas características térmicas dos diferentes elementos da envolvente.....	70
Quadro 23 - Necessidades Energéticas com Implementação de mais sombreamentos	71
Quadro 24 - Resultados da Introdução da Melhoria 3	71

Quadro 25 - Impacte da implementação de sombreamentos nas características térmicas dos diferentes elementos da envolvente.....	72
Quadro 26 - Necessidades Energéticas com implementação conjunta das melhorias	73
Quadro 27 - Resultados da Introdução da Melhoria 4	73
Quadro 28 - Necessidades Energéticas com implementação conjunta das melhorias passivas e de painéis solares térmicos.....	74
Quadro 29 - Necessidades Energéticas com implementação conjunta das melhorias passivas e painéis solares fotovoltaicos.....	75
Quadro 30 – Quadro resumo das propostas de reabilitação preconizadas	78

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existe uma crescente preocupação sobre o impacto do Homem contemporâneo no meio ambiente. Desde as suas atividades básicas, às suas atividades fabris de larga escala, a interação é constante, pelo que cada vez mais se justifica harmonizar essa relação.

Num mundo pós-revolução industrial que se rege pelas regras financeiras e que é altamente monopolizado pelo petróleo, o impacto sobre o meio ambiente foi frequentemente esquecido ou negligenciado, sendo muitas vezes sufocado pela palavra de ordem “Evolução”. Contudo, hoje em dia, essa forma de pensar já não é considerada uma verdade absoluta, observando-se uma nítida alteração na conduta da sociedade em geral.

Estamos perante uma crescente consciencialização de que alguns problemas como a redução das reservas de recursos, o aquecimento global e a depleção da camada do ozono são problemas reais e sérios, que podem, e estão, a afetar o nosso planeta de forma irremediável. Estes problemas ambientais, gerados em grande parte pelas atividades dos seres humanos, começam atualmente a atingir níveis críticos e, caso não exista uma intervenção rápida que vise a alteração do comportamento da sociedade, possivelmente provocarão permanentes e irreversíveis alterações no planeta, de tal forma que se este se torne inóspito.

Como é evidente, a alteração do comportamento de uma sociedade não é algo simples e obriga a enfrentar uma inércia intelectual própria de cada um de nós, e ainda da forma como cada indivíduo ou grupo interpreta o problema ou pura e simplesmente o ignora. Nesse sentido é crucial a atuação de organismos soberanos de comando que zelem pelo interesse maior da comunidade e meio ambiente para que estes problemas ambientais se tornem, mesmo que de forma forçada, uma preocupação para todos a nível global.

Protocolos ambientais que visam a preservação ambiental e a sustentabilidade de recursos, têm vindo a ser assinados pelas principais nações a nível mundial, demonstrando uma cooperação à escala global no combate a esta ameaça. Nesses documentos são normalmente fixadas metas que visam a redução dos impactos ambientais associados às atividades do Homem, contemplando contudo a satisfação das nossas necessidades atuais.

Em 2009 a União Europeia (UE) aprovou uma norma que visa a sustentabilidade energética dentro dos estados membros, a Diretiva Europeia 2009/28/EC (Diretiva 20-20-20), onde impõe metas de cariz ambiental de forma a existir uma maior sustentabilidade na utilização da energia. Um dos fatores chave para o cumprimento de tais metas concerne o aumento da eficiência energética em todos os setores, desde o setor industrial, ao dos transportes e, mais no âmbito deste trabalho, dos edifícios.

A energia é, nos dias de hoje, um bem essencial e praticamente todas as atividades do Homem durante o seu dia-a-dia envolvem, de alguma forma, o consumo de energia em pequenas ou grandes quantidades. Infelizmente é ainda hoje algo que se obtém maioritariamente através do

processamento nocivo e prejudicial para o meio ambiente de recursos esgotáveis como o petróleo, o gás natural, o carvão, os designados combustíveis fósseis, matérias-primas existentes na natureza que levam milhares de anos a desenvolverem-se e que são atualmente exploradas a ritmos elevadíssimos.

Focando a situação europeia esta problemática torna-se mais complexa, uma vez que a UE importa grande parte da energia que consome (cerca de 50%, segundo dados da Direção Geral de Energia e Transporte (DG TREN) em 2007), energia que, como referido acima, é produzida essencialmente através de combustíveis fósseis. Em Portugal a situação tem contornos realmente críticos, pois há uma dependência quase exclusiva da importação para satisfação das suas necessidades energéticas, importando uma quota superior a 80% da energia consumida, algo que, além dos evidentes danos ambientais que provoca, implica a existência de despesas bastante significativas na importação de matéria-prima (DG TREN, 2008).

O estilo de vida atual faz com que aspetos como a iluminação, a climatização e outras atividades associadas ao conforto interior dos edifícios sejam uma obrigatoriedade, levando a um consumo de energia considerável para a sua satisfação. Isto torna os edifícios responsáveis por grande parte do consumo energético a nível global. Só em Portugal estima-se que cerca de 29% de toda a energia seja consumida pelos edifícios, entre edifícios de serviços e habitação, o que provoca a emissão de uma enorme quantidade de gases poluentes para a atmosfera (cerca de 2,47 milhões de toneladas de CO₂ só no setor doméstico) (INE/DGEG, 2011). Assim sendo, tem-se no setor imobiliário uma frente de ataque que se pode revelar preponderante para o cumprimento das metas fixadas na Diretiva 20-20-20, assim como uma importante ferramenta para o relançar da economia portuguesa.

É então perante este panorama ambiental fragilizado, e em conjugação com a profunda crise económica que o país atravessa, que a reabilitação energética de edifícios poderá ser uma solução.

Uma intervenção ao nível das soluções construtivas implementadas num edifício visando o aumento das suas características de comportamento térmico, tais como o correto isolamento da sua envolvente, pode influenciar de forma significativa o seu consumo de energia e, consequentemente, as emissões de gases de efeito de estufa provenientes da produção da mesma. Procedeu-se ao estudo de soluções construtivas visando a reabilitação a nível energético de uma construção selecionada no Sul de Portugal, visando promover a diminuição do consumo de energia e das emissões de dióxido de carbono CO₂ para a atmosfera, através do aumento da eficiência energética.

A generalização cuidada da análise efetuada permitirá aferir que, tendo em consideração o vasto parque habitacional que Portugal possui, poder-se-á marcar a diferença em termos ambientais, caso se opte pela reabilitação energética deste, ao invés do seu alargamento. Esta escolha implicaria, ainda, evidentes benefícios a nível económico, permitindo a Portugal reduzir as suas despesas relacionadas com a importação de energia.

1.1. Estrutura da dissertação

Esta dissertação será constituída por seis capítulos. Neste primeiro capítulo será efetuado um enquadramento às temáticas que aqui serão abordadas enfatizando o propósito e motivação de elaboração desta investigação.

No segundo capítulo abordar-se-á a situação atual do parque edificado português, onde se realça o crescente abandono dos edifícios antigos e a proliferação de edifícios novos sem qualquer utilização, relacionando essa situação com as vantagens a diversos níveis da reabilitação do parque edificado existente, desde ambientais a sociais e económicas.

No terceiro capítulo, faz-se uma análise breve às características do clima mediterrânico português, que permitirá verificar os condicionalismos existentes e as soluções construtivas a adotar durante uma intervenção de reabilitação energética de um edifício. Os consumos energéticos associados particularmente aos edifícios de habitação serão contabilizados visando identificar os principais gastos de uma habitação corrente, bem como a importância da ventilação no interior dos edifícios como ferramenta fundamental para a existência de boas condições de salubridade.

No quarto capítulo, pretendendo-se encontrar soluções de reabilitação energética e sendo essencial o aumento da eficiência energética, procurar-se-ão prioritariamente soluções de índole passiva (essencialmente), ou seja, que sejam parte integrante do edifício e não aparelhos acessórios ao mesmo. Mencionar-se-ão as soluções mais comuns no mercado para cada elemento da envolvente do edifício, desde os paramentos, à cobertura e aos envidraçados, bem como diversas soluções de índole passiva e ativa que influenciem o comportamento energético de edifício.

No quinto capítulo será apresentado um caso de estudo, visando exemplificar uma reabilitação energética. Tratar-se-á de uma análise ao comportamento térmico atual de uma moradia de habitação existente no Algarve utilizando a metodologia de cálculo do Regulamento Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Com este caso estudo pretende-se demonstrar que através da aplicação de soluções construtivas e disposições arquitetónicas criteriosamente escolhidas para este caso específico, será possível uma inequívoca melhoria da sua resposta energética de forma a assegurar um acréscimo do nível de conforto interior, bem como os inerentes benefícios a nível ambiental e económico. Será também efetuada uma estimativa dos custos do investimento necessário para estas intervenções, bem como uma análise da previsível poupança a nível de consumo energético e financeiro resultante do emprego das soluções isoladamente ou em conjunto.

Por último, no sexto capítulo, serão mencionadas as conclusões extraídas desta dissertação.

2. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

De forma a enquadrar devidamente o tema da reabilitação de edifícios ir-se-á primeiramente fazer um ponto de situação sobre o corrente estado do parque edificado e do mercado imobiliário em Portugal. Seguidamente analisar-se-á as vantagens associadas à reabilitação de edifícios e, finalmente, as razões da opção pela reabilitação em detrimento da construção nova.

2.1. Situação do Parque Edificado e Mercado Imobiliário

O sector da construção tem, até agora, vindo a representar extrema importância para a atividade económica do nosso país, constituindo parte significativa do Produto Interno Bruto (PIB) português. Em 2009 este setor representou cerca de 5,9% do PIB e empregando cerca de 491 100 trabalhadores, ou seja, cerca de 9,8% do total de empregados (INE, Contas Nacionais Anuais de 2009, 2011).

Com a enorme crise económica que o país atravessa, torna-se necessária uma intervenção rápida para voltar a dinamizar este sector. A reabilitação de edifícios pode ser parte importante da resposta a este problema, uma vez que constitui uma área com enorme potencial de exploração e que tem sido esquecida no nosso país.

Desde os anos 70 até aos dias de hoje tem-se assistido a uma desmedida procura pela construção nova, sendo esta a primeira opção para satisfazer as necessidades da população. Desta forma, Portugal encontra-se no grupo de países que menos investe na reabilitação. Esta tendência, com auge nos anos 80 e 90, deveu-se em parte à mobilização da população para os centros urbanos após a revolução de 25 de Abril de 1974 (Ferreira M. A., 2009).

O aumento de população nos centros urbanos levou então ao crescimento das cidades para o exterior dos seus limites e conseqüente abandono dos centros históricos, onde as diversas imposições municipais para a manutenção dos mesmos contribuíram também a afastar os investimentos nessa área, tida como complicada e pouca atrativa.

Dados dos Censos de 2011, representados na Figura 1, indicam que o parque habitacional português tem sofrido um aumento significativo ao longo dos anos, a exemplo disso está o facto de os edifícios construídos até 1960 (cerca de 899 379 edifícios) representarem somente um quarto do mesmo, traduzindo-se assim num parque edificado muito jovem.

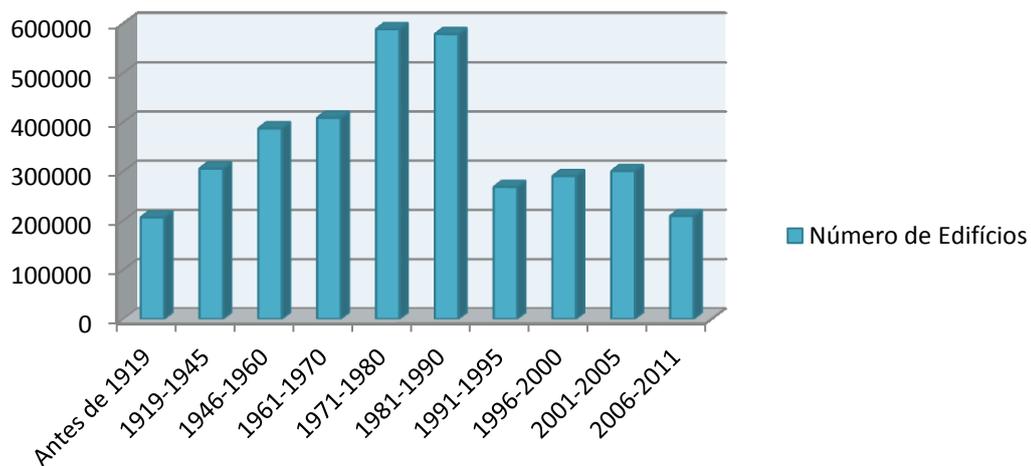


Figura 1 - Idade do parque edificado português baseada nos Censos de 2011 (Fonte: (INE, Censos 2011 - Resultados Provisórios, 2011))

Em 2003, e segundo dados do Euroconstruct (rede europeia vocacionada para a análise do setor da construção) apenas 6,6% dos trabalhos no setor da construção em Portugal correspondiam a trabalhos de reabilitação, ao contrário de muitos países europeus, onde essa parcela ronda os 40% (ver Figura 2).

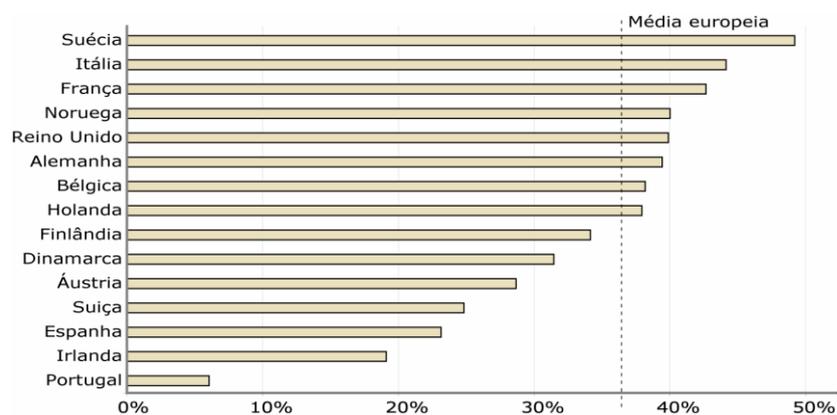


Figura 2 - Segmento da reabilitação no sector da construção em 2002. (Fonte: Euroconstruct, 2003).

Este tipo de comportamento social leva a que exista um grande número de novos edifícios, mais do que os necessários para a procura existente, levando assim ao não aproveitamento dos mesmos. Contudo também se verifica em determinados casos situações de sobre alojamento.

Os Censos de 2011 voltam a confirmar esse mesmo crescimento, existindo um aumento “de respetivamente 12,1% e 16,3% no número de edifícios e de alojamentos, fixando-se em 3 543 595 edifícios e 5 877 991 alojamentos” (INE, Censos 2011 - Resultados Provisórios, 2011), ou seja, em 10 anos o território nacional ficou com aproximadamente mais 380 mil edifícios destinados à habitação, equivalendo a cerca de 828 mil alojamentos (ver Quadro 1).

Quadro 1 – Número, Tipo e Localização dos Alojamentos (Fonte: I.N.E. Censos 2011 – Resultados Provisórios)

Número de alojamentos em 2011			
Localização	Total	Alojamentos Familiares	Alojamentos Coletivos
Continente	5.638.503	5.626.804	11.699
Açores	109.846	109.429	417
Madeira	129.642	129.157	485
Total	5.877.991	5.865.390	12.601

Atualmente, “em Portugal os alojamentos familiares distribuem-se por residências habituais (68,2%), residências secundárias (19,3%) e alojamentos vagos (12,5%) ” (ver Quadro 2), isto significa a “existência de 734 846 alojamentos familiares que se encontravam na situação de vagos (designadamente para venda e para arrendamento) ” (INE, Censos 2011 - Resultados Provisórios, 2011).

Quadro 2 – Forma de Ocupação dos Alojamentos (Fonte: I.N.E. Censos 2011 – Resultados Provisórios)

Número de alojamentos familiares em 2011				
Localização	Total	Residência habitual	Residência secundária	Vago
Continente	5.626.804	3.824.696	1.098.336	703.772
Açores	109.429	80.517	15.410	13.502
Madeira	129.157	92.165	19.420	17.572
Total	5.865.390	3.997.378	1.133.166	734.846

Esta situação leva a que exista um enorme volume de dinheiro preso a investimentos sem retorno. De forma simplificada, e dados os números expostos no Quadro 2, é possível verificar que existem mais de 1,1 milhões de residências secundárias (muitas vezes com muito pouco utilização) e 0,7 milhões de residências vagas, pelo que se se atribuir o preço médio de 100 000€ a cada se deduz que existem no nosso país 180 mil milhões de euros investidos em alojamentos, alguns deles indevidamente aproveitados, com maior destaque para o caso dos alojamentos vagos.

Realçando esta realidade do setor da construção está o facto de em Portugal, o setor da construção ter crescido a um ritmo muito superior ao da média europeia (uma média anual dez vezes superior) e que se traduzia, entre 1999 e 2002, na construção de cerca de 290 casas por dia. Fazendo a comparação com Itália, país mediterrâneo que apresenta muitas semelhanças com Portugal (embora com uma população quase seis vezes superior com cerca de 57 milhões de habitantes), em 1999 foram construídas em Itália aproximadamente 211 000 habitações face às 106 000 portuguesas. Estes valores realçam o estado desenfreado do setor da construção português, onde a construção de novas habitações se configura muitas vezes como a única solução viável. De realçar que Portugal possuía em 1999 um índice de 1,4 habitações por agregado familiar face aos 1,2 italianos (Cóias, 2004).

A crescente dificuldade de acesso a um empréstimo bancário por parte das famílias para a compra de habitação, a existência de muitos projetos de loteamentos ainda por realizar e a enorme

queda do preço das habitações fruto da pouca procura, faz com que a perspectiva para o futuro próximo do mercado imobiliário não seja de crescimento. Surge então uma janela de oportunidade para um novo mercado, o do arrendamento. Este novo mercado poderá ver a sua importância realçada com a aprovação da Nova Lei das Rendas, que pretende redinamizá-lo de forma a auxiliar as famílias que têm mais dificuldade de crédito a suprir as suas necessidades de habitação.

Esta nova legislação que entrará em vigor brevemente e forçará a que exista uma atualização das rendas antigas, tentando também proteger os senhorios de prejuízos financeiros superiores. Espera-se que esta medida faça este mercado sair da situação de estagnação que vive e se torne novamente num mercado atrativo e lucrativo para os senhorios e que estes tenham então possibilidade de continuar a investir no seu património habitacional, ao invés do que tem acontecido até hoje, em que as rendas antigas não são compensatórias para tais investimentos. Esta situação contribui para atual conjuntura de empobrecimento, decadência e abandono a que está sujeito grande parte do edificado português, principalmente os edifícios mais antigos.

Contudo, além desta situação existem outros fatores que têm contribuído para o estado inoportuno de estagnação do sector da reabilitação de edifícios. Os principais constrangimentos resultam essencialmente de inadequadas políticas e fracos meios de financiamento, entre eles estão:

- O facto do mercado de arrendamento não se apresentar como uma alternativa viável devido á crescente falta de confiança no mesmo, fomentou o crescimento do número de fogos vagos e inerente degradação (Santos, 2011);
- A ausência deste mercado fez com que a população se virasse para a compra de novas habitações e como tal contraísse empréstimos bancários que muitas vezes apresentavam reduzidas taxas de juros fruto de políticas de incentivo às custas dos contribuintes (Santos, 2011);
- Os municípios fomentaram a situação ao implementarem políticas fiscais que “favorecem a construção nova, passando a utilizá-la como fonte de receita” e dificultando licenciamento de obras de reabilitação com destaque para edifícios implantados em zonas classificadas (Santos, 2011);
- “Veja-se qual tem sido a prática da Administração Publica, quer central, quer local: são proprietárias de parte significativa do edificado habitacional, não residencial e monumental, e o estado de conservação desse património é, na grande maioria dos casos, lamentável.” (Tomás, 2010);
- As más políticas de habitação que “enquanto para alguns grupos, nomeadamente para os que viviam em construções clandestinas ou abarracadas, o Estado construiu e mantém, com elevados encargos, dezenas de milhares de habitações, para os inquilinos pobres dos edifícios privados, muitos deles em piores condições do que as barracas, não existiu idêntico financiamento e apoio” (Santos, 2011);
- A maior incerteza das obras de reabilitação aumenta o risco de investimento, pelo que para reabilitações profundas estes custos podem ser superiores ao preço de construções novas, além da existente limitação da qualidade final dos edifícios em termos estruturais e funcionais (Santos, 2011).

É então neste contexto que se pretende demonstrar os benefícios inerentes de pequenas intervenções de reabilitação a nível de impacte económico e social, mas mais concretamente em termos ecológico-ambientais.

Portugal apresenta correntemente um enorme potencial de mercado ao nível da reabilitação de edifícios, principalmente em termos de intervenções reabilitativas de carácter energético que procurem a redução do consumo de energia essencialmente pelo aumento da eficiência energética desses mesmos edifícios.

Cerca de 70% dos edifícios de habitação em Portugal foram construídos antes de 1990, ano da publicação do primeiro regulamento de comportamento térmico. Existe obviamente uma relação entre a idade dos edifícios e respetivo consumo de energia, não somente devido ao estado de conservação, mas também devido ao emprego na época de construção de tecnologias que, em geral, são menos eficientes energeticamente que as soluções atuais.

Existem, assim, em Portugal milhões de edifícios que poderão ser intervencionados no sentido de melhorar a sua eficiência energética, pelo que o potencial deste mercado é enorme. A simples implementação de isolamento térmico ou a substituição dos envidraçados por uns mais eficientes conduzirão a poupanças significativas no consumo de energia rondando os 41-59% e os 24-35% respetivamente, além de que se tratam de investimentos relativamente pequenos, com significativo acréscimo de conforto interior e um retorno económico a prazo razoável (Jardim, 2009).

Segundo dados do Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico de 2010 (I.C.E.S.D.) (inquérito que tentou apurar e segmentar o consumo de energia nos alojamentos portugueses e a despesa associada ao mesmo) a maioria dos edifícios em Portugal ainda não possui envidraçados com um padrão de eficiência atual, sendo que mais de 70% das fachadas dos edifícios apresentam na sua constituição envidraçados de vidros simples, não revelando qualquer preferência pela orientação dos mesmos como demonstra o Quadro 3, onde é perceptível que existe uma descuidada distribuição nas áreas dos envidraçados pelas diferentes orientações. Embora não sejam apresentados dados sobre as fachadas orientadas a norte. Relativamente às fachadas orientadas a sul, este e oeste não se constata variação da dimensão dos envidraçados (INE/DGEG, 2011).

Quadro 3 – Tipologia dos envidraçados por número de alojamento e orientação (Fonte: I.N.E/D.G.E.G., 2011)

Tipologia de vidros por orientação de fachadas									
Tipo de solução do envidraçado	Fachada viradas a Sul			Fachada viradas a Este			Fachada viradas a Oeste		
	Nº Alojamentos		Área média dos vidros	Nº Alojamentos		Área média dos vidros	Nº Alojamentos		Área média dos vidros
	N.º	%	m ² /aloj	N.º	%	m ² /aloj	N.º	%	m ² /aloj
Vidro simples	1.982.799	75,4	4,5	1.968.296	72,3	4,5	1.915.448	72,3	4,3
Vidro duplo s/corte térmico	495.894	18,9	6,3	620.719	22,8	6,5	604.934	22,8	6,0
Vidro duplo c/corte térmico	184.583	7,0	7,2	164.313	6,0	5,5	160.542	6,1	5,3
Total	2.628.355	-	-	2.723.648	-	-	2.648.641	-	-

Também segundo o I.C.E.S.D., uma pequena parte dos edifícios comporta, na sua envolvente um sistema de isolamento térmico (ver Quadro 4), pelo que “ apenas 21,1% dos alojamentos têm isolamento nas paredes exteriores e, entre os alojamentos que se localizam no último piso (moradias e apartamentos localizados no último andar), cerca de 17% têm isolamento na cobertura” (INE/DGEG, 2011).

Quadro 4 – Número de alojamento termicamente isolados (Fonte: I.N.E/D.G.E.G., 2011)

N.º de alojamentos com isolamento térmico		
Localização do isolamento	N.º alojamentos	%
Par. Exteriores	828.494	21,1
Coberturas*	434.099	17,1
* Alojamentos no último piso e moradias		

2.2. Porquê Reabilitar?

Como referido anteriormente a reabilitação de edifícios apresenta-se muitas vezes como uma forma de construção proveitosa e de grande utilidade e que deverá, em especial neste período de incerteza económica, ser entendida como uma alternativa fiável e sustentável face à nova construção. Contudo no presente clima de instabilidade financeira em que o risco de um grande investimento é por vezes demasiado grande, este tipo de construção poderá também revelar-se uma solução importante a nível social e económico, contribuindo para o aumento da atividade económica interna de Portugal.

Resumindo este tipo de construção tem associado a si vantagens a todos os níveis, pelo que se apresenta como um alternativa viável e com inúmeras vantagens, das quais em jeito de sumário se citam as seguintes:

- Revitalização dos centros históricos, atualmente muito abandonados;
- Criação de turismo patrimonial, tratando-se de uma forte aposta económica;
- Preservação dos solos virgens e contenção do crescimento das áreas urbanizadas;
- Controlo da extração das matérias-primas;
- Menor consumo de energia em todas as instâncias (construção e manutenção dos espaços principalmente) com consequentes impactes económicos e ambientais;
- Menor produção de Resíduos de Construção e Demolição (RCD);
- Menor dispêndio de recursos económicos (caso se trate de reabilitações simples, no caso de reabilitações profundas poderá não ser este o caso);
- Criação de emprego e aumento do mercado das pequenas e médias empresas (PME), uma vez que normalmente neste tipo de construção parte considerável do custo final é devido a maiores encargos com a mão-de-obra do que com materiais;
- Consequente impacte no PIB derivado da maior atividade do mercado da construção.

Contudo, há que perceber que, em algumas situações, a construção nova é a única solução e que não se pode ser extremista no sentido da reabilitação e ignorar que os edifícios não são peças de

museu nem simples obras de arte, mas sim construções que visam responder às necessidades da sociedade de uma determinada época. Atualmente essas necessidades mudaram, sendo necessário encontrar meios que as satisfaçam, de preferência através de um equilíbrio que permita olhar para o aproveitamento do edificado, valorizando-se o mesmo com menores custos que construir de novo, mas de forma a poder concorrer com a oferta das construções novas.

“Em termos genéricos, não faz sentido opor construção nova a reabilitação do edificado existente, porque o crescimento das cidades implicará sempre a presença de ambos os processos.” (Tomás, 2010). Embora que, na conjuntura atual de estagnação do setor da construção, com o mercado imobiliário “inundado” de alojamentos novos sem procura, o setor da reabilitação possibilita um investimento muito mais reduzido e seguro, e que satisfará as necessidades de grande parte da população.

2.3. Exigências de Sustentabilidade

A sustentabilidade é cada vez mais uma preocupação mundial. O ser humano, como ser inteligente e engenhoso que é, deverá conseguir interagir com a sua envolvente sem colocar em risco o meio ambiente e, desde logo, a capacidade de sobrevivência das gerações futuras.

A consciencialização de que a sustentabilidade tem de ser uma parte integrante da vivência do ser humano é hoje praticamente um dado adquirido e reconhecido pela maioria dos países a nível mundial. Esta visão ocupa uma posição forte em diversas decisões políticas levando inclusive à criação de acordos mundiais, realçando-se o celebrado Protocolo de Quioto. Este protocolo celebrado em 1997 visa a redução das emissões de gases poluentes pelos designados países desenvolvidos em 5% relativamente aos valores de 1990 no período entre 2008-2012 (UE, 2011).

Em 2009 a UE aprovou e implantou uma norma com objetivos ambiciosos do ponto de vista ambiental, a Diretiva Europeia 2009/28/EC, conhecida comumente como Diretiva 20-20-20. Esta norma estipula determinados objetivos a cumprir até 2020 relativos ao consumo de energia e à participação de fontes renováveis na produção da mesma nos países da união. Mais concretamente estas medidas correspondem à redução, face aos valores constatados no ano de 1990, do consumo de energia global devido ao aumento em 20% da eficiência energética, e consequente redução de 20% da emissão de gases de efeito de estufa e, do atingimento de uma quota de pelo menos 20% do consumo final bruto de energia proveniente de fontes renováveis a nível europeu possuindo cada estado membro metas individuais a atingir (sendo que para o setor dos transportes existe uma submeta que estipula uma meta de 10% da utilização dessas mesmas energias em cada Estado-Membro) (CE, 2010).

No caso de Portugal essas metas correspondem à quota de 31% de energia proveniente de fontes naturais no consumo energético final bruto do ano de 2020, pelo que se estima que o país terá atingido já no ano de 2010 a quota de 25,4%. Em termos setoriais pretende-se a já mencionada meta de cerca de 10% da energia associada aos transportes ser proveniente de fontes renováveis, bem como a quota de 29,9% no setor da climatização de edifícios e de 60% na eletricidade. Exis-

te a possibilidade de não se atingir facilmente o objetivo referente à climatização de edifícios uma vez que é previsível uma redução da contribuição da lenha neste setor, material que é atualmente considerado como uma fonte de energia renovável (PANER, 2010).

O setor dos edifícios, responsável, tal como já foi referido, pelo consumo de parte significativa da energia, poderá ser um meio impulsionador para o cumprimento de tais metas, assegurando-se assim uma maior sustentabilidade associada às necessidades de habitação do Homem. Neste sentido a reabilitação energética surge, uma vez mais, como uma solução viável e atrativa, permitindo o aumento da eficiência energética associada a este setor, bem como a inerente redução de consumo de energia e emissões de gases de efeito de estufa.

Segundo dados da Ecofys (associação líder em matérias como a eficiência de energia e carbono e energias renováveis), crê-se que a simples introdução de isolamento térmico na envolvente dos edifícios em toda a Europa poderia reduzir as emissões poluentes em cerca de 42% (Ecofys, 2002).

Contudo o setor da reabilitação é mais vasto que a especialidade da reabilitação energética exposta nesta dissertação, e no contexto da sustentabilidade não faria sentido mencionar apenas a face energética da mesma, uma vez que apresenta todo um conjunto de vantagens a nível ambiental que a construção de novos edifícios não possui.

Na realidade, a reabilitação apresenta face à construção nova uma opção construtiva muito mais sustentável em praticamente todos os aspetos. A simples decisão de reabilitar um edifício ao invés de construir um outro totalmente novo representa desde logo uma alternativa sustentável pois, por exemplo, é evitada a ocupação de solo virgem aproveitando-se assim terreno já urbanizado, existe um maior aproveitamento de materiais e são reduzidas significativamente as quantidades de resíduos construtivos.

Enquanto numa nova construção seria necessária uma grande extração de matérias-primas e um considerável dispêndio de energia na sua refinação e transporte, na reabilitação todos estes processos são reduzidos a um mínimo, pois o edifício já existe e possui praticamente todo material necessário.

Contudo, e uma vez que o nível de desempenho nunca será totalmente idêntico, poderá ser mais sustentável a opção pela construção de um novo edifício dado o peso ambiental da fase de utilização do edifício existente. É então neste contexto que a elaboração de uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) às diversas alternativas de construção poderá ser determinante para assegurar uma maior sustentabilidade do setor. Este tipo de análise foi primeiramente concebido para a determinação do impacte ambiental de produtos em todo o seu ciclo de vida, desde a extração, manufatura, transporte, utilização e destino final dos mesmos. Contudo atualmente torna-se cada vez mais frequente a aplicação deste método à indústria da construção, pois permite uma avaliação, embora algo subjetiva, dos impactes totais de um edifício no meio ambiente (Ferreira, Pinheiro, & Brito, 2010).

Para o setor da construção, as ACV tornam-se especialmente úteis aquando da quantificação e comparação dos desempenhos ambientais das diversas alternativas de construção (como citado

acima), mais concretamente durante as fases de planeamento e projeto, pois durante esta fase torna-se possível a seleção de materiais e soluções com vista à maior sustentabilidade do projeto e aos conceitos de construção sustentável (Coelho & Ramos, 2010).

Com a elaboração deste tipo de análises é possível a quantificação do grau de sustentabilidade de um produto (no caso deste setor, de um edifício) ao longo do seu tempo útil de vida, mas também a determinação dos impactos por etapa de ciclo de vida, o que facilita a identificação das etapas mais críticas e a sua possível retificação (Coelho & Ramos, 2010).

No caso concreto dos edifícios uma ACV divide-se essencialmente em duas partes distintas: a quantificação do impacto associado à efetiva construção de um edifício, onde se contabilizam os impactos derivados da energia incorporadas dos materiais desde a sua extração à sua colocação final em obra, e a fase de utilização, onde o desempenho ambiental do edifício no que concerne à energia consumida para climatização, iluminação e operações de manutenção são consideradas (Vale, Mateus, & Bragança, 2010).

O aumento existente do nível de eficiência energética dos edifícios faz com que esta problemática se assuma como um fator condicionante na escolha das soluções construtivas a empregar num edifício. Se antigamente este assunto era desprezado devida à pouca significância do consumo energético incorporado dos materiais (fase de construção) face aos consumos durante toda a sua vida útil (fase de utilização), hoje em dia dada a maior consciencialização ambiental e também à aplicação de soluções construtivas (por exemplo a aplicação de isolamentos térmicos) que permitem melhorar de forma significativa a eficiência energética com balanços de emissões de gases poluentes francamente positivos, este assunto deverá assumir um papel de relevo aquando da fase de planeamento de um edifício (Thirion).

Na Figura 3, embora seja importante mencionar que se trata de uma visão demasiado utópica do autor e que os valores apresentados dificilmente serão atingíveis, é perceptível o anteriormente mencionado, ou seja, que o aumento da eficiência energética dos edifícios inerente à evolução das soluções construtivas leva a uma maior relevância do consumo energético incorporado dos mesmos face à fase de utilização, ou seja, aumento da importância da fase de construção em detrimento da fase de utilização do edifício. Contudo o prolongamento do tempo de vida útil de um edifício irá ter um efeito amenizador nesta tendência, uma vez que a fase de utilização será maior e comportará maiores consumos de energia finais face à inalteração dos valores associados à fase de construção (Oliveira & Pinto, 2012).

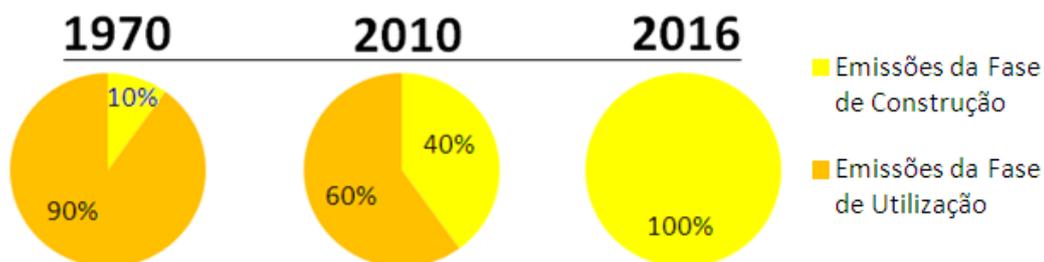


Figura 3 – Importância do consumo de energia intrínseco dos materiais (Fonte: (Thirion))

Atualmente, segundo outros autores, estima-se que para uma habitação comum, a fase de utilização represente cerca de 80 a 90% do consumo de energia do ciclo de vida da mesma, enquanto que somente 10 a 20% da energia está associada aos materiais e produtos da mesma e 1% ao seu tratamento final de vida, pelo que esta última parcela é vulgarmente desprezada aquando da elaboração de uma ACV e uma vez que normalmente se traduz numa fase de desempenho ambiental positivo dadas as grandes quantidades de materiais que podem ser reciclados ou reaproveitados (Vale, Mateus, & Bragança, 2010).

Os mesmos autores elaboraram uma ACV para uma moradia vulgar unifamiliar em Portugal, tendo chegado à conclusão que a fase de utilização corresponde a 55% do impacto global, a de construção a 23,6% as operações de manutenção a 15,8%. Já a fase de final de vida apresenta um impacto ambiental negativo com -5,8%, o que é explicado pelo facto de se considerar que 80% dos metais são reciclados (Vale, Mateus, & Bragança, 2010).

É fundamental realçar que estudos como este são muito subjetivos e ainda são pouco comuns devido à falta de bases de dados mais completas e abrangentes, e pelo facto de não existirem práticas normalizadas aceites a nível mundial o que induz um elevado grau de subjetividade nas mesmas. A grande diversidade de metodologias representa um entrave à colocação destas análises (Coelho & Ramos, 2010).

Deste modo, e sabendo que o principal objetivo da reabilitação energética, além do aumento do nível de conforto na utilização dos espaços, é a sustentabilidade dos alojamentos, e que o consumo de energia despendido na produção dos materiais de construção é tão importante para esse efeito procurou-se apurar o nível de desempenho ambiental das soluções de isolamento térmico mais comuns no mercado português, uma vez que no caso desta prática construtiva este material ser frequentemente aplicado.

Como referido, o consumo energético incorporado de um material representa a quantidade de energia necessária para a fabricação do mesmo, desde a extração da matéria-prima, transporte, tratamento industrial e distribuição do mesmo até à chegada ao seu destino final (obra). Deste modo, a quantificação deste consumo de energia torna-se um caso complexo uma vez que a distância de transporte dos mesmos irá, evidentemente, variar consoante as localizações das diversas instâncias de produção (localização dos locais de extração, produção e de obra) (Kejun, Cosbey, & Murphy, 2008). No quadro seguinte apresentam-se os valores médios do consumo energético intrínseco de cada material estudado nesta dissertação.

Quadro 5 – Consumo de energia e emissões de CO₂ intrínsecos dos materiais (Adaptado de(AEA, 2010))

Material	Consumo de Energia Intrínseco (MJ/kg)	Emissões de CO ₂ Intrínsecas (kg CO ₂ /kg)
Cortiça	4,00	0,19
Lã Mineral	16,60	1,20
Lã de Rocha	16,80	1,05
EPS	88,60	2,50
XPS	106,68	5,61

É de realçar que os valores apresentados no Quadro 5 representam os consumos energéticos incorporados por quantidade fixa de material, pelo que o material que menos energia consome (mais ecológico deste modo) poderá não ser o que representa a solução construtiva mais sustentável, isto é, dados os diferentes valores de condutibilidade térmica de cada material em alguns casos poderá ser necessária uma maior espessura do mesmo para atingir um determinado nível de desempenho e desde logo uma maior quantidade de material.

Pondere-se o exemplo seguinte para o isolamento de uma cobertura com 100m² e em que se pretende obter uma resistência térmica de 3,33 m².°C/W. É possível através da análise do Quadro 6 a percepção do anteriormente mencionado, tome-se de exemplo o caso da lã de rocha e do EPS, onde embora o primeiro apresente um menor consumo de energia por unidade de massa na sua produção é necessária uma maior quantidade deste material face ao EPS para alcançar a resistência térmica pretendida, constituindo assim uma opção menos sustentável.

Quadro 6 – Energia intrínseca associada ao isolamento de uma cobertura (Adaptado de (AEA, 2010))

Tipo de Isolamento	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Espessura (mm)	Peso Total (kg)	Energia Intrínseca Total (MJ)
Cortiça	0,040	133	1 733,33	12 220
Lã de Rocha	0,038	127	1 520,00	33 622
EPS	0,035	117	291,60	28 933
XPS	0,036	120	420,00	46 284

3. ENERGIA E VENTILAÇÃO NOS EDIFÍCIOS

3.1. Influência do Clima na Arquitetura dos Edifícios

O clima é um fator fundamental da definição do tipo de construção. Desde sempre populações seguem os efeitos do clima local e definem as suas edificações de acordo com as características do mesmo, procurando desta forma soluções que permitam uma melhor funcionalidade face às solicitações meteorológicas.

É com base nesse pressuposto que surge o conceito da arquitetura solar ou bioclimática, tendo como pressuposto a construção dos edifícios considerando todos os aspetos naturais do seu meio envolvente e implementando na sua constituição soluções construtivas que visem o aproveitamento dessas condicionantes naturais para um superior nível de conforto interior.

Apesar do estudo do clima estar mais ligado à arquitetura bioclimática e inerentemente à construção de novos edifícios, o seu interesse para a reabilitação de edifícios é substancial, dado que tais cuidados poderão não ter sido contemplados aquando da sua construção. No caso da intervenção a nível energético esta importância é reforçada uma vez que é para uma correta apreciação dos efeitos do clima nos edifícios é essencial estudar e conhecer determinados parâmetros climáticos que caracterizam as solicitações a que os mesmos estão sujeitos. O conhecimento do clima local irá então incutir uma especificação às soluções empregues, permitindo uma maior eficiência e economia das mesmas.

3.1.1. Caracterização do Clima Português

Como se sabe, o clima português é um clima caracteristicamente mediterrâneo com duas estações principais bem distintas (explicadas seguidamente), como é o caso do Inverno e do Verão e duas estações intermédias de transição.

De forma simples, e segundo a Classificação Climática de Koppen, Portugal continental apresenta-se dividido em duas distintas classificações (ver Figura 4):

- Clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e quente (Csa) – Regiões Sul, Centro e Interior;
- Clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente (Csb) – Regiões Norte e Litoral, excetuando o Algarve.

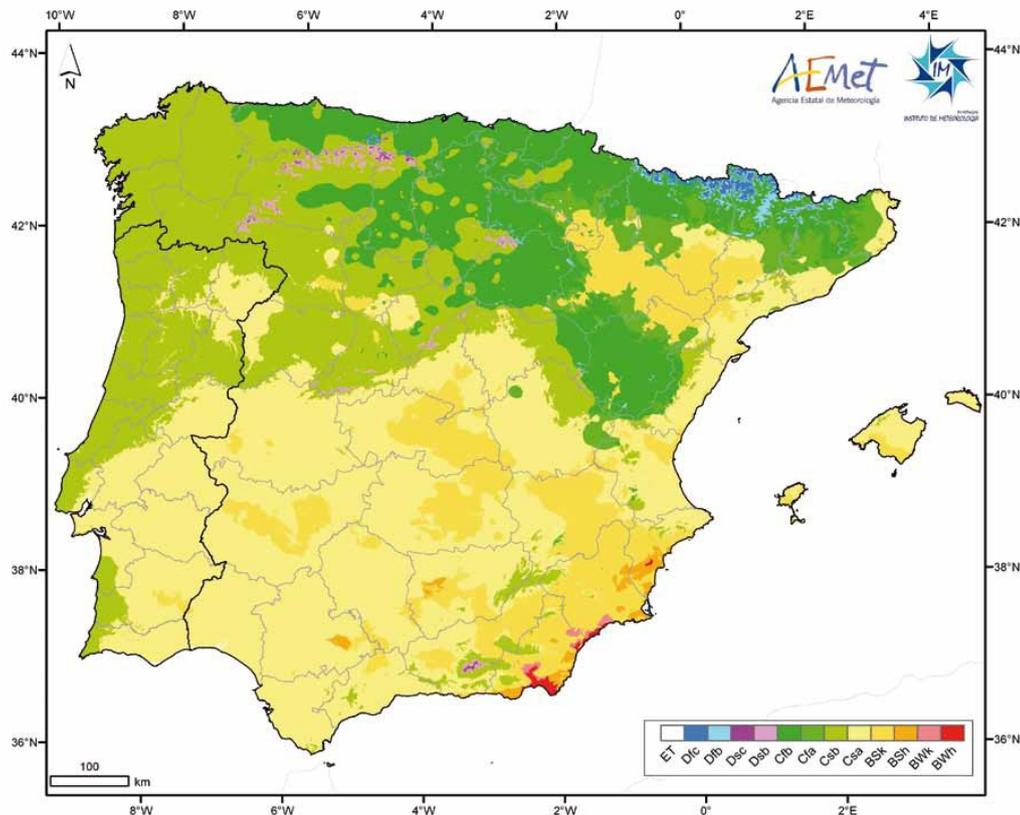


Figura 4 - Classificação Climática de Köppen na Península Ibérica (Fonte (DPAEME, 2011))

Segundo Miranda, o clima nacional é ainda caracterizado pelas oscilações de temperatura inerentes, quer à anual transição das estações, quer às variações da temperatura ao longo do dia, situação mais evidente no interior do país devido à existência de menos água e consequente massa térmica da mesma. Considerando a não existência de grandes variações da temperatura durante os últimos anos, e utilizando-se como referência o período entre 1961-1990, as temperaturas médias em Portugal continental variaram entre os 7°C e os 18°C, respetivamente a zona da Serra da Estrela (zona fria) e a costa algarvia (zona mais quente) (ver Figura 5), (Miranda, et al., 2005).

No que concerne à pluviosidade, esta ronda os 900mm anuais (média anual do período referido anteriormente) apresentando tal como a temperatura uma variação espacial, sendo este valor superior nas regiões do topo Norte do país e significativamente mais reduzido no interior Sul, o Alentejo. (Miranda, et al., 2005).

Estas variações espaciais são explicadas pelo efeito conjunto da latitude, altitude, proximidade da orla costeira, e pelo facto de Portugal ser influenciado por “dois grandes centros de ação da dinâmica da atmosfera, nomeadamente o anticiclone dos Açores e os fluxos de ar de Oeste”, pelo que o seu efeito é notório durante todo o ano.

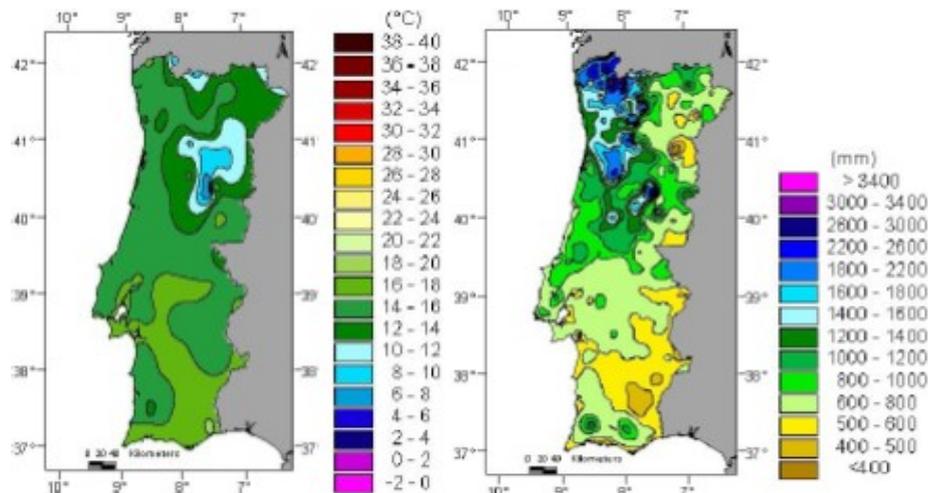


Figura 5 – Médias Anuais da Temperatura e Pluviosidade (Fonte: (Miranda, et al., 2005)).

Todos estes fatores levam a que existam duas muito distintas estações do ano, contempladas na regulamentação vigente (RCCTE), que considera um ciclo anual dividido entre duas estações: a estação de aquecimento e a estação de arrefecimento, o que acarreta diferenças em termos de cálculo, designadamente ao estabelecimento de temperaturas interiores de conforto diferentes para ambas.

3.1.1.1. Estação de Aquecimento

Designa-se por estação de aquecimento essencialmente o período de Inverno em que, de forma a manter uma temperatura confortável no interior, pode ser necessário o recurso a meios auxiliares para o aquecimento do espaço. Segundo a regulamentação atual, é o período do ano entre 1 de Outubro e 31 de Maio em que a temperatura média diária é inferior a 15 °C.

Durante esta estação a temperatura exterior poderá ser muito inferior à temperatura ideal interior, pelo que se torna fulcral evitar as perdas de energia diretas com o meio exterior e valorizar todos os ganhos energéticos disponíveis. Dado isto, todas as soluções arquitetónicas e construtivas empregues devem atender a fundamentos essenciais para um correto desempenho durante esta estação, entre eles:

- Maximizar os ganhos energéticos, quer através da incidência direta no interior dos raios solares, quer através da utilização de soluções indiretas, como estufas e paredes de trombe;
- Minimizar as perdas pela envolvente opaca do edifício, através da implementação de isolamento térmico, com especial atenção à cobertura devido à sua maior exposição;
- Minimizar as perdas pelos envidraçados durante o período noturno, isto é, estes deverão conter um sistema de proteção que permita a entrada da radiação solar durante o dia e auxilie na retenção do calor durante a noite;
- Promoção da inércia térmica dos elementos, utilizando a sua capacidade de retenção de energia durante o período mais quente do dia para que seja libertada quando a temperatu-

ra interior começar a descer com o cair da noite, aumentando assim o grau de conforto de utilização do espaço;

- Minimizar as perdas energéticas devido à existência de ventilação natural não desejada, isto é, as perdas devidas às infiltrações de ar pelos vãos envidraçados. Estas perdas são muito comuns e notórias em edifícios mais antigos pelo que a instalação de caixilhos de baixa permeabilidade irá certamente diminuir a taxa de renovação de ar interior.

3.1.1.2. Estação de Arrefecimento

A estação de arrefecimento corresponde ao período anual em que a temperatura interior poderá estar acima do patamar tido como de conforto, ou seja, o Verão, pelo que normalmente se recorre a meios de climatização mecânicos para a redução da mesma. Esta estação é caracterizada pelo maior período de insolação diária, acrescido de existir um ângulo de incidência mais direto sobre a cobertura do edifício nas horas de maior intensidade da radiação solar, o que leva a uma maior absorção da radiação solar e a uma inerente existência de temperaturas superficiais dos materiais muito elevadas.

Durante esta estação pretende-se essencialmente controlar a transmissão térmica de energia do exterior para o interior através da envolvente, a limitação de ganhos energéticos interiores devido à incidência da radiação solar e a promoção do arrefecimento interior passivo através de técnicas de ventilação. Fundamentalmente durante este período dever-se-ão empregar soluções que satisfaçam os seguintes requisitos:

- O sombreamento dos vãos envidraçados (em especial os orientados a sul e poente) deverá constituir uma prioridade, dado que a incidência da radiação solar no interior do edifício poderá levar a situações desconfortáveis de sobreaquecimento interior;
- A ventilação natural controlada permite uma circulação do ar interior, pelo que essencialmente deverá visar a extração da massa de ar quente e a inerente entrada de ar frio, promovendo o arrefecimento interior;
- O isolamento ou desativação de elementos indiretos de ganhos térmicos (como estufas) deverá ser efetuado de forma a que estes não contribuam para um possível sobre aquecimento do ambiente interior;

3.1.2. Movimento Aparente do Sol

O movimento aparente do sol representa talvez o fator mais importante para a Arquitetura Bioclimática, já que o correto aproveitamento desta fonte de energia poderá levar a significativos ganhos energéticos e poupança de energia.

A altura solar e as horas diárias de insolação são parâmetros essenciais para uma correta quantificação dos ganhos energéticos possíveis através desta fonte natural de energia. Estes, tal como o aparente andamento anual do sol, variam consoante o local, pelo que vão sofrendo um aumento à medida que a latitude local diminui, ou seja, nos aproximamos da linha do Equador. Somente em Portugal, entre o norte e o sul do país existe uma variação de 5° na altura solar fruto da inevitável

alteração da latitude local que varia aproximadamente entre os 42° e o 37°. Existe também uma evidente variação das horas de insolação anuais ascendendo esta diferença às 1 300 horas, variando entre as 3 100 horas de insolação anuais a sul e as 1 800 horas em determinadas áreas do norte do país (Moita, 2010).

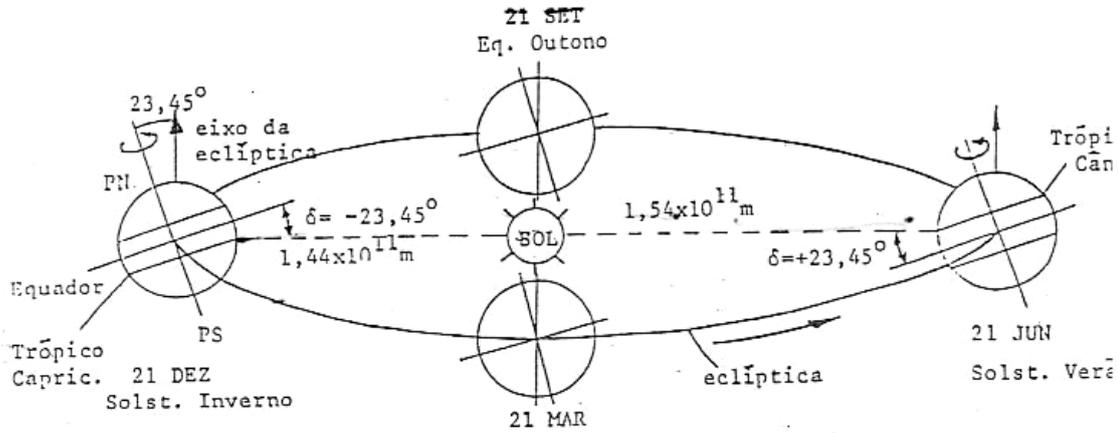


Figura 6 – Translação da Terra em volta do Sol (Fonte: (Cunha, 2005))

O ângulo que o sol efetua com o horizonte às 12:00 horas (altura solar) é, na altura dos solstícios de Primavera e de Outono, igual à latitude do local, pelo que, devido ao inevitável movimento de translação do planeta em torno do Sol, este ângulo sofre alterações de cerca de 23° para cada lado, consoante se trate do Verão ou do Inverno respetivamente (Figura 6).

Esta variação de 46° poderá, com a aplicação de medidas corretas como sombreamentos, tornar-se uma mais-valia para uma habitação, ao invés de se tratar de uma situação inevitável própria de uma região. Contudo, estas medidas deverão ser devidamente estudadas e aplicadas, essencialmente pela sua funcionalidade e não pelas suas características arquitetónicas, como demasiadas vezes acontece originando verdadeiros atentados à arte de bem construir. Na Figura 7 é visível o diferente ângulo de incidência da radiação solar direta no solo nas diferentes estações do ano, sendo esta mais direta e prolongada durante o Verão.

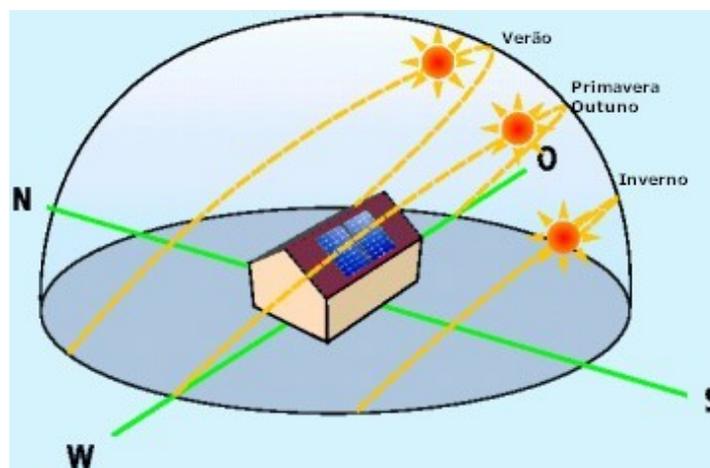


Figura 7 – Variação do ângulo de incidência da radiação solar nos solstícios de Verão e Inverno (Fonte: (Instalação Sistemas Solares Fotovoltaicos))

3.2. Consumos Energéticos

Atualmente o consumo de energia nos edifícios é significativo e mesmo nos períodos de menor consumo (período noturno) existem gastos consideráveis. A energia é hoje em dia imprescindível para a realização de um vasto leque atividades realizadas diariamente, desde o funcionamento do mais simples dos eletrodomésticos, à iluminação e à climatização (onde os consumos ainda são mais elevados).

Os edifícios detêm hoje uma parcela assinalável do consumo energético de um país, no caso de Portugal em 2009, apenas os edifícios do setor doméstico são responsáveis pelo consumo de 17,7% do consumo total de energia, sendo superado pelos setores afetos aos transportes e da indústria que constituem as maiores porções do valor total de consumo energético, sendo a sua quota de, respetivamente 37,5% e 30,5% do consumo total. A Figura 8 mostra o referido anteriormente (INE/DGEG, 2011).

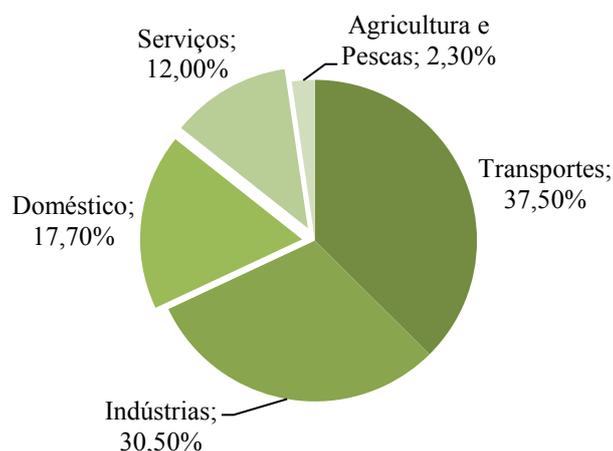


Figura 8 – Quotização do consumo de energia em Portugal no ano de 2009 (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

Tal quantidade de energia, na sua maioria proveniente de fontes não renováveis tem obviamente consequências a nível ambiental, pelo que em 2009 e contabilizando somente os alojamentos destinados à habitação inquiridos pelo I.C.E.S.D. (cerca de 3 932 010 alojamentos) verifica-se uma emissão de 12,5 milhões de toneladas de CO₂, o que remete para uma média de 628 kg CO₂ por alojamento (INE/DGEG, 2011).

Como é possível confirmar pela Figura 9, os edifícios residenciais apresentam um cada vez maior consumo de energia, tendo este nos últimos 20 anos apresentado um ritmo de evolução assinalável. Contudo, e uma vez que o consumo de energia não se cinge simplesmente ao setor habitacional, quando se analisa a quota da energia consumida pelos alojamentos face ao consumo total do país, é constatável uma ligeira redução com o passar dos anos, ou seja, apesar de este setor ser responsável por um cada vez maior consumo de energia, existem outros que têm apresentado evoluções no seu consumo ainda mais alarmantes.

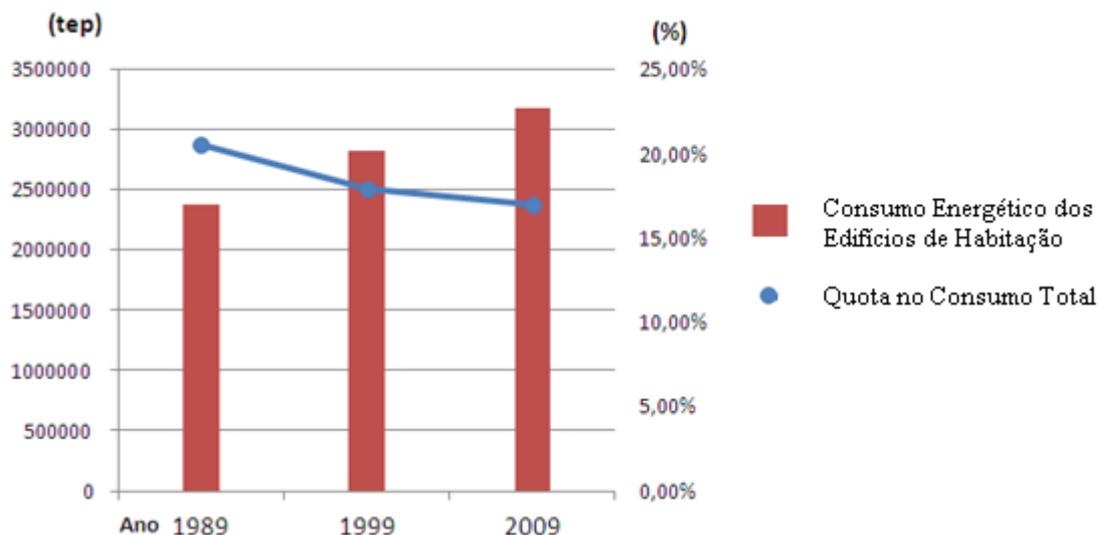


Figura 9 – Evolução do consumo energético dos edifícios de habitação e da sua quota no consumo total (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

Hoje em dia, um alojamento despende anualmente, em média, 840€ em gastos energéticos, valor que poderá ser substancialmente reduzido com a introdução de algumas melhorias e alteração de alguns hábitos (INE/DGEG, 2011). Mais particularmente, o aumento da eficiência energética de um edifício, além de visíveis poupanças económicas na sua fatura energética, trará aos seus utilizadores um maior conforto na utilização do espaço,

O consumo de energia está correntemente associado a diferentes fontes, contribuindo elas cada uma a seu modo para a satisfação das necessidades de energia dos alojamentos nas suas diferentes vertentes. A eletricidade foi em 2009 a principal fonte energética para a satisfação de tais necessidades apresentando um consumo de cerca de 38,1% do total da amostra, pelo que isto corresponde a um consumo total 14442 milhões de kWh, ou seja, cerca de 1,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) e a uma despesa total superior a 2 mil milhões de euros (INE/DGEG, 2011). Pela Figura 10 abaixo percebe-se que esta fonte é cada vez a mais utilizada em Portugal em termos de utilização doméstica, constituindo o recurso à lenha e ao gás as principais alternativas.

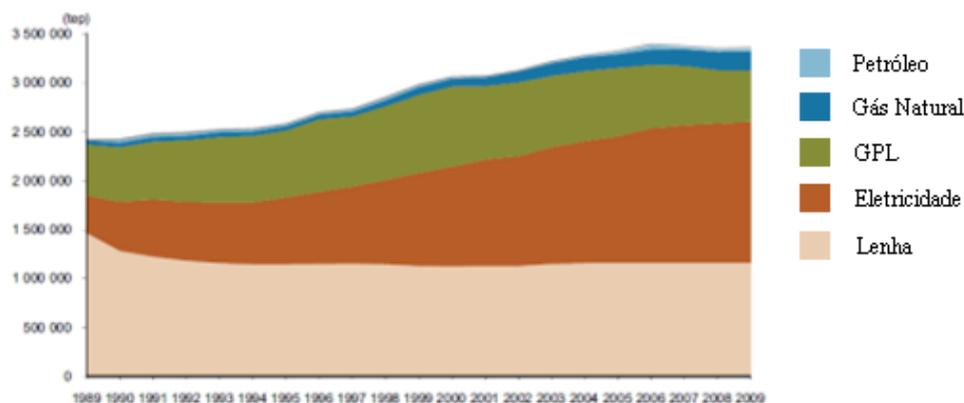


Figura 10 – Evolução da quotização dos diversos tipos de fontes energéticas (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

O recurso a estas fontes (lenha e o Gás de Petróleo Liquefeito (GPL)) é corrente em parte significativa dos alojamentos, constituindo parte considerável da despesa. A primeira é muito utilizada para o aquecimento ambiente do espaço interior, já o segundo é usualmente empregue na cozinha e na produção de águas quentes sanitárias (AQS), uma vez que o seu uso para aquecimento é pouco comum.

Quadro 7 – Distribuição do consumo e despesa consoante o tipo de fonte (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

Consumo e despesa com energia no alojamento por tipo de fonte								
Fonte	N.º alojamentos	Consumo total			Despesa total	Consumo alojamento		Despesa p/ aloj.
		Consumo	Unidades	tep	€	tep/aloj.	GJ/aloj.	€/aloj.
Eletricidade	3.927.733	14.442.104.354	kWh	1.242.021	2.056.019.558	0,316	13,2	523
Lenha	1.576.694	2.802.729.941	kg	705.875	113.924.402	0,448	18,7	171
GPL Butano (garrafa)	2.206.050	360.531	t	396.115	570.930.745	0,180	7,5	259
GPL Propano (garrafa)	463.453	79.857	t	87.738	144.385.726	0,189	7,9	312
Gás Natural	780.442	3.064.031.852	kWh	263.507	193.965.092	0,338	14,1	249
GPL Canalizado	380.838	64.280.223	kg	70.625	112.990.922	0,185	7,8	297
Gasóleo Aquecimento	142.462	146.347.071	l	124.636	105.291.237	0,905	36,6	765
Solar Térmico	68.824	19.105	tep	19.105	-	0,278	11,6	-
Carvão	334.814	10.430.037	kg	6.404	6.772.496	0,020	0,8	21
Total	3.932.010	-	-	2.916.026	3.304.280.180	0,742	31,0	840

De mencionar que, contabilizando as parcelas afetas à utilização de lenha, carvão vegetal e da energia solar térmica (fontes energéticas consideradas renováveis) no alojamento, depreende-se, pela quantidade consumida destas fontes que cerca de 25,1% da energia provém de fontes renováveis (ver Quadro 7), e que correspondem apenas a 4% da despesa total. Acresce que não é contabilizada a energia elétrica proveniente da produção de fontes deste tipo (INE/DGEG, 2011).

É possível visualizar segundo o Quadro 8 que a única fonte comum a todos os tipos de utilização é a eletricidade demonstrando assim uma cada vez maior eletrificação dos alojamentos e o recurso a esta fonte de energia como forma de auxílio das nossas atividades.

Quadro 8 – Consumo de energia por tipo de fonte e utilização (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

Consumo de energia (tep) no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização						
Fonte	Aquecimento Ambiente	Arrefecimento Ambiente	Aquecimento de AQS	Cozinha	Equipamentos Elétricos	Iluminação
Eletricidade	74.348	13.107	19.639	332.557	269.694	111.309
Lenha	360.828	-	41.016	292.347	-	-
GPL Butano (garrafa)	10.085	-	201.173	184.857	-	-
GPL Propano (garrafa)	318	-	48.284	39.136	-	-
Gás Natural	8.231	-	162.782	92.494	-	-
GPL Canalizado	2.899	-	43.396	24.330	-	-
Gasóleo Aquecimento	75.445	-	49.191	-	-	-
Solar Térmico	1.546	-	17.559	-	-	-
Carvão	192	-	-	6.212	-	-
Total	533.892	13.107	583.040	971.933	269.694	111.309

Em termos mais específicos serão agora quantificados os consumos energéticos médios dentro dos alojamentos em Portugal associados às principais atividades, ou seja, os gastos energéticos correspondentes ao aquecimento e arrefecimento do ambiente interior, aquecimento de águas quentes sanitárias, com a cozinha, equipamentos elétricos e iluminação.

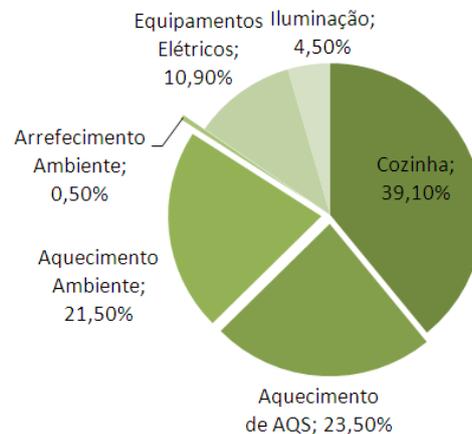


Figura 11 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

A cozinha, devido ao seu tipo de utilização e grande concentração de eletrodomésticos que normalmente têm altos consumos energéticos, é responsável, em média, por cerca de 39,1% do consumo total dos alojamentos portugueses (ver Figura 11), seguindo-se então o consumo de energia despendido na preparação de AQS.

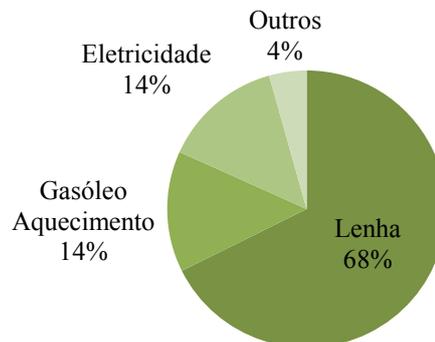


Figura 12 – Distribuição do consumo de energia para aquecimento (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

A energia necessária para o aquecimento representa 21,5% do total do consumo energético, o que corresponde a apenas cerca de 10,7% dos encargos financeiros totais do consumo energético. Isto é explicável devido à grande utilização de lenha para esta finalidade de climatização do espaço interior (cerca de 68% da energia consumida no aquecimento do ambiente é proveniente desta fonte) e atendendo ao facto de esta fonte constituir a fonte de energia mais económica utilizada no sector doméstico (ver Figura 12 e 13) (INE/DGEG, 2011).

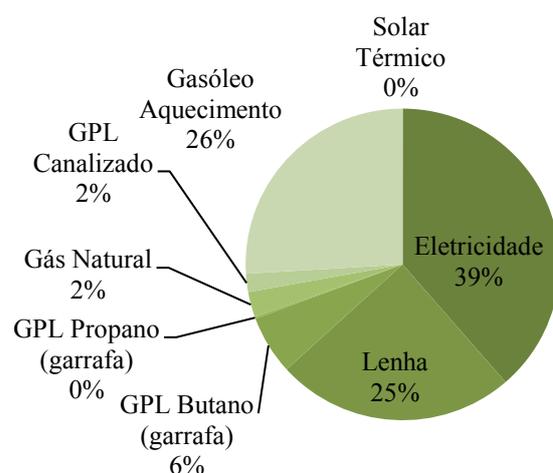


Figura 13 – Distribuição da despesa energética para aquecimento do ambiente (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

Por contraste os consumos associados às necessidades nominais de arrefecimento representam em média apenas 0,5% do consumo energético bruto dos alojamentos portugueses (Figura 11).

No que concerne à energia necessária para a preparação das Águas Quentes Sanitárias (AQS) estima-se que corresponda em média a aproximadamente de 23,5% da energia utilizada pelos alojamentos portugueses (ver Figura 11), ou seja, representa a segunda maior parcela de consumo de energia nos alojamentos. O aquecimento das AQS é repartido por uma variedade de fontes energéticas, todavia incidindo especialmente na utilização de GPL butano e gás natural, se bem que o recurso a GPL propano e canalizado também seja amplamente explorado (Figura 14) (INE/DGEG, 2011).

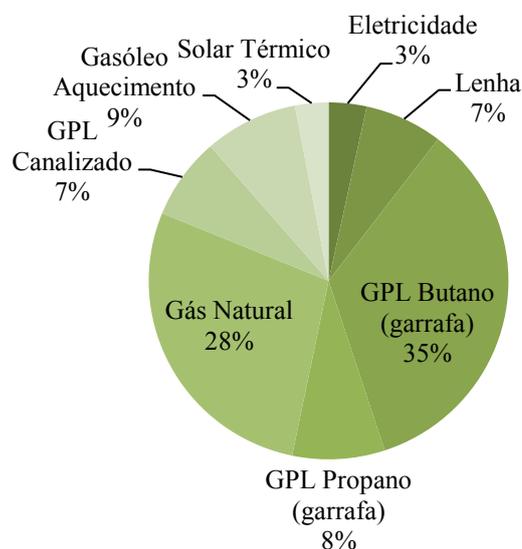


Figura 14 – Quotização do tipo de fonte energética para preparação de AQS (Fonte: (INE/DGEG, 2011))

3.3. A Importância da Ventilação

A ventilação de um edifício é um fator importante para garantir um determinado grau de conforto e salubridade na utilização do mesmo, pelo que a existência da mesma constitui à luz de muitos regulamentos uma obrigatoriedade, como é o caso do Regulamento de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) e de normas como a NP 1037.

A renovação do ar interior, a dissipação de odores, a remoção de poluentes e de vapores (especialmente o vapor de água) são aspetos que derivam de uma correta ventilação do edifício e que são indispensáveis para criação de uma atmosfera interior capaz de corresponder às necessidades fisiológicas do ser humano (Verdelho, 2008).

Infelizmente, a importância da ventilação nos edifícios é muitas vezes negligenciada ao nível da conceção dos projetos, sendo que são frequentes as ocasiões em que a renovação do ar interior está somente associada aos vãos envidraçados e à sua utilização por parte dos ocupantes, situação que nem sempre é possível dado o quotidiano dos utilizadores existindo assim um aumento no número de edifícios que apresentam condições interiores fora dos limites aceitáveis, designadamente, através da formação de indesejáveis condensações.

De mencionar que, a ventilação do interior é também importante no que concerne à integridade de funcionamento do edifício. O aparecimento de algumas patologias, especialmente as associadas à presença de humidade como as referidas condensações, pode ser colmatado através de uma eficaz e inteligente ventilação do ar interior, existindo assim uma extração dos vapores de água produzidos no interior e a sua conseqüente condensação e paramentos e outros elementos. Deste modo evitam-se também possíveis formações de bolores e fungos prejudiciais para o bem-estar dos utilizadores (Awbi, 1998).

Nesta matéria, a maior impermeabilidade das fachadas modernas assume um papel de relevo, uma vez que embora se apresente como um fator importante para climatização dos edifícios (em especial durante a estação de aquecimento devido à redução das perdas de calor diretas para o exterior através de infiltrações de ar não desejadas) contribui negativamente para a renovação da massa de ar do espaço. As infiltrações resultantes dos vãos envidraçados de um edifício permitem existência de um pequeno caudal que pode contribuir para a ventilação do seu interior. Este tipo de ventilação designa-se de fluxo de infiltração, ao invés do fluxo de ventilação que está associado à ventilação controlada e propositada que se pretende com a instalação de soluções passivas pensadas para o efeito (Concanon, 2002) e (Awbi, 1998).

Uma ventilação adequada de um edifício (em especial se efetuada de forma natural sem filtros) está muito condicionada pelo meio exterior envolvente do edifício, uma vez que associado ao processo de ventilação existe a inerente incorporação do ar exterior no interior do edifício. Deste modo é possível afirmar que em edifícios sítos em zonas urbanizadas a qualidade do ar interior é francamente inferior do que a verificada em edifícios implantados em zonas rurais, situação facilmente explicável pelo facto de às intrínsecas fontes de poluição do ar interior (como por

exemplo a atividade humana) acrescer a contaminação do interior, derivada da introdução de poluentes provenientes do exterior (Ghiaius & Alard, 2004).

A implementação da ventilação natural nos edifícios poderá constituir um sistema passivo económico, ecológico e eficaz de climatização interior, especialmente durante a estação de arrefecimento. É, de facto, em climas moderados, ou seja, em que são notórias distintas estações durante o ano, que os sistemas de ventilação naturais são mais eficazes permitindo uma maior controlabilidade neste tipo de condições ao invés de ambientes climáticos extremos. Apesar das condicionantes climáticas variarem localmente estes sistemas podem ser responsáveis por uma redução máxima média de cerca de 50% das necessidades nominais de arrefecimento de um edifício (Verdelho, 2008).

O conceito de ventilação natural surge da Arquitetura Bioclimática e visa a indução da renovação da massa de ar do interior de um edifício recorrendo aos diferenciais de pressões que existem no mesmo, quer sejam induzidos pelo vento, pelas diferenças temperatuais ou ao conjunto de ambos os fatores (Verdelho, 2008), pelo que de forma a conceber estratégias de ventilação natural eficazes, é necessário conhecer as condicionantes climáticas locais responsáveis pelo surgimento de tais diferenças de pressões, em especial o regime local dos ventos dominantes.

Dado se tratar de uma forma de climatização que visa o arrefecimento é comum pensar-se que a sua eficiência está diretamente depende da existência de uma temperatura exterior inferior à interior, contudo a existência de temperaturas exteriores superiores pode também garantir alguma eficácia de funcionamento destes sistemas, isto porque a simples circulação do ar poderá garantir a sensação de conforto ao utilizador, aumentando deste modo a dissipação de calor evaporativo e convectivo do corpo humano. Este método poderá traduzir-se num ligeiro aumento da temperatura interior pelo que este poderá ser dissipado através de um sistema de ventilação noturno (Verdelho, 2008).

A ventilação natural quando aplicada numa habitação com forte inercia térmica permite a criação de um interior com elevados níveis de conforto, uma vez que a inércia térmica permite a absorção da energia que sobraaquece o espaço e a ventilação permite que essa energia ao ser repostada no ar ambiente seja prontamente evacuada para o exterior. Este efeito é mais notório durante a noite quando o diferencial de temperaturas do ar e dos elementos é maior (Moita, 2010).

4. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Neste capítulo será abordado o estado da arte das soluções construtivas associadas às características de comportamento térmico dos edifícios, sendo expostas soluções para os diversos elementos da envolvente e disposições arquitetónicas que influenciem o nível de conforto interior do ponto de vista energético.

Aspetos como o isolamento térmico da envolvente, os vãos envidraçados, a criação de paredes de Trombe e de outras soluções construtivas de índole passiva serão estudados expondo-se o seu comportamento e que impacte poderão ter num edifício.

4.1. Inércia Térmica

O efeito da inércia térmica está diretamente relacionado com a massa dos materiais empregues nas soluções construtivas do edifício. A designada massa térmica dos materiais traduz a capacidade dos mesmos em absorver e armazenar energia proveniente da incidência solar e da temperatura do ar do ambiente interior para proceder posteriormente à sua libertação. Os elementos interiores tais como lajes, pavimentos e paredes contribuem para este efeito, pelo que quanto maior a massa de todos estes elementos mais forte e notório será o efeito da inércia térmica.

Esta capacidade de armazenamento energético permite a regulação da temperatura interior e um maior conforto na utilização diária dos espaços, uma vez que se torna possível, através das soluções construtivas, uma amortização na flutuação da temperatura interior e um retardamento dos picos de calor exteriores e interiores existindo assim uma transição mais suave entre o período quente e o período frio do dia. Deste modo é perceptível que, para climas onde ocorram amplas variações da temperatura exterior e com largos períodos de incidência solar, ou seja, climas propícios a períodos diurnos quentes que conduzam a grandes ganhos energéticos e períodos noturnos menos quentes onde esses ganhos podem ser dissipados, uma forte inércia térmica dos elementos poderá constituir um importante meio de climatização (Papst, 1999).

Como se constata pela Figura 15 o efeito da inercia térmica de um edifício é essencialmente notório em ciclos diários, contudo em determinados casos, pode acontecer que o efeito da inercia térmica se manifeste de forma tão acentuada que seja sentido após longos períodos de tempo isto é, um funcionamento um pouco mais sazonal (Lobão, 2004).

O efeito da inércia térmica alterna consoante as necessidades de climatização da estação do ano, podendo contribuir para o aquecimento ou arrefecimento interior consoante a estação do ano. Durante a estação de aquecimento existe assim uma absorção e armazenamento do calor durante o período diurno e a sua libertação durante o noturno, contribuindo assim para o aquecimento interior deste período. Durante a estação de arrefecimento, a energia acumulada durante o dia

pela massa térmica dos elementos induz o arrefecimento passivo da massa de ar interior, podendo esta ser libertada para o exterior durante o período noturno (quando é devolvida ao meio) através de uma solução de ventilação natural (Lobão, 2004).

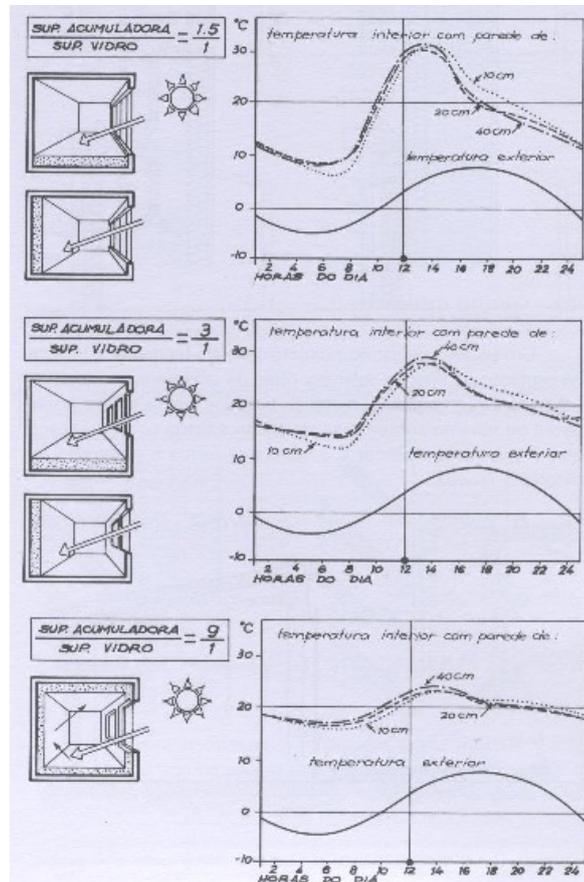


Figura 15 – Importância da inércia térmica na oscilação da temperatura interior (Fonte: (Moita, 2010))

Mesmo considerando um fraco nível de isolamento o efeito da inércia térmica forte permite uma substancial redução das necessidades energéticas para climatização. Como se constata pela Figura 16, para uma mesma habitação o aumento em 5 vezes da camada de isolamento térmico da mesma conduz a uma redução das necessidades nominais de arrefecimento da mesma em 18% (segundo o estudo do autor), pelo que para a mesma solução de isolamento térmico (20mm) é possível reduzir as referidas necessidades em 20% somente mediante o aumento da inércia térmica da habitação (Lobão, 2004).

O efeito da inércia térmica está diretamente relacionada não somente com a massa de acumulação térmica dos elementos mas também com o nível de isolamento das soluções construtivas e a sua disposição na envolvente do edifício, constatando-se que para uma maior resistência térmica da camada de isolamento térmico existe um menor efeito da capacidade de acumulação térmica dos materiais (Papst, 1999).

Contudo, estudos recentes demonstraram que a forma com que a inércia térmica se faz notar no conforto do ambiente interior pode ser influenciada por fatores como a taxa de renovação de ar, a humidade relativa do ar ou o tipo de revestimento interior. Particularmente a utilização de reves-

timentos porosos (por exemplo a madeira) poderá proporcionar um melhor isolamento e uma maior notoriedade do efetivo efeito da inércia térmica no ambiente interior de um edifício (Orosa & Oliveira, 2010).

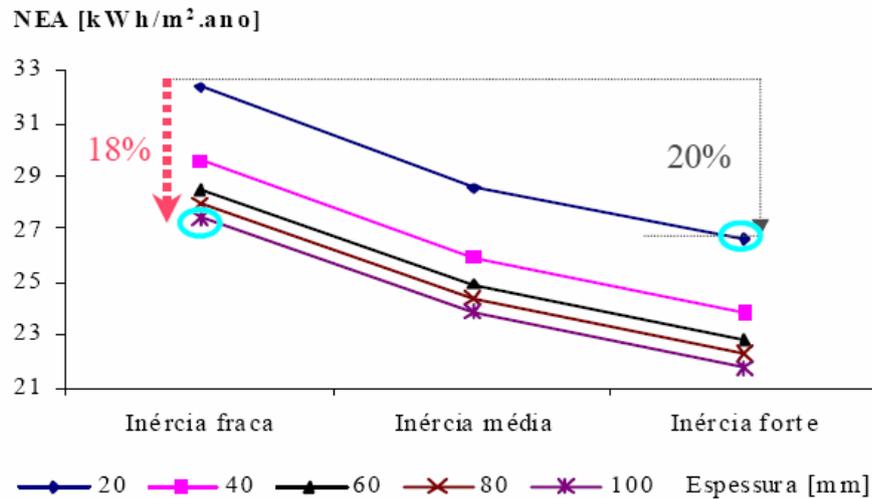


Figura 16 – Efeito da inércia térmica na redução das necessidades energéticas de climatização (Fonte: (Lobão, 2004))

Em climas como o português (em especial na zona sul) onde as temperaturas durante parte significativa do ano são elevadas, a existência de uma inércia térmica forte representa um enorme benefício no arrefecimento passivo do edifício devido à maior capacidade dos elementos de absorção energia do ambiente interior do edifício e proceder à sua libertação para o exterior durante o período noturno (Lobão, 2004). Acresce que além das devidas reduções no consumo energético em plenas estações de arrefecimento e aquecimento, uma forte inércia térmica permite que durante as estações de transição (Primavera e Outono) os edifícios apresentem elevados níveis de conforto, sendo possível a dispensa de meios de climatização mecânicos durante essas estações (Papst, 1999).

É de realçar que embora exista uma redução do consumo em função do aumento da inercia térmica dos edifícios, a diferença entre uma inercia térmica fraca e forte representa apenas uma pequena quota do consumo energético de um edifício. Em especial se se tratar de um clima frio, onde o isolamento térmico da envolvente assegurara um papel preponderante na redução do consumo (Hopkins, Gross, & Ellifritt, 1979).

Em Portugal (país de clima moderado) o recurso a elementos de grande massa acumuladora térmica poderá, a longo prazo, constituir um benefício considerável quer económica quer, sobretudo, ecologicamente.

4.2. Isolamento Térmico

Os principais objetivos da execução de uma obra de reabilitação energética devem visar um aumento da eficiência energética e uma consequente diminuição dos consumos energéticos. Sabendo então que cerca de 22% da energia consumida se destina à climatização dos alojamentos, a implementação em edifícios de soluções de isolamento térmico em toda a sua envolvente irá certamente beneficiar o consumo energético e o conforto de utilização do espaço. Convirá atentar no facto de 78,9% dos edifícios portugueses (Quadro 4) não apresentarem qualquer isolamento térmico na sua envolvente (INE/DGEG, 2011).

O isolamento térmico de um edifício é hoje em dia considerado como prioritário e fundamental para a qualidade de construção do mesmo, posição infelizmente nem sempre partilhada por quem constrói e que muitas vezes, sem competência para tal, decide unilateralmente que se trata de uma despesa de construção desnecessária. Como se apresenta no Quadro 9 a inserção de isolamento térmico nos diversos elementos de uma habitação possibilita a redução substancial do impacte ecológico da mesma, além dos inerentes benefícios a nível de conforto interior. Estima-se que o correto isolamento da envolvente de um edifício permita, para o clima Mediterrânico, a redução do consumo de energia para climatização em aproximadamente 64% no Verão e 37% no Inverno (Cabeza, Castell, Medrano, Martorell, Pérez, & Fernández, 2009).

Como será explicado posteriormente, pode-se constatar desde já para um mesmo elemento construtivo a solução de isolamento térmico a aplicar definirá o tipo de rendimento que será obtido. Por exemplo, para um paramento exterior é possível constatar que a aplicação da camada de isolamento pelo exterior permitirá uma redução mais acentuada das emissões poluentes em comparação com a aplicação do mesmo na interface interior (aproveitamento do efeito da inércia térmica dos materiais). Fatores como o tipo de isolamento, a sua espessura e densidade também assumem um papel de relevo nesta análise, além das evidentes condicionantes locais e climáticas próprias de cada edifício (Kumar & Suman, 2012).

Quadro 9 – Poupança anual nas emissões de CO₂ numa habitação média no Reino Unido (Fonte: (AEA, 2010))

Tipo de isolamento	Poupança anual nas emissões de CO₂ (kg)
Isolamento pelo Exterior	690-1060
Isolamento na caixa-de-ar	750-880
Isolamento pelo interior	560-690
Isolamento de sótãos	750-880
Isolamento do pavimento	60-190

Sendo agora analisadas as diferentes soluções construtivas de isolamento térmico, particularmente os materiais mais utilizados no mercado, mas referindo ainda novos materiais representativos do avanço tecnológico associado a este setor.

Antes de se iniciar a descrição das soluções construtivas mais comuns no mercado da reabilitação energética em Portugal, ir-se-á fazer uma descrição dos materiais com características isolantes que serão estudados nesta dissertação, sendo eles: o poliestireno expandido moldado (EPS), poliestireno expandido extrudido (XPS), o aglomerado negro de cortiça e a lã mineral.

Estas soluções, apesar de muito semelhantes quanto ao seu desempenho enquanto isolantes (apresentam, no máximo, uma diferença no valor de condutibilidade térmica de cerca de 0,006 W/m.°C, equivalente a uma oscilação de 17,5% o que permite verificar as semelhanças de desempenho), possuem características e especificidades de utilização muito diferentes, pelo que a decisão sobre qual a solução a empregar deverá ser tomada consoante as condições de adequabilidade de cada material à obra a efetuar.

Posto isto, é importante enumerar quais as características mais importantes de cada material, pelo que seguidamente se expressa isso mesmo.

Poliestireno expandido moldado (EPS):

- A sua condutibilidade térmica varia, normalmente, entre 0,037 e 0,044 W/m.°C;
- Estável à ação da água (mesmo do mar) embora com considerável perda das duas características térmicas;
- Permeável ao vapor de água e com baixa absorção de água no estado líquido;
- É um material facilmente inflamável, entrando em combustão a temperaturas baixas (cerca dos 70°C);
- Material com longo período de vida útil;
- Pouca resistência química, sendo facilmente atacado por acetona, gasolina e ácidos por exemplo.

Poliestireno expandido extrudido (XPS):

- Impermeabilidade ao vapor de água, com quase nula absorção da mesma;
- Resistência mecânica superior ao anterior;
- Capacidade de isolamento térmica ligeiramente superior;
- Dado ser fabricado das mesmas matérias-primas possui as restantes características semelhantes ao EPS.

Fibras ou lãs de vidro ou de rocha (placas):

- A condutibilidade térmica ronda os 0,041 W/m.°C para uma massa volúmica de 20 a 300 Kg/m³;
- Grande permeabilidade ao vapor de água e suscetibilidade à mesma;
- Incombustível ao fogo;
- Inertes quimicamente;
- Não promove a proliferação de agentes fúngicos ou bacterianos;
- Grande estabilidade dimensional e elasticidade;

Aglomerado negro de cortiça:

- Condutibilidade térmica de cerca de 0,043 W/m.°C para uma massa volúmica de 100 a 150 kg/m³;
- Material natural e ecológico, não necessita sequer de aditivos durante o seu fabrico;
- Permeável ao vapor de água e à mesma no seu estado líquido, grande absorção de água;
- Resistente ao fogo sendo apenas atacado a temperaturas elevadíssimas e não emitindo gases tóxicos;
- Inerte quimicamente (DEC).

4.2.1. Isolamento Térmico em Paramentos

A envolvente vertical opaca dos edificios constitui usualmente a área com maior exposição ao meio exterior, sendo portanto responsável por grande parte das perdas energéticas de um edificio. Estes elementos estão expostos às condições e solicitações climáticas exteriores como radiação solar, temperatura do ar, vento e precipitação (Kumar & Suman, 2012).

Contudo, isto não implica que tenham existido suficientes preocupações na sua construção ao longo dos anos, uma vez que, em termos de eficiência energética, raramente estas são construídas corretamente. Como referido anteriormente, os resultados do I.C.E.S.D. de 2010 demonstram isso mesmo, uma vez que apenas 21,1% dos alojamentos existentes à data possuíam isolamento térmico na sua envolvente (INE/DGEG, 2011).

Como é então evidente, o isolamento destes elementos e consequente aumento da sua resistência térmica irá ter um impacte significativo no consumo de energia para a climatização dos espaços interiores, em especial durante a estação de aquecimento, em que as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior são mais acentuadas.

Segundo a Ecofys, se todo o parque edificado europeu fosse devidamente intervencionado para um nível de atual de eficiência energética, isto poderia levar a uma redução de 42% do consumo de energia final, sendo que 78% dessa redução se deveria ao correto isolamento térmico da sua envolvente exterior opaca (incluindo cobertura e pavimentos) (Ecofys, 2002).

4.2.1.1. Isolamento Térmico de Paredes pelo Interior

Este tipo de soluções consiste na aplicação do isolante térmico pelo interior da envolvente vertical do edificio, conjugando assim a facilidade de execução (não necessita de estruturas de suporte como andaimes) a alguma economia de material. É pouco usual a sua utilização em Portugal.

Existem fundamentalmente três tipos de soluções aplicadas com regularidade: a colagem de placas de isolamentos compósitos como o XPS, o EPS; a utilização de painéis pré-fabricados como placas de gesso cartonado (ver Figura 17), a aplicação de um reboco isolante (descrito mais à frente) ou, em alguns casos mais particulares, a criação de um segundo pano de alvenaria interior.

Com a utilização deste tipo de solução construtiva existe a efetiva vantagem de ser possível um rápido aquecimento ou arrefecimento dos espaços uma vez que a energia não é absorvida pelos paramentos, sendo este aspeto muito relevante para o isolamento de edificios em climas muito

frios (norte da Europa). Todavia, de forma a permitir um desempenho elevado da solução é imperativa a garantia de uma elevada estanquidade dos vãos envidraçados para impedir perdas rápidas diretas para o exterior pela existência de renovações de ar não desejadas.

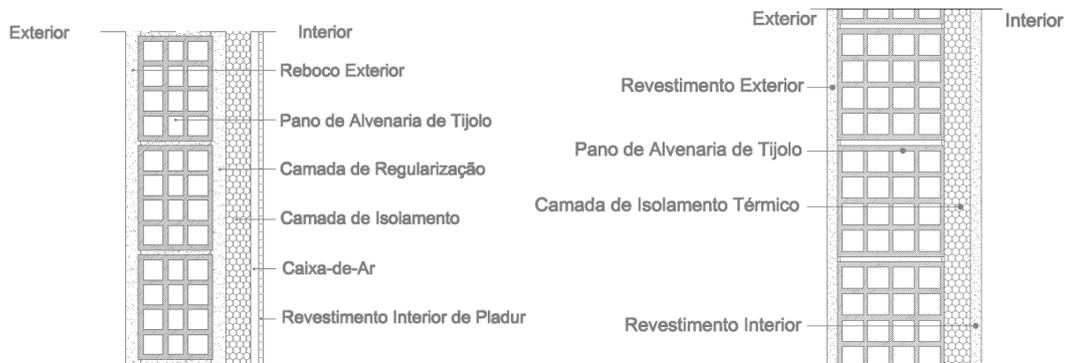


Figura 17 – Exemplos de soluções de isolamentos interiores (Fonte: (DGEG, 2004))

A enorme desvantagem desta solução prende-se com o facto de não permitir a mobilização da massa térmica das paredes para a contribuição da estabilização da variação de temperatura interior através da inércia térmica, existindo assim variações de temperatura consideráveis entre período diurno de incidência solar e o período noturno.

Neste sistema é comum o aparecimento de patologias associadas a humidades caso não exista um controlo higrométrico cuidado, devido à condensação de vapor de água junto às pontes térmicas (essencialmente lineares) uma vez que estas não são suprimidas nas extremidades da parede, situação que é ocultada aquando da utilização de revestimentos de gesso cartonado embora não seja eliminada.

Países mais frios e edifícios não utilizados permanentemente e onde se pretende tirar mais partido da facilidade de aquecimento dos espaços, são os maiores utilizadores destas soluções. Em Portugal esta solução é pouco utilizada, sendo usualmente aplicado na reabilitação de edifícios mais antigos, que devido à sua arquitetura específica e inerente valor patrimonial elevado são classificados como património histórico, estando assim regulamentarmente impedidas quaisquer alterações na sua fachada.

4.2.1.2. Isolamento Térmico de Paredes pela Caixa-de-ar

As paredes duplas representam a solução mais utilizada até recentemente na construção civil tendo constituído a solução construtiva mais explorada nos anos 80 e 90.

Esta solução consiste na aplicação do isolamento térmico entre dois panos de alvenaria (ver Figura 18), e devido a isso está associada especialmente à nova construção, tendo uma aplicação em reabilitação muito limitada, e estando cingida apenas a casos raros em que a redução do espaço interior seja possível e as características da obra assim o exijam, como por exemplo, eventual necessidade de manter um paramento e ser necessário a criação de um segundo pano de alvenaria.

Trata-se de uma solução mais cara dada a quantidade de materiais e de mão-de-obra necessárias, e que requer cuidados na execução para não instigar o agravamento das pontes térmicas que não elimina ou condensações e inerentes acumulações de humidades no interior da parede. Porém oferece um bom desempenho, boa proteção do isolamento e o aproveitamento da inércia térmica correspondente à massa do paramento interior.

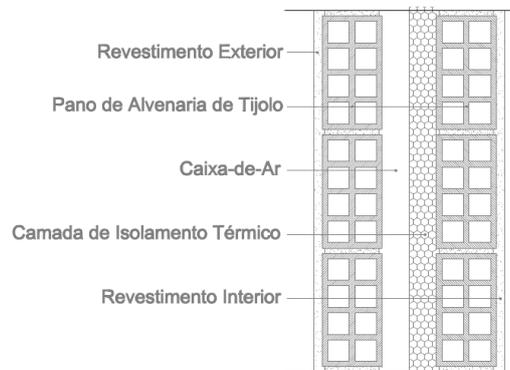


Figura 18 – Exemplo da aplicação de placas de isolamento na caixa-de-ar de um paramento.

Em muitos casos esta solução foi incorretamente concebida aquando da construção do edifício, sendo a não colocação do isolamento térmico a principal causa de um desempenho deficitário. Nestes casos poder-se-á ponderar a aplicação de um isolante em forma de espuma, injetado no interior da parede através de furos de injeção. Devem ser efetuados furos suficientes de forma a que seja possível o controlo da homogeneidade da solução e a inexistência de zonas em que não haja isolamento térmico (DGEG, 2004).

4.2.1.3. Isolamento Pelo Exterior

É um sistema que tem vindo a popularizar-se na construção moderna, quer se trate de novos edifícios ou de uma obra de reabilitação, desde que, evidentemente as características do edifício assim o permitam, (no caso de edifícios antigos ou classificados patrimonialmente existem condicionantes técnicas e legais que impossibilitam o recurso a este tipo de sistemas). Esta solução alia a facilidade de construção e baixo custo de execução a uma grande capacidade de isolamento, enquadrando-se assim perfeitamente em pequenas obras de reabilitação energética, uma vez que todos os trabalhos destas soluções são realizados no exterior do edifício, e permitem a continuidade da utilização do mesmo aquando da reabilitação.

Para este tipo de sistema de isolamento térmico existem diversas soluções construtivas atualmente no mercado, sendo as mais comumente utilizadas a aplicação de painéis de materiais compósitos “colados” diretamente ao paramento, vulgarmente designado por sistema ETICS (Exterior Thermal Insulation Composite System) e a aplicação de soluções descontínuas, consoante as características das obras em questão (ver Figura 19).

A aplicação do isolamento térmico pelo exterior garante uma maior proteção dos elementos construtivos a patologias comuns e a sinais de envelhecimento (fissuras, bolores, condensações...) uma vez que estes estão protegidos das amplitudes térmicas acentuadas e, devido à colo-

cação do isolamento no exterior e consequente continuidade do mesmo em toda a envolvente, existe a correção de pontes térmicas e inerentes condensações e bolores que se manifestem no interior dos edifícios na zona das mesmas. Existe contudo o problema das cantarias que terão de ser avançadas ou mesmo substituídas por umas de maiores dimensões devido ao alargamento da parede para o lado exterior (DGEG, 2004).

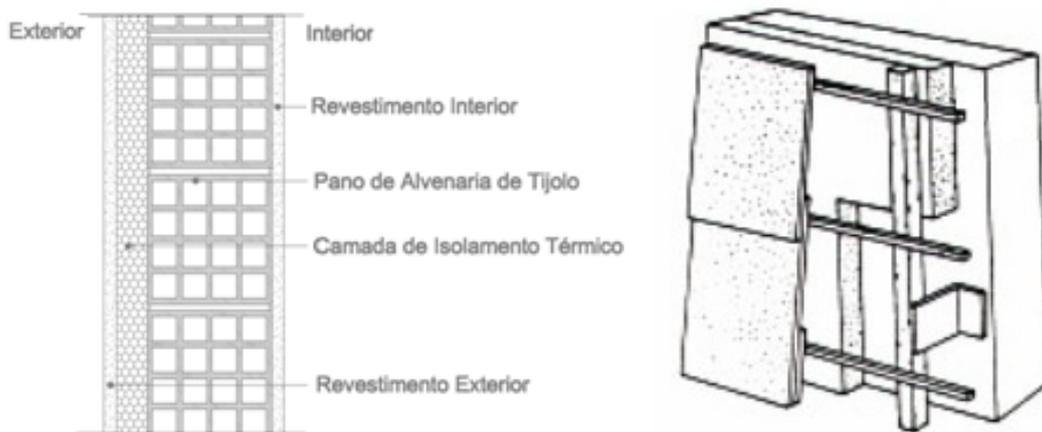


Figura 19 – Exemplos de aplicação do isolamento pelo exterior (Fonte: (DGEG, 2004))

Em termos de conforto existe uma maior comodidade na utilização dos espaços, pois são reduzidas as amplitudes térmicas interiores e diminuídas as variações de temperatura., devido ao facto de ser contabilizada praticamente toda a massa térmica do paramento, ou seja, existindo assim um enorme aproveitamento da inercia térmica destes elementos construtivos. O efeito de parede fria é também eliminado contribuindo para a sensação de conforto do utilizador (Moita, 2010).

4.2.1.4. Rebocos com Propriedades Térmicas

O reboco pode também ele ser um elemento que contribua significativamente para o isolamento da envolvente opaca de um edifício, existindo atualmente um número considerável de rebocos isolantes no mercado. Estas soluções consistem em argamassas pré-doseadas que possuem na sua constituição grânulos de pequeno diâmetro de um material isolante térmico (por exemplo cortiça ou EPS) como demonstra a Figura 20, e que visam assim diminuir a condutibilidade térmica do reboco para níveis mais próximos de um isolante térmico.

Contudo trata-se de uma solução pouco eficaz e menos eficiente que as outras soluções de reabilitação térmica, pelo que devera ser contemplada como um contributo auxiliar e não como um isolante térmico puro (DGEG, 2004). A vantagem desta solução prende-se com a facilidade de execução uma vez que existem menos materiais a utilizar e podendo ser aplicada pelo interior e exterior simultaneamente.

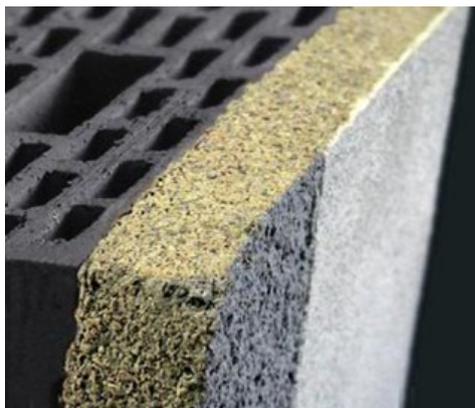


Figura 20 – Exemplo de um revestimento isolante (Fonte: DiaSen)

Outro tipo de reboco inovador na área da eficiência energética de edifícios é o reboco efetuado com argamassa dita térmica e que contém na sua constituição microcápsulas de materiais de mudança de fase. Este tipo de rebocos, exclusivos para o interior, permite a atenuação das oscilações da temperatura no ambiente interior do edifício, reduzindo assim o consumo de energia associado à climatização do mesmo.

Trata-se de argamassas com microcápsulas de materiais que possuem temperaturas de transformação próximas das temperaturas ideais interiores (20 a 25°), e que quando a temperatura interior sobe estes tornam-se líquidos, absorvendo assim o calor latente do edifício e, consequentemente, baixando a temperatura. Por sua vez quando a temperatura desce estes voltam a cristalizar irradiando então o calor armazenado (Lucas, Barroso de Aguiar, & Ferreira, 2010).

No que concerne à reabilitação de edifícios, estas argamassas representam uma nova oportunidade para atribuir aos mesmos níveis de qualidade mais atuais precavendo aspetos importantes como a compatibilidade dos materiais quer estética quer mecânica (Lucas, Barroso de Aguiar, & Ferreira, 2010).

Estes últimos rebocos não estão ainda disponíveis no mercado, estando atualmente a ser estudados pela Universidade do Minho (detentora da patente a nível mundial), esperando-se que sejam uma tecnologia de uso corrente dentro do futuro próximo (10 anos aproximadamente) (Lucas, Aguiar, & Ferreira, 2011).

4.2.1.5. Soluções do Mercado Para Isolamento de Paramentos

Efetuu-se uma pequena pesquisa de mercado que visou a recolha de informação mais específica relativamente aos sistemas de isolamento térmico com materiais compósitos pelo exterior, ou seja, sistemas ETICS. Optou-se por centrar a pesquisa neste tipo de sistemas pois são os que se adequam com a maioria das obras de reabilitação e, como tal, são os mais utilizados.

Contactaram-se algumas empresas às quais foi solicitado informação sobre as suas soluções e preços das soluções, no Quadro 10 apresenta-se as soluções das principais empresas contactadas, o valor anunciado pelas mesmas do valor de condutibilidade térmica dos seus produtos e o preço por metro quadrado destas soluções, incluindo evidentemente o revestimento e mão-de-obra. De realçar que a decisão sobre o tipo de isolante deverá contemplar além do fator financeiro as

especificidades do local, tais como a presença abundante de humidade, e sustentabilidade do isolamento.

Quadro 10 – Sondagem de mercado para soluções de ETICS

Elemento	Empresa	Produto	Espessura (mm)	λ (W/m.°C)	Preço (€)
Envolvente Vertical Opaca	Mapei	Mapetherm XPS	40	-	20 a 30 + IVA
	Dyrup	SMARTtherm (EPS) ou (XPS)	40	0,038/0,039	10,72/18 + IVA
	Weber	Therm Classic (EPS)	60	0,036	32
		Therm Extra (XPS)	60	0,036/0,034	35
		Therm Mineral (Lã Mineral)	60	0,036	38
	Therm Natura (Cortiça)	60	0,040	42	

4.2.2. Isolamento Térmico em Coberturas

A cobertura representa talvez o elemento mais exposto à radiação solar e com maior exposição às condições climáticas ao longo do ano, sendo que o correto isolamento da mesma terá um impacto significativo no nível do conforto do espaço interior. Devido a serem elementos mais propícios ao contacto com humidades, o isolamento a aplicar nestes casos deverá atender a algumas considerações específicas ao elemento em questão.

Tratando-se de um elemento em que o contacto com a humidade é frequente, o isolamento das coberturas deverá ser capaz de suportar de forma eficaz esse contacto, isto é, não apresentar alterações significativas das suas características quer em termos térmicos quer resistentes. Por exemplo, a aplicação de poliestireno expandido moldado é pouco recomendável para o correto isolamento destes elementos dada a considerável quebra das suas propriedades isolantes quando na presença de humidade.

4.2.2.1. Coberturas inclinadas

Estes elementos podem ser isolados de três formas distintas:

- Isolamento no exterior da vertente inclinada;
- Isolamento no interior da vertente inclinada;
- Isolamento sobre a esteira.

Tal como acontece nas paredes, a solução de isolamento pelo exterior trará os evidentes benefícios de acrescida proteção dos materiais e melhor aproveitamento da massa térmica dos elementos. Contudo nem todas as coberturas têm suporte estrutural maciço (especialmente os edifícios mais antigos), pelo que o correto isolamento deste elemento varia consoante a sua solução estrutural.

Os dois primeiros casos enunciados acima representam soluções que são mais convenientemente aplicadas em edifícios em que o seu desvão tem funções habitacionais e, como tal devam assegu-

rar condições de conforto de utilização. Contrariamente, o último caso ao aplicar-se o isolamento na laje de esteira, o desvão deixa de ter capacidade para cumprir tais condições, ficando assim definido pelo RCCTE como um local não aquecido e, como tal deverá estar separado fisicamente do resto da habitação.

Em coberturas em que a vertente inclinada seja constituída por uma laje de betão, o isolamento é aplicado de forma contínua em toda a superfície. Mais uma vez, e tal como nas paredes, é preferível a aplicação pelo exterior (ver Figura 21) uma vez que eliminará perdas através de possíveis pontes térmicas, o aparecimento de patologias como humidades e bolores e ainda promoverá o aumento da vida dos materiais uma vez que estão assim protegidos de ciclos de aquecimento e arrefecimento que causarão a sua degradação e inerente envelhecimento.

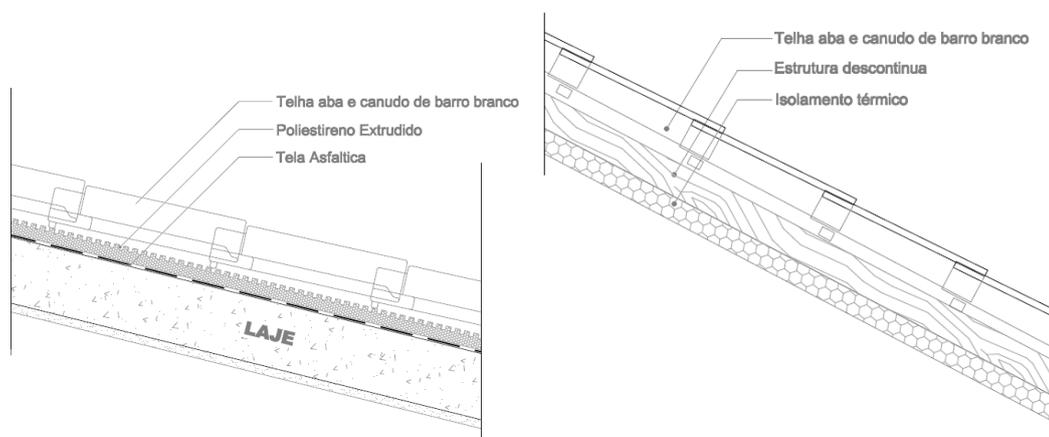


Figura 21 – Exemplo da aplicação de isolamento térmico em coberturas inclinadas (Fonte: (DGEG, 2004))

Contudo, e dado que a cobertura é um elemento da envolvente sujeito a uma grande exposição solar direta e a uma incidência quase perpendicular dos raios solares durante a estação quente, a temperatura superficial da mesma pode atingir temperaturas elevadíssimas (p.e. estando a temperatura do ar a 35°C, a temperatura superficial das telhas poderá atingir os 50°C) o que, evidentemente poderá levar a uma degradação dos materiais isolantes térmicos, pelo que se “deverá assegurar a existência de uma lamina de ar ventilada exterior da cobertura (p.e. telha) e o isolante térmico” (Ferreira M. A., 2009).

Em casos em que a cobertura inclinada seja constituída por elementos estruturais descontínuos, por exemplo ripas pré-esforçadas ou coberturas antigas de madeiras, muitas vezes o isolamento é efetuado com a colocação do isolamento entre esses elementos, isto é uma solução pouco eficiente, uma vez que as ripas constituem pontes térmicas. Esta solução é contudo raramente aplicada sendo preterida pela aplicação contínua do isolamento na parte interior fixado mecanicamente à estrutura da cobertura, como esquematiza a Figura 21.

Caso o desvão seja não acessível ou não aquecido, é aconselhável não isolar esse espaço o que leva a um menor investimento com os similares benefícios. Neste caso o isolamento térmico é colocado sobre a laje de esteira (Figura 22).

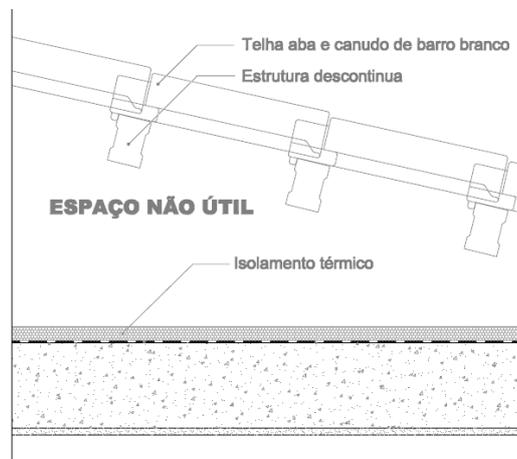


Figura 22 – Exemplos da isolamento térmica de um edifício com desvão não aquecido (Fonte: (DGEG, 2004))

4.2.2.2. Coberturas planas

A sua geometria e disposição destes elementos fazem com que durante a estação de arrefecimento sejam expostas a elevados valores de radiação solar com um ângulo de incidência muito severo, provocando um grande aquecimento destes elementos. Os ganhos energéticos a partir destes elementos são assim consideráveis e mais significativos que nas coberturas inclinadas dada a inexistência de uma câmara de ar ventilada, pelo que o seu correto isolamento contribuirá para a proteção da sua estrutura às variações de temperatura e inerentes variações dimensionais (por vezes muito significativas).

Para estas coberturas existem dois tipos de sistemas a empregar, o sistema tradicional e o sistema invertido. No sistema tradicional o isolamento térmico encontra-se sob a camada de impermeabilização, sendo necessária a introdução de uma barreira para-vapor sob o mesmo de forma a evitar condensações e inerentes aparecimentos de patologias construtivas. Contrariamente, no sistema invertido, esta barreira é dispensada dado que a camada de isolamento é colocada sobre a de impermeabilização, protegendo assim a mesma das variações de temperaturas e consequente envelhecimento (Figura 23).

Em reabilitação é mais comum o recurso à solução invertida uma vez que, de forma a possibilitar alguma economia da intervenção, se recorrer à utilização da camada de impermeabilização existente ou até mesmo de todo o pavimento, acrescentando-se simplesmente a camada de isolamento térmico e a sua proteção. Deverá contudo nesta situação existir atenção às dimensões dos remates.

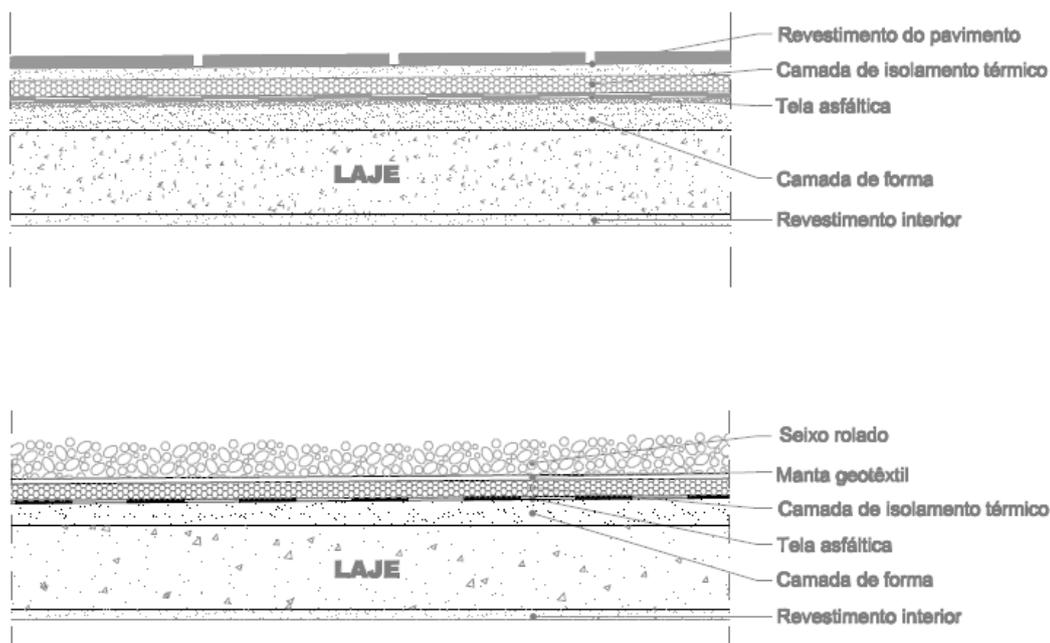


Figura 23 – Solução de isolamento térmico em coberturas invertidas (Fonte: (DGEG, 2004))

No caso da reabilitação de um edifício, e atendendo que muitas vezes existe um prazo restrito para efetuar as alterações necessárias, existem no mercado soluções de fácil e rápida aplicação e que terão um efeito muito benéfico em termos de isolamento. Este é o caso das soluções pré-fabricadas que consistem em lajetas de betão, com painéis isolante de poliestireno expandido extrudido acupulados e que em obra se encaixam por encaixe à meia madeira. Este tipo de solução permite uma redução no tempo de execução dos trabalhos e, conseqüentemente, no valor final da mão-de-obra da reabilitação, como é visível pela Figura 24.



Figura 24 – Ilustração da aplicação de painéis isolantes pré-fabricados (Fonte: Grazimac)

Outro tipo de sistema é a criação de uma cobertura ajardinada, tratando-se contudo de sistema pouco usual e que requer maior cuidados que as anteriores tanto a nível de execução como de manutenção. Contudo este tipo de cobertura representa uma solução ecológica e possibilita um impacto positivo no clima interior do edifício, uma vez que impede a radiação solar direta sobre a cobertura (absorve menos 40% do calor que uma laje normal), armazena águas pluviais e constitui desta forma um microclima que funciona como uma barreira isolante térmica face ao exterior (Roriz & Andrade).

4.3. Envidraçados

Em Portugal cerca de 70 a 75% dos vãos envidraçados possuem soluções que apresentam níveis de desempenho baixos para o grau de exigência de uma zona climática como a portuguesa. Neste caso particular trata-se de soluções em que se utiliza envidraçados com vidros simples e em que a orientação dos mesmos não constitui um fator relevante para o seu dimensionamento (como se constata pelo seguinte quadro em que a área média dos vidros quase não se diferencia (ver Quadro 3), pelo que é perceptível que existe um desconhecimento geral da importância destes elementos e sua respetiva orientação para uma correta e confortável climatização dos espaços. (INE/DGEG, 2011).

Os envidraçados são parte essencial do edifício, possibilitando a natural iluminação do espaço interior e contribuindo para a manutenção das condições de habitabilidade por meio da renovação ambiente interior. Contudo são normalmente a parte mais vulnerável termicamente da envolvente do edifício sendo que podem ser responsáveis por 20 a 40% das perdas energéticas de um edifício (Bülow-Hübe, 2001).

Energeticamente, os vãos envidraçados são elementos construtivos que, se convenientemente planeados e estudados, poderão tornar-se uma valiosa ferramenta para o aumento das condições de conforto interiores, essencialmente no que concerne à regulação climática desses espaços. Contudo, tal desempenho está dependente de um correto discernimento aquando do seu projeto, isto é, estes elementos devem ser cuidadosamente dimensionados e projetados, tendo-se sempre em atenção o facto de ao longo do ano, as condições a que estes estarão sujeitos serem muito diversificadas (Stegou-Sagia, Antonopoulos, Angelopoulou, & Kotsiovelos, 2007).

O desempenho dos mesmos é, naturalmente, também variável consoante o tipo de solução aplicada ao vão envidraçado, seja relativamente ao tipo de vidro aplicado (vidros simples, vidros duplos...) ou ao tipo de material do caixilho (madeira, Policloreto de Vinilo (PVC),...) pelo que tudo isto deverá ser analisado aquando do planeamento do edifício (Manz & Menti, 2011).

É comum a existência de vãos envidraçados incorretamente projetados e com soluções construtivas não condizentes com o que deveria ser efetivamente aplicado, resultando muitas vezes situações de desconforto interior. A origem destes problemas está normalmente associada à perda de calor para o exterior durante a estação de aquecimento, quer por incorreta estanqueidade dos caixilhos quer por insuficiente capacidade de isolamento do tipo de vidro, e ao sobreaquecimento interior durante a estação de arrefecimento resultante da elevada incidência no interior dos raios solares por inexistência adequados meios de proteção (Manz & Menti, 2011).

Atualmente existem soluções no mercado que possibilitam a correção ou atenuação de ambas as situações, como por exemplo a existência de sistemas de vidros duplos e triplos, com caixa-de-ar preenchida por gases mais nobres (como o argón, o cripton ou recorrendo a nano materiais como o aerogel (Oliveira, Torgal, & Bragança, 2012)) ou não, por forma a melhorar as suas características térmicas, a alteração dos vidros simples para vidros com coloração ou que contenham uma película de baixa emissividade e a alteração dos caixilhos para materiais com melhor desempe-

nho térmico, como é o caso do PVC e dos caixilhos em alumínio com poliamida para um eficaz corte térmico do mesmo.

No caso da reabilitação nem sempre é possível alterar as fachadas ou as técnicas construtivas originais de um edifício, isto é, quando existem, essencialmente no caso de edifícios classificados, entraves à alteração da disposição dos vãos ou das suas dimensões bem como das soluções construtivas que os constituem. Nestes casos a solução recai maioritariamente na melhoria das soluções empregues ou, em situações em que isso seja pouco aconselhável devido a condicionantes arquitetónicas ou patrimoniais mais restritas, pelo restauro das soluções existentes ou substituição das mesmas por materiais compatíveis com a arquitetura e técnicas construtivas do edifício.

Contudo, caso se trate de uma construção nova, de uma reabilitação comum ou da reabilitação de um edifício classificado é evidente que algumas soluções serão sempre mais eficazes que outras, por exemplo, a utilização de várias folhas de vidro, isto é, de um vidro duplo será sempre mais eficaz na contenção da transmissão de energia que um vidro simples. Tal como é intuitivo que o tipo de material a utilizar nos caixilhos influenciará o nível de performance final do vão envidraçado.

A caixilharia também influencia de forma significativa a performance dos envidraçados. No Quadro 11 apresentam-se as vantagens de cada tipo de material e as suas principais características, e constata-se que materiais como o PVC e a fibra de vidro são as melhores opções, sendo a madeira (material natural e ecológico, logo mais sustentável) também uma opção muito válida, apesar de que a escolha deste material implicar custos de manutenção evidentemente mais elevados.

O melhor material para a constituição de um caixilho é o PVC apresentando o menor valor de condutibilidade térmica ($U=1,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) seguido da madeira ($U=2,0-2,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), que apresenta um desempenho térmico bastante semelhante. Por último, o alumínio constitui a pior escolha como solução para a caixilharia de um envidraçado, mesmo que possua corte térmico, pois o desempenho térmico anual é semelhante para ambos os casos, apesar da variação de U entre ambos os casos (cerca de $10,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para caixilhos sem corte térmico e de $5,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ com corte térmico) (Sirgado, 2010).

Outros aspetos relevantes para um eficaz desempenho de um vão envidraçado são, por exemplo, o tipo de janela e a sua correta calefetação. Uma janela de correr, devido ao maior perímetro de frinchas que possui, irá sempre ter associado à mesma um maior grau de permeabilidade ao ar face a um vão de idênticas dimensões mas constituído por uma solução de uma só janela de batente. Acresce em soluções que possuam vidros duplos (atualmente com coeficiente de transmissão térmica muitas vezes inferiores aos dos caixilhos), a maior área de caixilhos de uma solução de correr, é suficiente para reduzir a capacidade de isolamento do vão. Realça-se a correta calefetação das frinchas, pois estas constituem uma passagem de ar que não pode ser controlada e que contribui para a perda de energia para o exterior (Moita, 2010).

Quadro 11 – Características dos materiais dos caixilhos (Fonte: (EWC))

Alumínio	Duradouro, facilmente extrudido e requer pouca manutenção. A maior desvantagem é a elevada condutibilidade térmica. Em climas frios, uma caixilharia de alumínio simples conduz à condensação de humidade ou formação de gelo.
Alumínio com Corte-térmico	Assume benefícios aos níveis do conforto, económico e estético. A condução de calor é reduzida através da “rotura térmica” da caixilharia. Genericamente, uma janela de alumínio com vidro duplo pode apresentar uma variação de -25% do coeficiente de transmissão térmica, face à mesma janela sem vidro duplo. Já os perfis de alumínio com corte-térmico promovem uma redução da transmissão térmica entre 40 a 60%.
Madeira	Aparência tradicional e excelente desempenho térmico. Em oposição, o prazo de longevidade é limitado pela suscetibilidade ao apodrecimento e empeno, o que requer uma contínua e cuidada manutenção. A caixilharia em madeira lamelada colada garante prestações superiores quanto à durabilidade e desempenho térmico, estando ao nível de uma caixilharia de alumínio com rotura térmica.
Madeira Composta	O pano exterior da caixilharia é revestido por PVC ou alumínio, constituindo uma superfície resistente durante o tempo de vida útil. Reduz os custos de manutenção relativamente à caixilharia tradicional de madeira e mantém uma aparência atrativa no interior, proporcionada pelo acabamento em madeira.
PVC Policloreto de Vinilo	Melhor isolamento térmico e acústico e estanquidade perfeita, comparativamente com as caixilharias tradicionais. A resistência do material cria vantagens ao nível da longevidade e não exige necessidades de conservação. Pode ser comparável à madeira em termos de desempenho térmico.
Híbrido/ Compósito	Proporciona menores custos, no entanto, dada a diversidade de materiais utilizados na sua composição, dificulta estimar as propriedades térmicas da caixilharia.
PVC isolado	O preenchimento das cavidades ocas da caixilharia com isolamento térmico torna-as superiores relativamente às caixilharias clássicas de PVC e até às de madeira.
Fibra de vidro	Caixilharias dimensionalmente estáveis e, tal como as de PVC, dispõem de cavidades de ar que permitem o preenchimento com isolamento, aumentando o seu desempenho térmico.

O melhor tipo de vidro varia consoante a estação do ano, constituindo as soluções de vidro duplo e triplo as melhores opções. Para um mesmo caixilho a escolha de um vidro duplo com película

de baixa emissividade representa a melhor solução para a estação de aquecimento devido à menor refletividade dos raios solares e inerente aumento dos ganhos térmicos interiores. Contudo, a esta mesma solução corresponde o pior desempenho durante a estação de arrefecimento pela mesma razão acima enunciada (Sirgado, 2010).

De referir que o espaçamento entre vidros pouco influencia o seu desempenho e que o preenchimento com gases mais nobres melhora de forma insignificante o consumo de energia do edifício anualmente (Sirgado, 2010).

Dado o enunciado acima, facilmente se depreende que, para um clima como o português, a solução a adotar para os vãos envidraçados deverá consistir numa solução de vidro duplo com película de baixa emissividade em caixilho de PVC ou madeira, assumindo aqui o gosto pessoal do utilizador e as condicionantes arquitetónicas e construtivas um papel preponderante na escolha, uma vez que segundo Sirgado as alterações a nível energético são pouco significativas (Manz & Menti, 2011).

De realçar que o tipo de vidro escolhido revelou no estudo acima o pior resultado na estação de arrefecimento, porém durante essa estação dever-se-á recorrer à utilização de sombreamentos.

As caixilharias com corte térmico apresentam igualmente uma boa solução ao nível de prevenção patológica, pois devido à superior temperatura do caixilho interior, é mitigado o aparecimento de condensações interiores nas mesmas, sendo possível que ocorram posteriormente noutras zonas dos espaços (Sirgado, 2010).

4.4. Soluções Passivas / Arquitetura Bioclimática

A envolvente pode ter uma grande influência nas características térmicas de um edifício, a sua arquitetura, a sua orientação e o aspeto da sua fachada representam um papel preponderante nas condições de exposição do edifício às condicionantes climáticas locais e isso, conseqüentemente, irá ter repercussões ao nível de conforto interior.

O conceito da arquitetura solar ou bioclimática apresenta-se também como um importante contributo para a reabilitação energética do parque edificado. Esta consiste em pensar e projetar um edifício tendo em conta toda a envolvência climatérica e características do local em que se será implantado, introduzindo no mesmo soluções arquitetónicas e construtivas que de forma harmoniosa visem ecologicamente otimizar o conforto interior do edifício (o conforto térmico, luminoso, etc.)

É a esses sistemas que se atribui a designação de sistemas passivos de climatização, este tipo de soluções visa a climatização dos espaços com base nos elementos construtivos dos mesmos e com base no aproveitamento das condições climáticas locais, sem necessidade de utilização de nenhum recurso mecânico.

Em reabilitação existe uma intrínseca dificuldade de implementação deste tipo de sistemas, dada a frequente impossibilidade de proceder à livre alteração de fachadas ou soluções construtivas

originais, muitas vezes devido à classificação patrimonial dos edifícios ou das suas zonas urbanas. Contudo mesmo quando tais entraves regulamentares não se verificam existem outras condicionantes estruturais ou arquitetónicas que limitam a inserção destes sistemas, por exemplo, a alteração da orientação de um edifício ou dos seus vãos envidraçados.

Todavia o recurso a técnicas arquitetónicas de princípios seculares e de baixa intrusividade na identidade do edificado, como a implementação de sistemas de ventilação natural ou sombreamento interiores, poderá ser uma ferramenta chave na reabilitação energética de edifícios, mesmo que classificados patrimonialmente.

Existem dois tipos de sistemas passivos de captação de energia:

Diretos – Caso o seu método de funcionamento se baseie “simplesmente na captação da radiação solar para o interior do espaço habitado através dos vãos envidraçados” (Moita, 2010).

Indiretos – Neste caso o funcionamento consiste na transformação da energia proveniente da incidência da radiação solar em calor que é posteriormente transmitido para o interior por convecção ou ventilação, não existindo assim incidência solar direta no interior.

4.4.1. Soluções Passivas de Aquecimento

As soluções passivas de aquecimento devem visar alguns objetivos cruciais facilmente identificáveis que permitam uma económica e ecológica climatização do espaço. A mais evidente é pois a maximização dos ganhos energéticos diretos. O dimensionamento correto dos vãos envidraçados e a sua cuidada disposição nas fachadas do edifício constitui um fator importante nesse aspeto, embora a alteração dos mesmos nem sempre seja possível em obras de reabilitação.

Como já foi referido, os vãos envidraçados são os elementos que permitem mais perdas energéticas para o exterior, contudo estas perdas podem ser compensadas com ganhos térmicos que estes permitem provenientes da radiação solar incidente, isto é, a quantidade de energia perdida pode ser compensada pela quantidade de calor gerado pela incidência solar direta no interior. Para tal a distribuição e dimensão dos vãos deverá ir de encontro à duração da exposição solar diária a que a fachada onde este se encontra é sujeita, devendo existir coerência na relação de proporção entre ambos, por exemplo, é um contrassenso atribuir a uma fachada direcionada a norte a maior área de envidraçados uma vez que as perdas energéticas nunca seriam compensadas pelos ganhos térmicos proveniente da radiação incidente, tanto que esta incidência é inexistente em qualquer altura do ano para esta orientação.

Contudo há que atender ao facto de que a criação destes vãos deve contemplar meios auxiliares que sejam concordantes com a finalidade dos mesmos, isto é, a criação destes vãos apenas será benéfica caso sejam assegurados meios de proteção tanto para a estação quente em que a incidência solar não é desejada quer para os períodos noturnos de forma a promover o isolamento térmico dos mesmos (Moita, 2010).

4.4.1.1. Paredes de Trombe

Uma parede de trombe é um sistema passivo de captação da energia solar com o intuito de aquecer o espaço interior. Esta solução consiste numa fachada orientada a Sul constituída por uma parede de grande massa (forte inercia térmica) de tonalidade escura, um espaço de ar e um vão envidraçado na face exterior, funcionando praticamente como uma pequena estufa e tratando-se de uma solução simples, económica e sustentável.

O envidraçado deverá situar-se entre 10 a 15cm da parede, tendo esta ultima uma espessura adequada em função do tipo de material em que é executada e do seu coeficiente de transmissão térmica, pelo que quanto maior for este coeficiente, maior espessura deverá ter a parede de forma a retardar a transmissão de calor (Moita, 2010).

O método de funcionamento deste sistema consiste na absorção da radiação solar pela parede e conseqüente aquecimento da mesma e do espaço de ar. A utilização de materiais com uma tonalidade escura e com uma boa capacidade de absorção da incidência solar representa um fator importante para a eficiência desta solução uma vez deste modo se minimiza a quantidade de radiação solar refletida. A utilização de um tipo de vidro com película de baixa emissividade aumenta a quantidade de radiação que é emitida para o interior, e conseqüentemente, absorvida pela massa térmica da parede (Torcellini & Pless, 2004).

O calor absorvido e acumulado pela parede é posteriormente enviado para o interior de forma retardada aquecendo deste modo o espaço adjacente quando a temperatura exterior já desceu para níveis inferiores aos de conforto. Esta solução permite além do aquecimento, a ventilação do espaço interior através das aberturas que possui no topo e na base da parede. O atraso na transferência de calor é 3 vezes superior com o sistema de ventilação fechado do que aberto (Paiva, et al., 2012).

A temperatura na caixa-de-ar chega a ultrapassar os 60°C, podendo existir um diferencial de temperatura entre topo e base de 19°C. A temperatura na parede acumuladora tem padrões iguais à caixa-de-ar apresentando valores superiores, sendo que temperaturas acima dos 60°C existem durante períodos maiores (Paiva, et al., 2012).

Estes ventiladores reguláveis deverão, se possível, existir também no envidraçado, representando uma forma mais direta de climatização interior através da incorporação de ar exterior (Figura 25). Os ventiladores existentes no paramento permitem aproveitar de forma mais eficiente os ganhos de calor que são gerados pela solução, transmitindo-os para o interior de forma direta por ventilação. Caso não existam tais ventiladores, e devido ao facto de a transmissão de calor através da parede ser um processo moroso, uma maior quantidade de calor seria perdido para o exterior através do vidro.

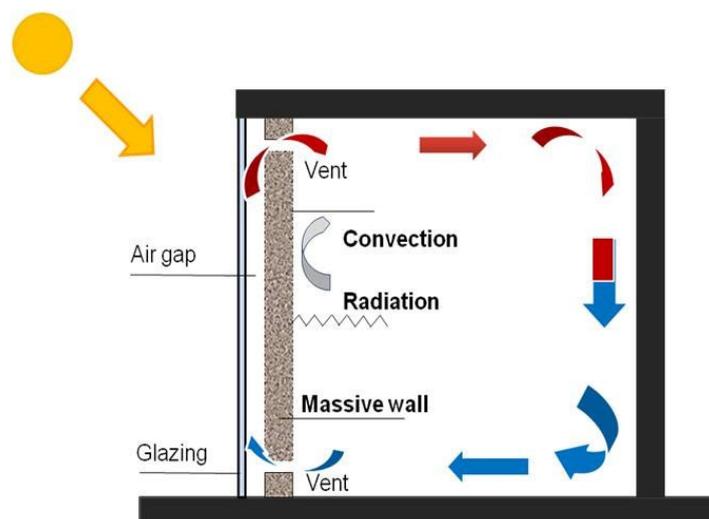


Figura 25 – Métodos de transferência do calor para o interior de uma parede de trombe (Fonte: (Özbalta & Kartal, 2010))

Por outro lado, a introdução de ventiladores no envidraçado permitem uma rápida climatização do espaço devido à circulação do ar entre o interior e o exterior através do espaço de ar (Awbi, 1998). A imagem seguinte demonstra as diferentes formas de climatização possíveis através de uma parede de trombe, quer seja para aquecimento quer seja para arrefecimento (Figura 26).

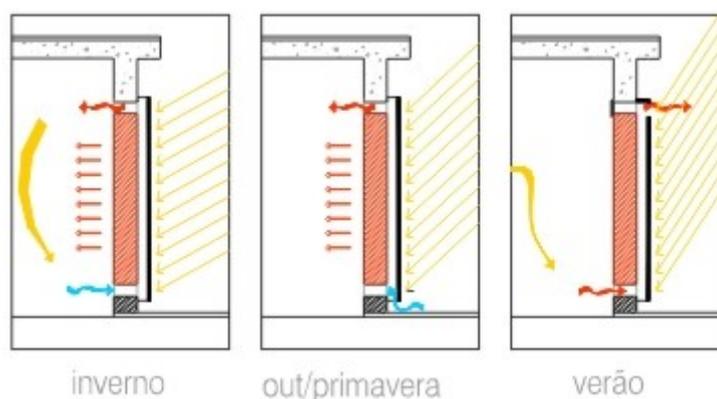


Figura 26 – Funcionamento de uma parede de trombe ao longo do ano (Fonte: (CAD, 2007))

De forma a minimizar o consumo energético de um edifício, deve-se atender ainda a alguns cuidados complementares, como é o caso da escolha de vidro duplo como solução para a parte envidraçada de forma a reduzir significativamente as perdas de calor para o exterior através deste elemento. O revestimento da parede deve também ser criteriosamente escolhido sendo que o emprego de materiais que possibilitem uma eficaz troca de energia entre o interior da parede e o espaço é crucial para o aquecimento do espaço, por exemplo, a colocação de móveis junto ao paramento pode reduzir a quantidade de calor transferido para o interior em cerca de 40% (Balcomb & Hedstrom, 1980).

O dimensionamento destes sistemas influenciará evidentemente a sua eficácia pelo que um sistema sobredimensionado levará ao sobreaquecimento do espaço, enquanto que um sistema sub-

dimensionado funcionará de forma eficaz somente em dias quentes da estação fria (Moita, 2010). No Quadro 12 são indicadas as relações entre a área da parede de Trombe e a área de pavimento do espaço que a mesma serve mediante a temperatura média exterior.

Quadro 12 – Relação entre a área da parede de Trombe e o seu espaço adjacente (Adaptado de Moita, 2010)

Dimensionamento de Paredes de Trombe	
Temperatura média exterior na estação fria (°C)	Área envidraçada em função da área do espaço a aquecer (m ²)
-4	0,60 - 0,90
-1	0,50 - 0,70
2	0,40 - 0,60
5	0,30 - 0,45
8	0,25 - 0,35
Temperatura dos meses mais frios que são Dezembro e Janeiro	

A existência de um sistema de proteção para a radiação solar incidente deverá ser considerado e implantado, não apenas para que durante o verão não exista uma absorção tão acentuada da radiação solar que provoque um conseqüente sobreaquecimento do espaço interior, mas também para que durante os períodos noturno da estação fria seja possível preservar o calor gerado no interior através da minimização da transmissão térmica pelo envidraçado. Uma solução tipo persiana exterior apresenta a melhor solução de proteção para uma parede de trombe uma vez que satisfaz as necessidades de sombreamento e isolamento, pelo que o correto prolongamento do beirado pode providenciar o sombreamento necessário durante a estação de arrefecimento como demonstra a Figura 27.

Finalmente, é de realçar que, um dos impedimentos à introdução das paredes de trombe na construção portuguesa prende-se com o facto de o atual regulamento não especificar como devem ser contabilizados os ganhos e perdas através destes elementos (Paiva, et al., 2012).



Figura 27 – Exemplo de parede de trombe com correto sombreamento através do beirado (Fonte: (CAD, 2007))

4.4.1.2. Estufas

As estufas representam outro sistema passivo indireto de climatização. Estes sistemas possuem um método de funcionamento combinado entre um sistema de ganhos diretos e indiretos, e são constituídos por um espaço fechado com uma grande área de envidraçados e elementos com elevada massa térmica, geralmente associada ao pavimento e ao paramento que separa a estufa do espaço interior útil a aquecer (Moita, 2010).

Uma estufa constitui uma solução passiva de climatização que pode funcionar de forma diferente da inicialmente prevista, que é a absorção da radiação solar direta para aquecimento direto desse espaço e aquecimento indireto do espaço contíguo à mesma. Deste modo uma estufa permite também a obtenção de consideráveis ganhos energéticos em dias nublados através da captação de energia proveniente da radiação difusa, podendo inclusive funcionar também como uma zona de tampão quando as condições climáticas exteriores apresentam temperaturas baixas (Silva, 2006).

Tal como as paredes de trombe as estufas devem ser criteriosamente estudadas, atendendo às suas condições de exposição à radiação solar e à massa térmica da parede contígua e pavimento, caso contrário é possível a ocorrência de situações de sobreaquecimento ou de elevadas amplitudes térmicas, no Quadro 13 é indicada a relação entre a área ideal de captação solar e a área do compartimento que lhe é adjacente em função do tipo de elemento de acumulação térmica (Moita, 2010).

Quadro 13 – Área de captação solar de uma estufa em função do compartimento que serve (Adaptado de Moita, 2010)

Dimensionamento de Estufas	
Temperatura média exterior na estação fria (°C)	Área envidraçada em função da área do espaço a aquecer (m ²)
-4	0,8 - 1,3
-1	0,65- 1,2
2	0,5 - 0,9
5	0,4 - 0,7
8	0,3 - 0,5
Temperatura dos meses mais frios que são Dezembro e Janeiro	

É de mencionar que uma estufa corretamente executada deve permitir o seu isolamento do restante edifício e inclusivamente até a sua possível desmontagem durante a estação de arrefecimento de modo a evitar sobreaquecimentos.

4.4.2. Soluções Passivas de Arrefecimento

Este tipo de soluções deve visar a diminuição dos ganhos energéticos e o decréscimo da temperatura interior quando necessário. Os sombreamentos e mecanismos de ventilação natural são pois as ferramentas passivas mais apropriadas e eficazes para esses efeitos. Há que ressaltar contudo que o sombreamento deverá ser eficaz na oclusão solar mas também deverá permitir uma sufi-

ciente iluminação natural do interior, caso contrário os consumos e ganhos energéticos provenientes dessa iluminação podem apresentar-se como mais gravosos que a própria radiação solar.

No caso da ventilação natural, entende-se, evidentemente, que se trata de uma ventilação desejada e não a ventilação proveniente de infiltrações de ar, por exemplo, resultantes da má calefetação das fachadas.

4.4.2.1. Sombreamentos

A importância dos sombreamentos é frequentemente menosprezada, não se percebendo os benefícios que oferecem para o controle das condições climáticas interiores. Como se explicou anteriormente, a inevitável translação do planeta em torno do sol aliada à inclinação do planeta face ao seu eixo de rotação faz com que anualmente exista uma variação da inclinação do ângulo com que os raios solares chegam à Terra. Esta variação oscila cerca de 46° o que representa uma significativa diferença da altura solar e que permite assim o uso do sol como recurso de climatização natural.

Os elementos de sombreamento deverão essencialmente cumprir funções de proteção da radiação solar evitando que esta chegue ao interior do edifício devendo ser devidamente dimensionados para esse efeito. Infelizmente é comum na boa prática atual de construção a inserção nas fachadas de elementos deste caráter para efeitos meramente arquitetónicos (questão das palas essencialmente), situação que, frequentemente, não tirada partido do real potencial de desempenho dos mesmos e que resulta em completos fiascos do ponto de vista energético do edifício.

As soluções de sombreamento podem ser interiores ou exteriores, sendo que, evidentemente, um sombreador exterior será sempre mais eficaz que um interior uma vez que o interior, com a incidência nele da radiação solar e inerente aquecimento, irá contribuir para o aquecimento do espaço por convecção (Silva, 2006).

Existem diversos sistemas sombreadores desde os reguláveis como persianas, toldos e lamelas móveis a fixos como palas ou partes do próprio edifício como por exemplo varandas. Um sombreador deverá ser uma ferramenta eficaz de controlo da intensidade luminosa pelo que uma solução móvel será sempre mais recomendável dada a possibilidade de ajustamento a diferentes situações, especialmente se se tratar de um sistemas de lamelas em que uma das suas partes contenha uma superfície refletora, permitindo assim que a iluminação solar se reflita e chegue a zonas mais recuadas do interior (Moita, 2010).

No que concerne a sombreamento fixos, dada a impossibilidade de regular o seu funcionamento estes devem ser criteriosamente projetados consoante o clima local e a orientação dos vãos que servem. Para vãos orientados a sul a escolha de uma pala constitui a melhor opção, contudo para as orientações de oeste e este, uma pala horizontal revela-se ineficaz uma vez que quando o sol atinge uma altura solar suficiente para a mobilização do sombreamento deste elemento, este já se encontra numa diferente orientação. Deste modo para estas orientações será mais eficaz a criação de uma proteção vertical.

Um sombreamento fixo, por exemplo uma pala (Figura 28), mesmo que corretamente dimensionada, ou seja, que permita o sombreamento no Verão quando a altura solar é superior e a entrada dos raios solares no Inverno quando na situação contrária, nem sempre é aconselhável uma vez que “podem constituir um indesejável obstáculo à radiação solar difusa nesta estação fria do ano” em dias mais nublados (Moita, 2010).

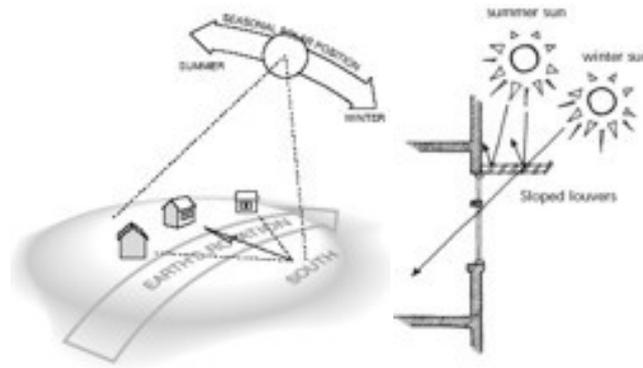


Figura 28 – Ilustração de sistema de sombreamento fixo - palas (Fonte: (CAD, 2007))

Uma maneira mais natural de proceder ao sombreamento de vão envidraçados é a utilização de técnicas bioclimáticas seculares que envolvam o recurso à vegetação. Como é sabido, muitas árvores mudam a sua folhagem anualmente (designadas árvores de folha caduca), ficando completa ou quase completamente sem folhas durante a estação de aquecimento e exibindo uma folhagem densa durante a Primavera e Verão. Estes ciclos anuais permitem, para edifícios de pequeno porte a utilização da vegetação como sombreador, se bem que será extremamente difícil de alterar as condições de sombreamento quando desejado (ver Figura 29).

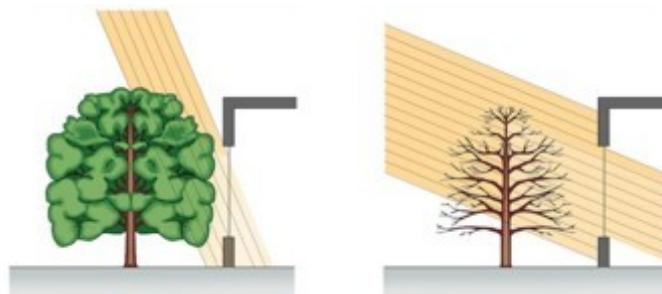


Figura 29 - Sistema de sombreamento com recurso á vegetação (Fonte: (CAD, 2007))

Na reabilitação, mais uma vez, é possível a existência de condicionantes arquitetónicas, patrimoniais ou de ordenamento municipal que coloquem entraves à colocação de elementos de sombreamento, pelo que é sempre possível a aplicação de uma menos eficaz solução de sombreamento interior.

4.4.2.2. Ventilação Natural

Como referido anteriormente a ventilação constitui um importante meio para garantir um adequado nível de conforto interior. Neste ponto ir-se-ão abordar soluções que inculcam a implementação de uma ventilação natural como fonte de renovação do ambiente interior e, mais especificamente na climatização dos espaços.

A ventilação natural está diretamente dependente das variações de pressões induzidas pelo vento, diferenças de temperatura ou ambos, pelo que é necessário um conhecimento das condições predominantes no local de forma a desenvolver as soluções construtivas que induzirão a ventilação natural de forma mais eficaz.

A ação do vento no edifício provoca o aparecimento de pressões positivas e negativas na sua envolvente. Estas pressões são variáveis e influenciadas por diversos fatores desde a arquitetura do edifício, à estação de ano e à direção dos ventos predominantes, pelo que um correto relacionamento entre todas as variáveis é essencial para o bom funcionamento de uma solução de ventilação natural que dependa da ação do vento.

De forma a maximizar o efeito do fluxo de ventilação de um edifício este deverá ser implantado obliquamente à direção predominante dos ventos da região, aumentando assim o número de fachadas com pressões positivas, como demonstra a Figura 30. Relativamente aos envidraçados deve-se procurar uma igual distribuição das dimensões dos mesmos nas zonas de pressões positivas e negativas, embora seja preferível que a sua maior dimensão seja horizontal e não vertical uma vez que estas apresentam um melhor desempenho a potenciar a ventilação natural dos espaços (Rosenbaum, 1999).

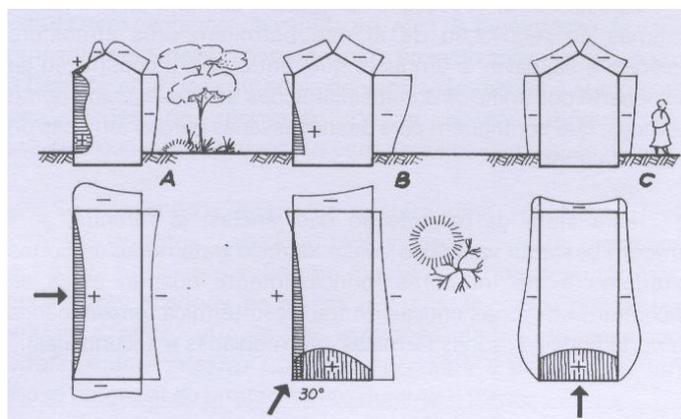


Figura 30 – Diagramas de pressões derivadas da ação do vento em diferentes orientações (Fonte: (Moita, 2010))

A ação do vento como acima foi descrito provoca a movimentação do ar interior tendo por base as pressões a que a massa de ar está sujeita. Existem duas formas de se utilizar este fenómeno para uma eficiente ventilação natural do interior.

A primeira é através da designada ventilação cruzada, em que existe a entrada de ar por uma fachada e a sua saída por outra. Esta solução é a mais utilizada normalmente uma vez que está associada a aberturas na vertente vertical das fachadas como os vãos e grelhas e é a mais eficaz

uma vez que essa massa de ar renovado percorre o interior do edifício, mesmo os mais interiores (Verdelho, 2008) e (Awbi, 1998).

As pressões inerentes à ação do vento podem ser também utilizadas através de condutas de ar verticais que ligam o interior ao exterior terminando nas coberturas das habitações. As depressões instaladas nas coberturas, especialmente nas inclinadas, forçam a extração de ar do interior através das condutas sendo este substituído pela entrada de ar a cotas mais baixas, pelo que deste modo é aconselhável a instalação de entradas de ar a cotas inferiores ou a escolha de vãos que permitam pequenas infiltrações sendo de realçar que este sistema apresenta um rendimento não uniforme dadas as intermitências da ação do vento. Este tipo de solução consta na maioria das habitações ao nível das instalações sanitárias e garante a ventilação mínima dos espaços, em especial no inverno (época mais ventosa) (Verdelho, 2008).

A temperatura também constitui um importante meio de indução ao movimento de fluidos, neste caso pretende-se tirar partido da elevação das massas de ar a temperaturas superiores para a ventilação dos espaços. A implementação de dispositivos de admissão de ar no topo e base de uma fachada, criteriosamente implantados, poderá constituir, tal como na ventilação cruzada, uma boa solução de ventilação natural.

A ventilação unilateral é uma solução que se baseia nesse mesmo fenómeno físico, visando a climatização do espaço contíguo através da ventilação consequente do movimento da massa de ar aquecida interior. Esta solução consiste na inserção de grelhas no top e base de um paramento de fachada por forma a que, quando a temperatura da massa de ar interior suba, exista a elevação e saída da mesma pelo dispositivo superior, resultando numa subpressão que absorva o ar exterior mais fresco. Esta solução não funciona em climas de temperaturas muito elevadas e tem uma eficácia reduzida em países de clima moderado devido ao pequeno diferencial de temperatura (Digest, 1994). Uma janela aberta num compartimento fechado funciona através deste princípio físico, existindo a entrada de ar na parte inferior e a extração de ar no topo da mesma (Awbi, 1998).

As chaminés solares, chaminés idênticas às normais com a exceção que a sua face sul é envidraçada, constituem um meio eficaz de induzir a ventilação natural num edifício. O aquecimento da massa de ar na chaminé derivado à captação da energia solar provoca uma diferença de pressões interiores e um fluxo de ar do interior para a chaminé, sendo que está provado que é tanto mais eficaz quanto menor a velocidade do vento local (Verdelho, 2008).

Estas devem ser cuidadosamente implantadas e dimensionadas, pelo que a sua localização na zona sul do edifício aumentará o seu desempenho, tal como o aumento da sua secção induzirá um aumento do caudal de ventilação, contudo o excessivo aumento da mesma fará com que este sistema se torne ineficiente dada a acrescida dificuldade de aquecimento da massa de ar (Awbi, 1998). Uma secção de 200mm apresenta-se dimensionalmente como sendo a opção mais eficiente (Bouchair, 1988).

Os telhados solares também se apresentam como uma alternativa às paredes de trombe e às chaminés solares, especialmente para regiões onde a altura solar é maior o que faz com que as solu-

ções anteriores percam eficiência dada a reduzida incidência solar direta. Neste tipo de sistema de ventilação natural utiliza-se o telhado como mecanismo de extração do ar interior através do aquecimento da massa de ar junto ao mesmo e entrada de ar fresco na base do edifício, como demonstra a Figura 31 (Awbi, 1998).

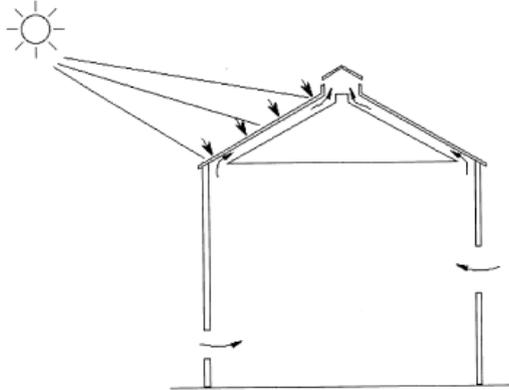


Figura 31 – Telhado Solar (Fonte: (Awbi, 1998))

Desta forma existe uma maior área de absorção solar, o que aliado à mais alta zona de extração da massa de ar, constitui para climas quentes (usualmente associadas às regiões de maior altitude solar) uma fonte de arrefecimento passivo mais eficaz que uma para de trombe ou chaminé solar (Awbi, 1998).

4.5. Soluções de Captação e Conversão de Energia

A implementação de sistemas de captação e de conversão de energia pode reduzir significativamente os gastos energéticos de um edifício, estes sistemas são geralmente sistemas ativos, ou seja, são elementos auxiliares do próprio edifício.

Um exemplo de excelência da aplicação de tais sistemas são os NZEB (Net Zero Energy Buildings). Estes edifícios, ainda pouco comuns atualmente, têm como principal objetivo a eficiência energética e o baixo ou nulo consumo energético, sendo projetados para esse fim desde as primeiras instâncias da sua criação, não se descurando sequer o fator da orientação.

Deverá existir uma cada vez maior influência deste tipo de edifícios no sector da construção, especialmente tendo em conta as metas ambientais estipuladas para 2020. Por exemplo, o seu nível de aproveitamento das energias renováveis é um dos pontos a levar em consideração para reabilitação energética de edifícios, contudo estes sistemas deverão ser analisados de forma correta e objetiva, pois os custos de investimento poderão não ser justificáveis em alguns casos.

4.5.1. Painéis Solares Fotovoltaicos

Quando se pensa em energias renováveis pensa-se imediatamente na produção de energia elétrica através da radiação solar, ou seja, pensa-se em painéis solares fotovoltaicos (Figura 32). Neste tipo de painéis a energia solar é convertida diretamente em eletricidade pelo que esta poderá ser utilizada para consumo doméstico sendo que, em dias de maior produção (mais radiação) e de

menor consumo poder-se-á proceder à venda dessa energia à rede (desde que exista a necessária ligação), isto é, poder-se-á utilizar esta solução de microprodução a fim de reduzir a fatura mensal energética (Rosendo, Lourenço, Calhau, Morais, & Roriz, 2010).



Figura 32 – Exemplo de painel solar fotovoltaico

4.5.2. Coletores Solares Térmicos

Este tipo de painéis permite a utilização da fonte energética que é o sol para o aquecimento de águas sanitárias, aquecimento do ambiente interior ou aquecimento de piscinas (Rosendo, Lourenço, Calhau, Morais, & Roriz, 2010).

O funcionamento destes sistemas consiste na captação da radiação solar para o aquecimento de um fluido que pode ser ar, água ou uma solução aquosa, sendo este posteriormente utilizado para os fins descritos acima ou ainda para o arrefecimento ambiente, sendo que neste caso esse fluido corresponde à fonte de calor necessária para o funcionamento de um sistema frigorífico de absorção (Rosendo, Lourenço, Calhau, Morais, & Roriz, 2010).

Atualmente a instalação deste tipo de painéis é obrigatória pelo RCCTE em edifícios novos ou em edifícios que sofram grandes alterações (ver Figura 33).

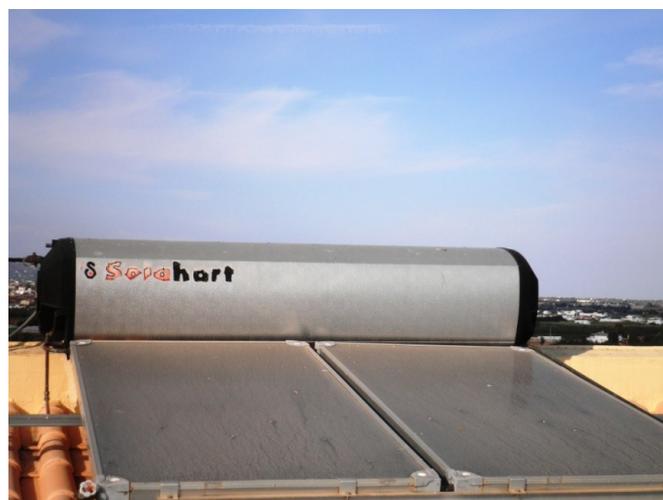


Figura 33 – Exemplo de painel solar térmico

4.5.3. Energia Eólica

Estes sistemas permitem a utilização da fonte de energia que é o vento para a produção de energia elétrica, sendo que o mesmo é utilizado para induzir a giração das hélices de um aerogerador levando à conseqüente geração de energia elétrica derivada dessa giração.

Tal como os painéis solares fotovoltaicos esta fonte de energia pode ser aplicada a grande escala para a alimentação de povoações ou em pequena escala como é âmbito deste trabalho, contudo há que atender a determinadas condicionantes que viabilizem a implantação deste sistema.

O estudo do regime dos ventos no local é desde logo o fator mais importante a ter em consideração, dado se tratar de um investimento considerável é desde logo essencial saber se a existência de dias ventosos no local é suficiente para viabilizar o mesmo e satisfazer as necessidades energéticas do edifício, além de que se deve analisar o grau de turbulência desses ventos locais por forma a garantir a segurança de utilização deste sistema. Dado o grau de incómodo que pode provocar, especialmente a nível de ruído, a energia eólica deverá ser tida em conta em especial para habitações mais isoladas e em meio rural, como exemplifica a Figura 34.



Figura 34 – Exemplo da aplicação de um aerogerador a uma habitação (Fonte: (PETElétrica, 2011))

5. CASO DE ESTUDO

Após a pesquisa efetuada sobre o estado da arte de sistemas e soluções de reabilitação associados aos distintos elementos da envolvente de um edifício, ir-se-á neste capítulo estudar a aplicação de algumas dessas soluções a um caso de estudo. Deste modo será possível avaliar o impacto de cada uma dessas soluções no consumo energético do edifício, bem como a quantificação de parâmetros que permitam averiguar a rentabilidade e eficácia da aplicação de tais medidas.

5.1. Objetivos

No presente caso de estudo visa-se, como já foi referido, proceder à reabilitação energética de uma moradia unifamiliar localizada no Algarve.

Serão analisadas as soluções que se consideram mais adequadas para o efeito acima citado, contemplando o tipo de edifício em questão e as soluções construtivas existentes.

Serão analisados alguns parâmetros quantificáveis de forma a estudar o nível de viabilidade das soluções propostas, por forma a possibilitar um adequado enquadramento com a situação portuguesa. Ir-se-á desenvolver este caso de estudo, com base na metodologia da atual regulamentação em vigor, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), pelo que o objetivo principal é aumentar a eficiência energética de um edifício, dotando-o de soluções construtivas passivas que permitam, minimizar o recurso a sistemas de climatização mecânicos. Pretende-se atingir níveis de conforto interior superiores, incrementando a sustentabilidade inerente.

Fatores como o custo do investimento a realizar para a implementação de cada uma das soluções, o valor das poupanças em termos de consumo de energia e o valor da redução das emissões de CO₂ também serão determinados e analisados por forma a possibilitar uma melhor compreensão dos benefícios inerentes às soluções aplicadas.

5.2. Metodologia

Como referido anteriormente, este estudo utilizará a metodologia do RCCTE como base de cálculo e os seus índices fundamentais para a caracterização energética do edifício (necessidades nominais de aquecimento – N_{ix} ; necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc} ; necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias – N_{ac} e necessidades globais de energia primária – N_{tc}). Contudo, isto não implica a total implementação das imposições do regulamento, pretende-se unicamente utilizar o método de cálculo do RCCTE para uma mais compreensível caracterização das medidas aplicadas e não seguir detalhadamente cada artigo do mesmo. Irá recorrer-se à folha de cálculo para a avaliação do comportamento térmico de um edifício, de acordo com o atual regulamento, elaborada pela ITeCons (versão 3_0_6), de forma a

reduzir o volume de cálculos a efetuar para a quantificação dos parâmetros energéticos do edifício em causa na sua situação atual e para as propostas de reabilitação sugeridas.

Assim sendo, primeiramente será averiguada a corrente situação energética da moradia com base nas soluções construtivas que se constataram no local e com dados obtidos no seu projeto de execução. Seguidamente, e tendo em conta os resultados obtidos, serão propostas melhorias que se perspetivem adequadas e compatíveis quer com a arquitetura e tipo de edifício quer com a situação energeticamente existente.

Serão introduzidas soluções de reabilitação para os distintos elementos da envolvente do edifício visando assim a sua respetiva correção. Contudo, de forma a possibilitar uma análise mais detalhada, todas estas melhorias serão implementadas isoladamente numa primeira instancia e só posteriormente se analisará a solução de reabilitação conjunta, ou seja, com intervenção em todos os constituintes da envolvente. Desta forma é possível entender qual o impacte de cada uma das soluções no edifício isoladamente e, além de uma comparação entre a condição do edifício antes e após a reabilitação através de uma determinada solução, é possível a comparação entre as diferentes soluções individuais, conseguindo-se assim averiguar qual o tipo de intervenção mais eficaz energética e economicamente.

Por fim, será analisado o impacte da introdução de soluções ativas na moradia, nomeadamente de painéis solares térmicos e fotovoltaicos, num cenário de intervenção em que todas as sugestões de reabilitação estão implementadas no edifício.

Refere-se que a caracterização dos materiais no que concerne ao seu comportamento térmico foi realizada com base no ITE 50, publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

5.3. Caracterização do Edifício

O caso de estudo que será aqui analisado contempla uma moradia unifamiliar de tipologia T4 com 2 pisos, com coberturas em terraço acessível e inacessível, situada numa zona rural em Santa Bárbara de Nexe, concelho de Faro, no Algarve (ver Figura 35). A área útil de pavimento é de 237,7m² e com um pé direito médio de 2,64m.

A moradia foi construída em 2005, tratando-se pois de um edifício recente, apresenta uma arquitetura moderna onde imperam as linhas e ângulos retos aliados a amplas áreas de envidraçados orientados em especial a sul e com a existência de uma fachada totalmente envidraçada no rés-do-chão.

A opção pela análise deste edifício resulta de diversos fatores. Trata-se de uma construção recente em que já se impunham características mínimas de comportamento térmico ao nível do projeto. Consequentemente, a reabilitação energética acarretaria problemas menos óbvios do que os que se colocariam caso se tratasse de uma construção bastante mais antiga. Por outro lado, apresentava um comportamento térmico muito deficiente, quer durante o Inverno, quer durante o Verão, ocasionando um ambiente permanentemente desconfortável para a utilização dos espaços e comprometendo assim a respetiva habitabilidade sem o funcionamento constante de aparelhos

de climatização. Verificava-se, ainda, a ocorrência da manifestação de perniciosas condensações profusamente espalhadas pelo interior e reveladoras de graves deficiências construtivas em termos de comportamento térmico.



Figura 35 – Vista aérea da moradia (Fonte: Bing Maps)

Em anexo apresenta-se um levantamento fotográfico mais detalhado do caso de estudo (Anexo I) e as peças desenhadas do projeto a que se teve acesso (Anexo II).

5.4. Caracterização Energética do Edifício

Neste ponto serão apresentados e analisados todos os parâmetros quantitativos característicos do comportamento térmico da moradia e das condições de referência regulamentares quer para o estado atual e quer para os quatro distintos cenários de reabilitação possíveis. De realçar que, de forma a reduzir a quantidade de cálculos a efetuar, se recorreu à folha de cálculo de aplicação do RCCTE desenvolvida pelo ITeCons, referindo-se seguidamente algumas considerações de cálculo que se julgam importantes antes de proceder à apresentação dos resultados, sendo elas:

- A moradia encontra-se a uma distância da costa superior a 5km e a uma altitude aproximada de 79m;
- A ventilação processa-se de forma natural, sem cumprimento da norma NP 1037-1;
- Os sistemas de climatização não existem tendo contudo sido considerado a existência de sistemas compatíveis com os exigidos minimamente pelo RCCTE, ou seja, uma resistência elétrica para o aquecimento e uma máquina frigorífica (ciclo de compressão);
- Existência de dois espaços não úteis na fachada sul do edifício na zona dos quartos do R/C, um considerado como armazém e outro como circulação sem comunicação para o exterior.

No Quadro 14 faz-se resumidamente o levantamento dimensional da moradia em questão, sendo apresentadas as dimensões dos elementos mais preponderantes da envolvente consoante a sua orientação.

Quadro 14 – Levantamento dimensional da moradia

Elemento	Orientação	Área (m ₂)
Pavimento R/C	-	168,66
Pavimento 1º Andar	-	69,04
Cob. Acessível	-	94,67
Cob Inacessível	-	73,99
Pé Direito Médio (m)	-	2,64
Paredes Área Total (m ₂) 207,50	N	55,77
	E	39,48
	S	36,83
	O	54,50
	E (Par. Potadas)	12,44
	S (Par. Por. Env. Int.)	3,57
	S (Par. Dupla Env. Int 1)	3,18
	S (Par. Dupla Env. Int 2)	1,74
Envidraçados Área Total (m ₂) 84,19	N	27,90
	E	8,82
	S	42,06
	O	5,42
Pontes Térmicas Área Total (m ₂) 6,01	N	1,17
	E	1,19
	S	1,70
	O	1,94

5.4.1. Situação Atual

A verificação das condições atuais da moradia torna possível verificar o seu real comportamento a nível energético, permitindo deste modo direccionar mais eficazmente o tipo de intervenção.

Correntemente a moradia apresenta soluções pouco eficientes energeticamente, sendo claramente visível o pouco cuidado tido nesse aspeto aquando da construção da mesma. O enorme desconforto de utilização é patente durante praticamente todo o ano, sendo que o recurso a meios mecânicos de climatização é obrigatório para a manutenção de um ambiente interior confortável, acarretando inevitavelmente um enorme dispêndio de energia, o que se traduz, numa fatura energética frequentemente avultada para o utilizador.

As soluções construtivas e respetivos coeficientes de transmissão que atualmente constituem a moradia são descritos seguidamente, sendo que todos os coeficientes de transmissão térmica apresentados foram devidamente determinados através do recurso ao ITE 50:

- Paredes exteriores duplas constituídas por dois panos de alvenaria de tijolo de 11cm com caixa-de-ar de 5cm e reboco tradicional em ambas as faces com 1,5cm de espessura – $U=1,08 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Nos quartos do R/C, contíguo às portadas existem paredes duplas constituídas por dois panos de alvenaria de tijolo de 7cm e 11cm, respetivamente interior e exterior e caixa-de-ar com 9cm devido à calha de deslizamento do envidraçado - $U=1,18 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Pontes térmicas planas referentes aos elementos de suporte verticais com reboco tradicional de ambos os lados com 2,5cm de espessura e pilares de em betão armado de 20cm de espessura – $U=2,99 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Coberturas em terraço acessível constituídas por lajes fungiformes maciças de betão armado de 15cm de espessura, camada de regularização de 2cm, impermeabilização e revestimento grés cerâmico. No interior, reboco de teto com 1cm de espessura em argamassa tradicional de cimento e cal - $U_{\text{Asc.}}=3,62 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U_{\text{Desc.}}=2,89 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Coberturas em terraço inacessíveis com igual constituição;
- Janelas e portas exteriores envidraçadas, constituídas por caixilharia de alumínio sem quadrícula e sem corte térmico com vidro duplo incolor. Inexistência de proteções em praticamente todos os vãos a sul e norte - $U=4,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- As portas exteriores são envidraçadas, não sendo devidamente vedadas na base e o isolamento não tem continuidade com a caixilharia - $U=4,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Com a informação recolhida efetuou-se então a quantificação, segundo o método de cálculo do RCCTE, das necessidades nominais energéticas para que se atinjam as condições de referência do mesmo regulamento. De referir que os valores nominais destas necessidades representam a quantidade de energia que os meios de climatização existentes na moradia teriam de consumir para a manutenção de um ambiente dentro dos limites definidos como admissíveis para a temperatura interior pelo que, tal pode não se verificar no padrão de utilização do utilizador optando este pelo não recurso a tais meios.

Como se pode então constatar pelo Quadro 15, a moradia (apesar de ter sido construída há relativamente pouco tempo) apresenta um comportamento térmico deficitário que requer um consumo elevado de energia para a manutenção de um ambiente interior confortável, em especial durante a estação de aquecimento.

Estes valores são explicáveis fundamentalmente por dois fatores: o facto de a vivenda ter sido construída sem qualquer tipo de isolamento térmico em toda a sua envolvente, promovendo acentuadas trocas de energia com o ambiente exterior; e o facto de existir na sala uma fachada envidraçada de grandes dimensões sem qualquer dispositivo de sombreamento com orientação direta a sul. Isto origina uma situação de sobreaquecimento excessivo no Verão e permite, dado a fraca capacidade isolante dos envidraçados, que ocorram enormes perdas de calor durante o Inverno.

Quadro 15 – Necessidades Energéticas na Situação Atual

Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic	145,30 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni	56,98 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	43,02 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas - Nv	32,00 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento AQS - Nac	16,92 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - AQS - Nac	24,88 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária - Ntc	9,54 (kgep/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária Máximas - Nt	4,16 (kgep/m ² .ano)
Classe Energética	E

O citado acima reflete-se na fraca classificação energética da moradia, sendo esta classificada como de Classe E. A classificação energética é atribuída aos edifícios conforme o seu desempenho energético e está dividida em 8 classes que variam entre A+ a G conforme o seu melhor ou pior comportamento térmico, e com a implementação do RCCTE passou a ser obrigatório que todos os novos projetos apresentem uma classificação igual ou superior a B-. Apesar de não ser o caso desta moradia uma vez que foi construída antes do referido regulamento, é possível verificar-se que esta se encontra muito afastada de tal objetivo uma vez que se trata de um edifício recente e já deveria apresentar um comportamento mais concordante com o que viria a ser regulamentado.

A intervenção deverá então focar a correção das situações acima descritas, de modo a promover a eficiência energética e a redução das necessidades de climatização. Deste modo visar-se-á, nas propostas de reabilitação seguidamente apresentadas, uma melhoria, em termos de desempenho, de diversos elementos da envolvente do edifício resultando numa possível redução do consumo de energia e no aumento do conforto interior.

5.4.2. Proposta de Reabilitação 1 (Isolamento da Envolvente Opaca)

Como já foi referido, o aumento da eficiência energética é uma forma eficaz de reduzir o consumo energético e, portanto, as necessidades energéticas de um edifício. Assim sendo, e como já foi também referido na componente teórica, a forma mais eficaz de promover esse aumento de eficiência é através de um correto isolamento da envolvente de todo o edifício, pelo que esta primeira proposta de reabilitação incidirá sobre isso mesmo.

Dado que se trata de um caso de estudo real referente a uma construção recente, e que se encontra correntemente em fase de utilização e habitada, a escolha da solução a empregar estará também condicionada por dificuldades logísticas além das evidentes de caráter técnico e ambiental. A aplicação de uma solução pelo exterior é então tida como crucial para esta situação em particular, permitindo deste modo a contínua utilização da moradia e, devido aos modernos processos construtivos de aplicação deste tipo de soluções, uma intervenção mais rápida e “limpa” (DGEG, 2004).

Desde modo, a escolha incidiu sobre uma solução do tipo ETICS. Aspectos como o facto de não existirem entraves a nível arquitetónico, por exemplo no que concerne à ornamentação dos vãos (exceto em situações pontuais), e as vantagens que este tipo de isolamento permite em termos de aumento do nível de conforto interior foram determinantes para a escolha deste tipo de solução. A eliminação de pontes térmicas e maior aproveitamento da massa acumuladora térmica do edifício (muito necessária dada a necessidade de aproveitamento dos ganhos energéticos provenientes da fachada envidraçada a sul) são exemplos de vantagens associadas a esta solução (DGEG, 2004).

Por fim, foi contemplado o aspeto financeiro da intervenção uma vez que, como referido, se trata de uma habitação recente, ou seja, de um investimento recente. Desde modo equacionou-se a aplicação dos sistemas que se julgam possuir a melhor relação qualidade/preço, o que conduziu à adoção de uma solução ETICS em EPS (material mais barato) com 4cm de espessura para os paramentos e, de uma solução em sistema invertido para a cobertura, possibilitando assim o aproveitamento da tela e do revestimento amovível existentes. O isolante térmico da cobertura deverá ser o XPS (também com 4cm) devido ao melhor comportamento na presença de humidade desde material.

Estas alterações provocam um aumento da resistência térmica destes elementos e uma inerente redução do seu coeficiente U. No caso das paredes, a introdução de 4cm de EPS ($\lambda=0,037$ W/m.°C) fez com que o valor do coeficiente U se reduzisse para 0,49 W/m².°C (tendo em consideração todos os materiais existentes para a situação atual e desprezando a capacidade térmica do novo reboco dada a sua reduzida espessura e significância), pelo que as pontes térmicas apresentam agora um coeficiente U de 0,69 W/m².°C. As coberturas também viram o seu desempenho térmico melhorado através da colocação de 4cm de XPS ($\lambda=0,037$ W/m.°C), apresentando agora um U de 0,72 W/m².°C tanto as acessíveis como as inacessíveis.

Este aumento de resistência térmica tem, evidentemente, um impacto considerável nas perdas associadas aos elementos opacos, pelo que, como é constatável no Quadro 16, existe uma redução de cerca de 53% e 80% das perdas térmicas respetivamente pelos paramentos e pela cobertura, do mesmo modo que durante a estação de aquecimento se reduz os ganhos energéticos através destes elementos. Este tipo de intervenção não influenciou os parâmetros térmicos associados aos envidraçados.

Quadro 16 – Impacte da isolamento térmica dos elementos opacos nas características térmicas dos diferentes elementos da envolvente.

Estação	Elementos	Situação Inicial	Proposta Reabilitação 1	Redução Após Reab. (%)
Estação de Aquecimento	Perdas Paredes (W/°C)	234,13	102,01	56,43%
	Perdas Cobertura (W/°C)	610,55	121,38	80,12%
	Perdas Envidraçados (W/°C)	440,43	440,43	0,00%
	Ganhos Solares Brutos Env. (kWh/ano)	9 303,51	9 303,51	0,00%
Estação Arrefecimento	Ganhos Solares Envidraçados (kWh)	7 561,89	7 561,89	0,00%
	Ganhos Solares Envol. Opaca (kWh)	8 517,15	2 298,63	73,01%

As necessidades energéticas nominais de aquecimento são assim reduzidas para um valor de quase metade do valor necessário para a situação atual da moradia (Quadro 17). Existe também uma redução significativa nas necessidades energéticas para a estação de arrefecimento capaz, inclusive, de fazer este índice energético cumprir o limite regulamentar para estas necessidades (o que, de novo, se refere não ser um dos objetivo deste estudo).

Quadro 17 - Necessidades Energéticas com Isolamento Térmico na Envolvente

Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic	79,31 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni	56,98 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	31,64 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas - Nv	32,00 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento AQS - Nac	16,92 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - AQS - Nac	24,88 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária - Ntc	7,51 (kgep/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária Máximas - Nt	4,16 (kgep/m ² .ano)
Classe Energética	D

O preço desta intervenção ronda os 32 e 35€/m² (ver 4.2.1.5), respetivamente para os paramentos e para as coberturas de acordo com a marca Weber, o que faz com que um investimento total aproximado de 12 700€ seja necessário para esta intervenção. Contudo como se pode constatar as poupanças são significativas (2310,64€ por ano (Quadro 18)), permitindo o retorno do investimento em cerca 5 anos e meio (caso o preço da energia se mantenha constante), valor muito abaixo do tempo de vida útil da moradia. As emissões de CO₂ são reduzidas em cerca de 43%.

É de realçar que as quantidades de energia aqui quantificadas são referentes às necessidades nominais de climatização indicadas pelo regulamento, e que, como referido anteriormente, o padrão de utilização dos meios de climatização por parte do utilizador poderá não corresponder ao assumido pela legislação, pelo que as poupanças em termos de energia poderão ser inferiores e, talvez, não significantes em termos financeiros. Contudo estas alterações irão certamente contribuir para uma maior sensação de conforto interior, proveniente do maior isolamento térmico e do maior aproveitamento da inercia térmica.

Quadro 18 – Resultados da Introdução da Melhoria 1

	Aquecimento	Arrefecimento	Total	
$\Delta(N_{C_{ini.}} - N_{C_{PR1}})$	65,99	11,38	77,37	(kW.h/m ² .ano)
Total Energia Poupada	15 685,82	2 705,03	18 390,85	(kW.h/ano)
Energia Efetivamente Consumida	15 685,82	901,68	16 587,50	(kW.h/ano)
Poupança Dinheiro	2 185,04	125,60	2 310,64	€/ano
Poupança Emissões CO ₂	4 862,61	279,52	5 142,12	kgco ₂ /ano

5.4.3. Proposta de Reabilitação 2 (Substituição dos Vãos Envidraçados)

Esta segunda proposta a reabilitação envolve os vãos envidraçados. Uma vez que a moradia apresenta uma solução constituída por caixilhos de alumínio sem corte térmico com vidro duplo comum, decidiu-se analisar o tipo de variação resultante da alteração dos caixilhos atuais para uma solução em PVC (material relativamente económico e com elevado desempenho térmico) de classe 3 de permeabilidade, tentando deste modo reduzir as trocas de energia por transmissão e ventilação de infiltração. A solução em termos de vidro assentou numa solução em vidro duplo sem preenchimento na caixa-de-ar.

A opção por esta solução fica-se a dever à maior capacidade de isolamento do PVC face ao alumínio, especialmente face à solução anterior que nem ostentava corte térmico na sua composição. A permanência de um sistema de vidro duplo, é justificada pelo facto de que para o clima português esta representar a melhor relação custos/benefícios (Sirgado, 2010).

Após uma expedita pesquisa de mercado para a intervenção em questão, selecionou-se a solução apresentada pela apresentada pela empresa Caixiave como sendo a que melhor satisfazia as necessidades em questão. Esta solução permite um aumento da capacidade de isolamento destes elementos da envolvente refletiva da redução do coeficiente de transmissão térmica de 4,5 para 1,6 W/m².°C (valor estimado pela empresa), e uma inerente redução em 62% das perdas energéticas associadas aos mesmos, bem como ligeiras alterações quanto à quantidade de ganhos energéticos provenientes da incidência solar (cerca de 7%, ver

Quadro 19) devido à menor fração envidraçada de um vão com caixilho em PVC.

Quadro 19 – Impacte da alteração dos vãos nas características térmicas dos diferentes elementos da envolvente.

Estação	Elementos	Situação Inicial	Proposta Reabilitação 2	Redução Após Reab. (%)
Estação de Aquecimento	Perdas Paredes (W/°C)	234,13	234,13	0,00%
	Perdas Cobertura (W/°C)	610,55	610,55	0,00%
	Perdas Envidraçados (W/°C)	440,43	164,25	62,71%
	Ganhos Solares Brutos Env. (kWh/ano)	9 303,51	8 655,47	6,97%
Estação Arrefecimento	Ganhos Solares Envidraçados (kWh)	7 561,89	7 054,30	6,71%
	Ganhos Solares Envol. Opaca (kWh)	8 517,15	8 517,15	0,00%

Com esta alteração (ver Quadro 20) a capacidade de retenção de energia é melhorada, traduzindo-se numa menor carência energética para a estação de aquecimento. A redução das perdas de energia pelos caixilhos e a existência de uma taxa de renovação de ar mais baixa, consequente da superior classe dos caixilhos e de, após a intervenção, se considerar que existe uma melhor calafetação, permitem uma significativa melhoria no desempenho térmico dos elementos envidraçados.

Todavia, existe um maior aquecimento interior no Verão sendo necessário um maior consumo de energia por forma a manter o ambiente interior a uma temperatura aceitável. Isto é explicável pelo facto de embora a área de envidraçados sem proteção ter sido reduzida (redução da fração envidraçada segundo o regulamento de 0,70 para 0,65, para caixilharia de alumínio e PVC respetivamente) o que resulta numa redução em cerca de 7% dos ganhos solares brutos pelos mesmos, o maior entrave às desejáveis perdas de calor por ventilação natural induzido pela maior impermeabilidade destes caixilhos leva a sobreaquecimento do interior.

Quadro 20 - Necessidades Energéticas com Alteração dos Caixilhos

Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic	113,99 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni	56,98 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	48,21 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas - Nv	32,00 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento AQS - Nac	16,92 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - AQS - Nac	24,88 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária - Ntc	8,68 (kgep/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária Máximas - Nt	4,16 (kgep/m ² .ano)
Classe Energética	E

Apesar de existirem poupanças assinaláveis com a implementação desta sugestão de reabilitação (ver Quadro 21), muito dificilmente permitiram o retorno económico apresentado pela primeira solução. A inferir poupança anual com a fatura energética desta solução e o superior investimento ao anteriormente mencionado (cerca de 14 300€ de investimento) tornam este tipo de solução pouco viável economicamente (tempo de retorno de quase 15 anos), sendo todavia eficaz do ponto de vista ambiental, se bem que não de forma tão evidente como a anterior.

Em termos de conforto interior, e analisando o desempenho em ciclo anual, esta solução não fornece garantias de que seja possível um real aumento dos níveis de conforto pois, apesar da redução das necessidades energéticas durante o período de aquecimento existe o aumento das mesmas durante o período de arrefecimento, período em que o desconforto causado por estes elementos (situação de acentuado sobreaquecimento) se intensificam. Contudo, tal situação poderá ser resolvida mediante a implementação de sombreamentos nos vãos, o que se demonstra no ponto seguinte.

A redução de outros efeitos incómodos, por exemplo o efeito de parede-fria ou as condensações existentes nestes elementos, poderá ser valorizada durante o Inverno.

Quadro 21- Resultados da Introdução da Melhoria 2

	Aquecimento	Arrefecimento	Total	
$\Delta(N_{C_{ini.}} - N_{C_{PR2}})$	31,31	-5,19	26,12	(kW.h/m ² .ano)
Total Energia Poupada	7 442,39	-1 233,66	6 208,72	(kW.h/ano)
Energia Efetivamente Consumida	7 442,39	-411,22	7 031,17	(kW.h/ano)
Poupança Dinheiro	1 036,72	-57,28	979,44	€/ano
Poupança Emissões CO ₂	2 307,14	-127,48	2 179,66	kgco ₂ /ano

5.4.4. Proposta de Reabilitação 3 (Implementação de Sombreamentos)

Esta proposta de reabilitação representa uma simples alteração ao nível do sombreamento dos vãos envidraçados. Contemplando o estado atual da moradia em que vários vãos não possuem qualquer tipo de elementos de proteção da incidência solar (com particular atenção à fachada envidraçada de grandes dimensões da sala de estar) decidiu-se estudar o efeito que a implementação de meios de oclusão teria no consumo energético e nos níveis de conforto interiores.

No caso desta solução, e apesar de a vertente funcional ser sempre prioritária face à vertente estética e arquitetónica, esta última não pode ser de um todo descurada devido às possíveis alterações que poderá provocar na fachada. Nesse sentido, foi necessário atender às limitações que algumas soluções poderiam ter na sua aplicação na moradia, mas também às soluções já existentes na moradia de forma a existir uma linearidade entre as soluções. A moradia apresenta atual-

mente duas soluções distintas, sendo elas a aplicação de persianas nos quartos do R/C e de estores de lâminas de metal no quarto do 1º andar.

Decidiu-se então que a aplicação de um dispositivo simples e que não implica-se alterações grandes na moradia (até mesmo devido à inexecutabilidade de algumas) seria a melhor opção, pelo que a solução escolhida incidu sobre uma solução análoga à aplicada no 1º andar, isto é, uma solução de estores exteriores de lâminas metálicas reguláveis de fácil montagem e que permite o seu total desativamento durante o Inverno. O facto de se tratar de um sombreamento exterior constitui também uma das razões que levaram à escolha deste sistema, uma vez que assim o seu efeito se torna mais evidente (Silva, 2006).

A aplicação de uma solução muito diferente estaria fortemente condicionada, por exemplo, a aplicação de estores seria difícil pela falta de apoio para as caixas de estores e a aplicação de palas seria impossível dadas as alterações estruturais que seriam necessários e inerentes custos.

Tratando-se de uma solução regulável permite a maximização do seu desempenho mediante, evidentemente, um correto padrão de utilização do utilizador, e tem a vantagem de em dias nublados não causar entraves à absorção da radiação solar difusa o que se julga ideal para a enorme fachada envidraçada a sul (Moita, 2010).

Em termos de desempenho, e como é visível pelo Quadro 22, esta solução tem, obviamente, apenas impacte na quantidade de ganhos solares durante a estação de arrefecimento possibilitando a redução deste valor em cerca de 20%. Como é contudo evidente, a eficácia desta medida está diretamente dependente da correta utilização da mesma por parte do utilizador.

Quadro 22 – Impacte da implementação de sombreamentos nas características térmicas dos diferentes elementos da envolvente.

Estação	Elementos	Situação Inicial	Proposta Reabilitação 3	Redução Após Reab. (%)
Estação de Aquecimento	Perdas Paredes (W/°C)	234,13	234,13	0,00%
	Perdas Cobertura (W/°C)	610,55	610,55	0,00%
	Perdas Envidraçados (W/°C)	440,43	440,43	0,00%
	Ganhos Solares Brutos Env. (kWh/ano)	9 303,51	9 303,51	0,00%
Estação Arrefecimento	Ganhos Solares Envidraçados (kWh)	7 561,89	6 000,60	20,65%
	Ganhos Solares Envol. Opaca (kWh)	8 517,15	8 517,15	0,00%

A implementação desta medida é notada unicamente durante a estação de arrefecimento, uma vez que se pressupõe no regulamento que durante a estação de aquecimento estes meios estão totalmente desativados. Em termos energéticos existe uma redução das necessidades nominais de energia para o arrefecimento consequentes do maior sombreamento e menor incidência solar no interior, ou seja, existe, deste modo, uma redução dos ganhos energéticos provenientes dos vãos o que durante esta estação de aquecimento é o pretendido.

Trata-se então de uma solução bastante proveitosa, simples, económica e facilmente aplicada pelo dono de obra, capaz de reduzir em cerca de 15% o consumo de energia para arrefecimento

durante o Verão, e que simultaneamente contribui para um maior conforto de utilização uma vez que possibilita além do arrefecimento o controlo da luminosidade durante o dia (Moita, 2010). Os resultados apresentam-se seguidamente (Quadro 23).

Quadro 23 - Necessidades Energéticas com Implementação de mais sombreamentos

Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic	145,30 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni	56,98 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	36,73 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas - Nv	32,00 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento AQS - Nac	16,92 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - AQS - Nac	24,88 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária - Ntc	9,48 (kgep/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária Máximas - Nt	4,16 (kgep/m ² .ano)
Classe Energética	E

Financeiramente, o retorno financeiro desta proposta de intervenção representa um fator que pouco deve interferir com a aplicação da mesma, dada a sua simplicidade e baixo custo de implantação. Os 1 500€ de investimento apresentam então um tempo de retorno de aproximadamente 22 anos e então abaixo do tempo expetável de vida útil do edifício, contudo vantagens a nível de conforto interiores provenientes desta solução são incontestáveis (Quadro 24).

Quadro 24 - Resultados da Introdução da Melhoria 3

	Aquecimento	Arrefecimento	Total	
$\Delta(NC_{ini.} - NC_{PR3})$	0,00	6,29	6,29	(kW.h/m ² .ano)
Total Energia Poupada	0,00	1 495,13	1 495,13	(kW.h/ano)
Energia Efetivamente Consumida	0,00	498,38	498,38	(kW.h/ano)
Poupança Dinheiro	0,00	69,42	69,42	€/ano
Poupança Emissões CO ₂	0,00	154,50	154,50	kgco ₂ /ano

5.4.5. Proposta de Reabilitação 4 (Reabilitação Geral)

A seguinte proposta de reabilitação corresponde à intervenção mais completa, intervindo em todos os elementos da envolvente da moradia. Esta solução consiste na aplicação conjunta de todas as medidas descritas nas propostas de reabilitação anteriormente mencionadas, ou seja, no isolamento da envolvente opaca do edifício conforme descrito em 5.4.1, no reforço dos vãos envidraçados como em 5.4.2 e na implementação de sombreamentos em determinados vãos no mencionado em 5.4.3.

Nesta proposta é possível visualizar que existe um impacto benéfico em todos os elementos da envolvente contribuindo de forma clara para uma maior eficiência energética da moradia (ver Quadro 25), exceção feita à redução dos desejáveis ganhos solares brutos durante a estação de aquecimento inerente à menor fração envidraçada dos vãos. Contudo este foi o parâmetro que sofreu a redução mais pequena e que assume um papel pouco relevante face às assinaláveis reduções das perdas energéticas pelas paredes, envidraçados e, especialmente, coberturas onde a redução ronda os 490 W/°C, ou seja, mais que a redução combinada das paredes e envidraçados.

Quadro 25 - Impacte da implementação de sombreamentos nas características térmicas dos diferentes elementos da envolvente.

Estação	Elementos	Situação Inicial	Proposta Reabilitação 4	Redução Após Reab. (%)
Estação de Aquecimento	Perdas Paredes (W/°C)	234,13	102,01	56,43%
	Perdas Cobertura (W/°C)	610,55	121,38	80,12%
	Perdas Envidraçados (W/°C)	440,43	164,25	62,71%
	Ganhos Solares Brutos Env. (kWh/ano)	9 303,51	8 655,47	6,97%
Estação Arrefecimento	Ganhos Solares Envidraçados (kWh)	7 561,89	5 604,54	25,88%
	Ganhos Solares Envol. Opaca (kWh)	8 517,15	2 298,63	73,01%

A intervenção conjunta de todas as medidas permite à moradia cumprir todos os requisitos regulamentares impostos pelo regulamento, algo que nenhuma das propostas anteriormente estudadas alcançava. A redução das necessidades nominais de aquecimento para cerca de um terço do valor atual é resultante do maior isolamento térmico de toda a envolvente e da maior impermeabilização da fachada. Já as necessidades nominais de arrefecimento sofreram uma descida muito inferior e que se deve essencialmente à colocação de isolamento térmico nas paredes e coberturas, uma vez que a redução dos ganhos solares devido aos sombreamentos é praticamente anulada pelo aumento dos mesmos devido às inferiores perdas térmicas dos vãos envidraçados.

A atribuição segundo o regulamento de uma classe energética D para esta proposta fica a dever-se ao incumprimento do limite estabelecido para o índice das necessidades nominais anuais de energia primária (ver Quadro 26). Contudo, a redução deste índice requeria muito provavelmente a implementação de meios ativos de captação de energia proveniente de fontes renováveis, algo que até é obrigatório na construção de novas habitações e que não foi respeitado no presente caso de estudo. Em 5.4.6 será estudado o efeito destes meios na classificação energética da moradia.

Como é espetável, este tipo de intervenção é evidentemente mais cara apresentando o custo acumulado de todas as soluções anteriores, ou seja, perto dos 29 000€. Contudo tem um impacto muito significativo no nível de conforto da utilização dos espaços, permitindo poupanças energéticas que rondam os 23 907kWh/ano, o que representa poupanças de cerca 3 330€ anuais em despesas de climatização e cerca de 7,4 toneladas de CO₂ (Quadro 27).

Quadro 26 - Necessidades Energéticas com implementação conjunta das melhorias

Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic	48,72 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni	56,98 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	31,02 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas - Nv	32,00 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento AQS - Nac	16,92 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - AQS - Nac	24,88 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária - Ntc	6,62 (kgep/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária Máximas - Nt	4,16 (kgep/m ² .ano)
Classe Energética	D

Com base nos valores apresentados confirma-se a viabilidade da aplicação de uma solução completa como esta para a moradia em questão, uma vez que esta apresenta um retorno financeiro após cerca de 9 anos da conclusão das obras de reabilitação. Com a aplicação desta solução é ainda conseguida uma redução de cerca de 35% das emissões de CO₂ relativamente à primeira melhoria aqui documentada (até então a mais eficiente) e uma redução de quase 60% relativamente ao estado atual e real da moradia.

Quadro 27 - Resultados da Introdução da Melhoria 4

	Aquecimento	Arrefecimento	Total	
$\Delta(N_{C_{ini.}} - N_{C_{PR4}})$	96,58	12,00	108,58	(kW.h/m ² .ano)
Total Energia Poupada	22 957,07	2 852,40	25 809,47	(kW.h/ano)
Energia Efetivamente Consumida	22 957,07	950,80	23 907,87	(kW.h/ano)
Poupança Dinheiro	3 197,92	132,45	3 330,37	€/ano
Poupança Emissões CO ₂	7 116,69	294,75	7 411,44	kgco ₂ /ano

5.4.6. Proposta de Reabilitação 5 (Implementação de Meios Ativos)

É seguidamente demonstrado qual o impacto da implementação de soluções energéticas de índole ativa na moradia em estudo. Esta proposta de reabilitação visa a implementação no modelo de cálculo da proposta de reabilitação 4 de painéis solares térmicos e fotovoltaicos. Para o dimensionamento de tais painéis recorreu-se ao programa SolTerm5.

No que concerne à preparação de AQS convencionou-se, utilizando o referido programa, que um sistema solar térmico da Vulcano com uma área de coletores de 2,23m² e um depósito de 200 litros (segundo RCCTE deve-se considerar que cada pessoa tem necessidade de cerca de 40 l de água quente a 60°C por dia) seria suficiente para suprir as necessidades diárias desta moradia. Considerou-se que a energia de apoio será suprida através de uma resistência elétrica inserida no depósito.

Este sistema permitirá a redução do consumo energético associado a estas necessidades em 53%, pois em vez dos 4 021,72 kWh anuais que o termoacumulador requeria serão somente necessários 1 778,72 kWh para o funcionamento do mesmo, sendo o restante consumo o contributo do sistema solar térmico. Deste modo, e conforme é constatável no Quadro 28, as necessidades nominais anuais de preparação de AQS são reduzidas de 16,92 para 7,48 kW.h/m².ano.

Quadro 28 - Necessidades Energéticas com implementação conjunta das melhorias passivas e de painéis solares térmicos

Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic	48,72 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni	56,98 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	31,02 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas - Nv	32,00 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento AQS - Nac	7,48 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - AQS - Nac	24,88 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária - Ntc	3,88 (kgep/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária Máximas - Nt	4,16 (kgep/m ² .ano)
Classe Energética	B-

Em termos financeiros, trata-se de um sistema que representa um investimento aproximado de 3000€ com um tempo de vida útil de cerca de 15 anos e que permite a poupança anual de cerca de 300€ em eletricidade para as necessidades de AQS. Deste modo o retorno financeiro deste investimento é assegurado ao fim de cerca de 10 anos, além da significativa redução ao nível das emissões de gases poluentes, que se cifram nos 695,33 kg/ano.

De referir que, apesar de na atual situação da moradia as necessidades de AQS estarem dentro do limite estabelecido pelo regulamento, quis-se averiguar o impacto que estes sistemas teriam na classe energética do mesmo. Neste caso concreto a moradia passou de uma classe energética D para B-, o que realça a importância deste sistema.

Relativamente ao sistema solar fotovoltaico, e mais uma vez recorrendo ao programa SolTerm5, foi convencionada a instalação de um sistema com uma potência de 3,31 kW constituído por 20 módulos da marca BP com uma área de coletores de 25,18m² e um inversor Sunny Boy. Este sistema é responsável pela microprodução de cerca de 4966 kWh/ano sendo que toda esta produção será vendida à rede global de energia ao abrigo de DL n.º 118-A/2010 e seguindo o tarifário descrito no artigo 11º que define a tarifa de renumeração em 0,4€/kWh durante os primeiros 8 anos e de 0,24€/kWh para os 7 anos seguintes, sendo que anualmente existe uma redução de cerca de 0,02€/kWh. Deste modo o investimento de cerca de 10 000€ terá um período de payback aproximado de 8 anos.

Ao nível da classe energética a moradia passaria de uma classe D para uma moradia de classe A com a introdução de tal solução (ver Quadro 29).

Quadro 29 - Necessidades Energéticas com implementação conjunta das melhorias passivas e painéis solares fotovoltaicos

Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic	48,72 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni	56,98 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	31,02 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas - Nv	32,00 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento AQS - Nac	0,00 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - AQS - Nac	24,88 (kW.h/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária - Ntc	1,71 (kgep/m ² .ano)
Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária Máximas - Nt	4,16 (kgep/m ² .ano)
Classe Energética	A

Finalizando, é perceptível a influência que estes meios exercem sobre a classificação energética de um edifício contribuindo fortemente para atribuição de classificações superiores, especialmente no caso dos painéis solares fotovoltaicos, uma vez que se constata que a inserção dos mesmos é determinante para a atribuição da classificação de A.

É de referir que expeditamente foi efetuada a verificação que estes meios surtiriam na classificação energética da moradia na sua situação atual, pelo que se obteve a classificação de D associada a introdução de painéis solares térmicos e de classe C para a implementação de painéis foto-

voltaicos. A colocação conjunta ambas as soluções solares resultaria numa idêntica classificação (classe C). É assim possível afirmar que a classificação de A para uma eventual intervenção a todos os níveis na moradia, isto é, uma intervenção como a efetuada na proposta de reabilitação 5, não é de surpreendente uma vez que, somente a introdução de painéis solares fotovoltaicos contribui significativamente para tal.

5.5. Análise de Resultados

Como se pode constatar, existem diferentes formas de reabilitar energeticamente um edifício, que vão desde pequenas intervenções ao nível do sombreamento, a alterações mais profundas que afetam toda a envolvente do mesmo.

Obviamente, o desejável seria efetuar sempre reabilitações profundas de forma a reduzir a pegada ecológica associada ao setor dos edifícios e ao mesmo tempo proporcionar aos utilizadores um maior conforto na utilização dos espaços interiores. Contudo, isso nem sempre é exequível, quer por condicionalismos associados aos próprios edifícios quer pela inviabilidade económica das soluções a empregar. Mesmo assim, caso não exista capital suficiente para uma intervenção desse porte poder-se-á sempre optar por soluções mais simples. É, por exemplo, o caso da aplicação do isolamento térmico da envolvente opaca do edifício que assegura um aumento significativo na eficiência energética com um custo relativamente pequeno.

No presente caso de estudo foram estudados isoladamente e de forma sequencial diversas soluções de reabilitação energética implementadas numa moradia de construção recente, tendo-se analisado os resultados obtidos numa perspetiva de melhoria da eficiência energética, com todos os benefícios daí resultantes.

A primeira proposta de reabilitação (discriminada em 5.4.2) consistiu no isolamento térmico de toda a envolvente opaca. Através da colocação de EPS em sistema ETICS nos paramentos e da aplicação de XPS nas coberturas em sistema invertido. Com esta solução é possível reduzir as necessidades energéticas nominais de aquecimento e arrefecimento em cerca de 40%, com particular ênfase nas necessidades de aquecimento que correspondem à maior quota do consumo energético desta moradia (70% aproximadamente) e que sofrem um decréscimo acentuado de, aproximadamente 45%, de 145,30 kW.h/m².ano para 79,31 kW.h/m².ano.

As coberturas foram os elementos intervencionados onde o isolamento térmico produziu um efeito mais significativo, reduzindo as perdas energéticas associadas a estes elementos em aproximadamente 80% do valor inicial, face aos 56% dos paramentos. A existência na situação atual de caixa-de-ar nas paredes, mesmo que não preenchida com isolante térmico mitiga um pouco o efeito da inserção de isolamento térmico face às coberturas que são um elemento contínuo de materiais fracamente isolantes. Na eventualidade da existência de paredes sem caixa-de-ar, o que ainda acontece em muitas situações infelizmente correntes, o efeito da solução seria, obviamente, muito ampliado.

Isoladamente, esta foi a única solução apresentada que, por si só, induziu um impacto suficiente ao ponto de causar a aprovação de índice energético segundo o RCCTE, o índice das necessidades nominais de arrefecimento que baixou do limite de 32 kW.h/m².ano para um valor de 31,64 kW.h/m².ano.

Quanto às alterações efetuadas nos vãos envidraçados (apresentada em 5.4.3) os resultados foram aparentemente paradoxais. Com a mudança das janelas para uma solução em PCV com vidros duplos foi possível uma redução de 21,5% das necessidades energéticas associadas ao aquecimento, em consequência da maior capacidade de isolamento térmico destes envidraçados que apresentam perdas 62% inferiores aos anteriores. Contudo, no Verão esta solução torna-se indesejável uma vez que o sobreaquecimento interior se intensificou, originando assim um aumento do consumo de energia nominal para climatização de 43,02 kW.h/m².ano para 48,21 kW.h/m².ano, ou seja, mais 12% que na situação atual. Isto deve-se à inferior permeabilidade desta solução que limita as perdas por ventilação natural e por renovação de ar, originando um superior armazenamento dos ganhos solares, apesar da redução em 7% dos mesmos.

Todavia, em termos anuais esta solução apresenta-se como válida, embora comparando com a anterior seja manifestamente menos eficiente. A redução de cerca de 14% no balanço energético anual é muito inferior aos 40% apresentados anteriormente e, face ao seu desempenho, o superior investimento (14 300 € face aos 12 700 € da primeira) levam a que seja também menos viável financeiramente.

No caso dos sombreamentos, as alterações aos consumos energéticos são restritas à estação de aquecimento, como aliás seria previsível. Estes sistemas de fácil, económica e simples aplicação permitem a redução das necessidades energéticas nominais de arrefecimento em cerca de 14,6% e das necessidades energéticas globais em 3%, pelo que em período de Verão se assumem como um importante meio passivo de arrefecimento limitando os ganhos solares em 20% face à situação inicial.

O impacto dos sombreamentos possui um efeito mais notório na proposta de reabilitação conjunta de todas as soluções apresentadas, uma vez que desta forma é possível corrigir o aquecimento induzido pela alteração dos envidraçados, isto é, o sobreaquecimento causado pelas inferiores perdas térmica é compensado pela redução dos ganhos solares brutos inerentes aos sombreamentos.

Com esta proposta de reabilitação a moradia consegue um patamar de eficiência energética capaz de obter a aprovação regulamentar em praticamente todos os índices energéticos sofrendo uma redução nas suas necessidades energéticas nominais globais dos 145,30 kW.h/m².ano para os 48,72 kW.h/m².ano, ou seja, de quase 60% face à situação atual. Neste último caso, é claro o impacto a nível ambiental que uma reabilitação profunda consegue, existindo, para este caso de estudo, uma redução das emissões de CO₂ de aproximadamente duas toneladas.

Com estes resultados, e atendendo aos resultados parciais, é possível afirmar que a solução, utilizada isoladamente, que mais contribui para uma moradia mais eficiente e confortável é o isolamento térmico da sua envolvente, pois é responsável pelas reduções mais significativas do con-

sumo energético e a que representa o investimento mais diminuto. O ideal seria evidentemente optar por uma melhoria geral do edifício mas, atendendo aos constrangimentos financeiros que nos afetam, a opção pela primeira proposta de reabilitação aqui mencionada revela-se como a aposta mais interessante (ver Quadro 30).

Quadro 30 – Quadro resumo das propostas de reabilitação preconizadas

Proposta de Reabilitação	Preço (€)	Poupança Fatura Energética (€)	Tempo de Retorno (Anos)	Redução de Emissão de CO ₂ (kg)	Avaliação Global
P. R. 1	12 700	2 310,64	5,5	5 142,12	Muito Positivo
P. R. 2	14 300	979,44	15	2 179,66	Fracamente Positivo
P. R. 3	1 500	69,42	22	154,5	Positivo
P. R. 4	29 000	3 330,37	9	7 441,44	Satisfatoriamente Positivo
P. R. 5 (P.S.T.)	3 000	300	10	695,33	Muito Positivo
P. R. 5 (P.S.F.)	10 000	(Variável)	8	(-)	Satisfatoriamente Positivo

É de referir que a aplicação de uma qualquer solução descrita neste trabalho não assegura por si só o retorno financeiro da mesma nem tão pouco deverá ser esse o principal objetivo, pois, como referido anteriormente, cada caso apresentará condicionantes específicas que deverão ser estudadas corretamente e que influenciarão de alguma forma o impacto das mesmas no comportamento térmico do edifício, tal como o nível de interação do utilizador, por exemplo, a nível de sombreamentos, poderá ser preponderante para maximizar a eficiência das medidas implantadas.

A aplicação destas medidas deverá fundamentalmente visar a redução do impacto ambiental dos edifícios e o aumento do nível de conforto na utilização dos espaços, permitindo aos utilizadores desfrutarem confortavelmente do espaço interior sem recurso forçado a medidas de climatização e contribuindo para a sustentabilidade do planeta.

No caso dos meios ativos de conversão e captação de energia, as vertentes financeira e ambiental apresentam-se como prioritárias, pelo que o seu impacto para o conforto interior é pouco relevante. Como foi demonstrado, a implementação de painéis solares térmicos e fotovoltaicos apresentam-se como uma boa alternativa ambiental e como uma alternativa rentável. Por exemplo, a aplicação de painéis solares térmicos, representa um pequeno investimento de 3 000 € e permite uma poupança anual de 300 € em despesas inerentes às necessidades de águas quentes sanitárias, ou seja, trata-se de um investimento com retorno garantido em 10 anos e que permite a utilização de uma fonte limpa de energia, reduzindo-se anualmente em cerca de 600 kg as emissões de CO₂. Já a produção de energia através da microprodução por painéis solares fotovoltaicos também se apresenta como um bom investimento através dos incentivos legislativos que permitem a venda da energia gerada à rede. Contudo trata-se de um investimento inicial de 10 000 € e com tempo de retorno de 8 anos.

Em termos de regulamentares estas fontes de energia têm uma especial importância para a definição da classe energética de um edifício como é provado no ponto 5.4.6, uma vez que a existência destes elementos (em especial dos painéis fotovoltaicos) foi responsável pela alteração da classe energética de D para A.

6. CONCLUSÃO

Existem atualmente diversos tipos de soluções de reabilitação que visam a redução do impacto ambiental associado ao setor dos edifícios, privilegiando o aumento da sua eficiência energética através de soluções de índole passiva aplicadas ao nível da sua envolvente. O aumento deste parâmetro é de crucial importância na redução do impacto dos edifícios no ambiente, sendo presentemente uma das metas mais importantes da recente norma europeia de cariz ambiental, a Diretiva 20-20-20. Deste modo torna-se possível reduzir significativamente os consumos de energia do setor imobiliário bem como as inerentes emissões de CO₂.

Particularmente em Portugal, este tipo de estratégia deve apresentar-se como uma prioridade. A aposta na reabilitação energética dos edifícios para graus de conforto superiores, tendo em conta o vasto património edificado português e o seu atual estado de conservação, possibilitará uma importante redução no consumo de energia a nível nacional, sendo um fator que permitirá minimizar a enorme dependência energética que o país apresenta.

Com a reabilitação energética de edifícios não se está simplesmente a optar por um meio de construção mais sustentável, mas também a escolher um tipo de construção que poderá trazer enormes benefícios económicos e sociais a Portugal, especialmente no atual estado de profunda crise económica, referindo-se, desde logo, a importante geração de emprego associada à reabilitação, já que como se referiu, grande parte dos custos de reabilitação são resultantes do fator mão-de-obra. A nível de dependência externa e, como referido antes, haverá uma significativa poupança no que concerne à importação de energia consequente da redução do consumo energético dos edifícios. Assim investir na reabilitação energética de um edifício é contribuir para o relançamento da economia interna e externa.

Tentou vincar-se que no setor da construção existe algo mais que a construção de novos edifícios. Existem alternativas mais vantajosas económica e ambientalmente que, como aqui se procurou demonstrar, permitem assegurar às construções já existentes e com alguma idade, níveis de conforto conformes com os padrões atuais. Evidentemente que as condições finais de conforto estarão sempre influenciadas por condicionalismos próprios de algo já existente, tendo em conta a enorme variedade de cenários possíveis, quer a nível arquitetónico, quer a nível de soluções construtivas empregues à data da construção.

É importante afirmar que cada edifício deverá ser analisado individual e pormenorizadamente e, só mediante os seus condicionalismos específicos e desempenho atual, é que se poderão definir soluções mais adequadas à sua reabilitação. Como é óbvio, e caso seja o pretendido, uma intervenção mais profunda poderá corrigir eficazmente qualquer tipo de comportamento térmico patológico, sendo que a decisão do grau de intervenção deve depender de questões como o valor patrimonial ou do tipo de utilização pretendido para o edifício. Somente a partir destes pressupostos se poderá realizar uma fundamentada análise à viabilidade do investimento a efetuar.

De forma a tornar este tipo de reabilitação mais efetivo, prescreve-se a necessidade de um estudo cuidadoso sobre comportamento térmico do edifício a intervir para que se possam conjugar as vantagens ao nível das soluções aplicadas com toda a envolvente do edifício. É neste sentido que muitos aspetos da arquitetura bioclimática poderão revelar-se importantes ferramentas para a decisão das soluções a empregar, podendo alterar significativamente o seu grau de eficiência, de acordo com as especificidades locais.

Apesar de a arquitetura bioclimática ter um maior alcance aquando da construção de novos edifícios, foi possível ver ao longo desta dissertação que muitos dos seus fundamentos podem e devem ser utilizados para uma correta intervenção de reabilitação. O clima é então desde logo um fator primordial a tomar em consideração, mesmo em obras de reabilitação e será com base no comportamento deste ao longo do ano que se deverão definir as soluções construtivas a implantar que permitam um acrescido conforto interior. No nosso caso, o clima mediterrânico coloca problemas próprios que torna difícil a escolha das soluções a empregar, dadas as grandes disparidades num ciclo anual. É fundamental ter isto em conta, devendo as decisões recair sobre soluções eficientes que permitam abarcar, quer situações de extremo calor exterior, quer situações em que a temperatura baixe significativamente.

Ao longo desta dissertação analisaram-se as alternativas existentes no mercado português no que concerne a soluções de reabilitação energética de edifícios, evidenciando as particularidades das mesmas e o tipo de alteração que poderão induzir num ambiente interior, quando aplicadas de forma correta. Conclui-se que existem vários tipos de soluções no mercado para cada um dos elementos da envolvente do edifício e que permitem a correção do comportamento térmico da multiplicidade das soluções construtivas que se nos poderão deparar.

Foi analisado um caso de estudo que consistiu na reabilitação de uma moradia unifamiliar de construção recente, particularmente por terem sido descurados quaisquer cuidados a nível do comportamento térmico, aquando da construção.

Nesse mesmo caso de estudo foi possível constatar que no seu corrente estado (sem isolamento térmico na envolvente e com envidraçados, de fraca qualidade, desprotegidos) a habitação apresentava um comportamento térmico com fraco desempenho e que requeria quantidades assinaláveis de energia para a sua climatização, especialmente durante a estação de aquecimento, onde seria necessário um consumo de 145,30 kW.h/m².ano, ou seja, cerca de três vezes o limite máximo estipulado pela regulação vigente em Portugal para a manutenção de um ambiente interior confortável na referida habitação (56,98 kW.h/m².ano).

Posteriormente, foi estudado o impacte que a aplicação de determinadas soluções construtivas que visavam a correção de determinados aspetos a nível térmico, teriam no comportamento global do edifício. Este estudo envolveu a análise individual de soluções particulares para cada tipo de elemento da envolvente, permitindo assim concluir que tipo de solução tem uma maior eficácia e, até de forma mais importante, qual a solução que mais justificaria o investimento a ser realizado. As soluções construtivas selecionadas para serem empregues no caso de estudo foram, como deverá ser efetuado para qualquer edifício, escolhidas após uma análise meticulosa da

constituição do edifício e da compatibilidade das soluções possíveis com as especificidades da moradia.

Foi possível constatar que todas as soluções podem contribuir de forma mais ou menos eficaz para a melhoria do comportamento térmico de um edifício e que, para o presente caso, existem óbvios benefícios da aplicação de determinadas soluções. O aumento do conforto térmico interior é uma constante em todas as soluções e a redução dos consumos energéticos também, sendo que em alguns casos isso é mais evidente, tal como o retorno do investimento efetuado.

Destacar-se-ia, a implementação de isolamento térmico na envolvente do edifício, uma vez que, como solução isolada foi a que maior impacte causou ao nível da redução das necessidades nominais de energia para climatização com uma redução de 40% no consumo de energia. Para o presente caso é de referir que o isolamento térmico da envolvente opaca se apresenta como um importante contributo para o notório aumento existente na eficiência energética da moradia, permitindo reduções das perdas pelos paramentos e coberturas em 56 e 80%, respetivamente.

A implementação de medidas como a substituição dos envidraçados e a implementação de sombreamentos é muito menos manifesta que a anteriormente mencionada, sendo os seus impactes no consumo global de energia de aproximadamente 14 e 3%. Contudo, sazonalmente estas soluções podem contribuir de forma mais significativa, como é o caso dos envidraçados na estação de aquecimento e dos sombreamentos na estação de arrefecimento, onde são responsáveis por reduções de consumo energético de 21 e 15% respetivamente. No caso dos envidraçados, existe a peculiaridade de, devido à sua superior capacidade de estanqueidade, induzir um aumento das necessidades energéticas durante o Verão, ou seja, um sobreaquecimento do espaço interior, rondando este valor os 12%.

Torna-se, assim, notório que uma intervenção exemplar, consistiria na junção de todas as intervenções que foram particularizadas, caso em que seria possível a existência de reduções de consumos energéticos e consequentes emissões de CO₂ em quase 60%, sendo inclusive possível obter necessidades energéticas nominais dentro dos limites estabelecidos pelo RCCTE. É de referir que mesmo apresentando um comportamento térmico debilitado, esta moradia apresentava, pontualmente, algumas soluções construtivas razoáveis do ponto de vista energético, sendo os envidraçados e as paredes duplas disso exemplo. Numa situação em que os meios existentes fossem, por exemplo, soluções de vidros simples e paredes simples sem caixa-de-ar, as alterações efetuadas teriam um impacte significativamente superior ao aqui determinado.

Os meios ativos de captação de energia são também importantes contributos para a sustentabilidade de um edifício, tendo ficado demonstrado que, perante a regulamentação atual, assumem um papel de relevo aquando da determinação da classe energética de um edifício.

Em conclusão, a introdução das soluções apresentadas permitiu demonstrar que, mesmo com um investimento relativamente pequeno, é perfeitamente exequível a reabilitação energética de um edifício. Apesar de se tratar de um único caso de estudo e, consequentemente, dever ter-se algum cuidado com generalizações perniciosas, o edifício foi selecionado em função de características que se entenderam apropriadas para uma análise séria

Entende-se ter ficado cabalmente demonstrado que a reabilitação energética de edifícios é, não só um processo perfeitamente viável, mas indispensável para a redução do impacto ambiental associado às necessidades de habitação do Homem, bem como um meio para a sustentabilidade, quer a nível ambiental, quer a nível social e económico, a médio e a longo prazo.

7. BIBLIOGRAFIA

- A evolução da Arquitectura Bioclimática Contributo para a Sustentabilidade Arquitectónica e Urbana.*
- AEA, H. (2010). *Green Public Procurement Thermal Insulation Technical Background Report*. Bruxelas: European Commission, DG Environment.
- Aguiar, J., & Pinho, A. (2005). *Reabilitação em Portugal: A Mentira Denunciada Pela Verdade dos Números*. Lisboa: Arquitecturas nº5.
- Anastácio, S. S. (2010). *Reabilitação Energética - Caso de Estudo da Zona J*. Lisboa: Dissertação de Mestrado em Arquitectura no Instituto Universitário de Lisboa.
- Awbi, H. B. (1998). *Chapter 7 - Ventilation - Architecture, Comfort and Energy*. Reading, Reino Unido: Pergamon - Elsevier.
- Balcomb, D., & Hedstrom, J. (1980). *Determining Heat Fluxes from Temperature Measurements in Massive Walls*. Amherst, MA: The 5th National Passive Solar Conference.
- Bouchair, A. e. (1988). *Moving air, using stored solar energy. Proceedings of Thirteenth Passive Solar*. Cambridge, MA.
- Bülow-Hübe, H. (2001). *Energy-efficient window systems - Effects on energy use and daylight in buildings*. Lund, Suécia: Tese de Doutoramento - Division of Energy and Building Design, Department of Construction and Architecture, Lund University.
- Cabeza, L., Castell, A., Medrano, M., Martorell, I., Pérez, G., & Fernández, I. (2009). *Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction*. Barcelona, Espanha: Elsevier.
- CAD, C. d. (Abril de 2007). *CAD, Companhia de Arquitectura e Design*. Obtido em 28 de Agosto de 2012, de CAD, Companhia de Arquitectura e Design: http://www.planetacad.com/presentationlayer/artigo_01.aspx?id=59&CANAL_ORD EM=0402
- CE, C. E. (2010). *Energia 2020*. Bruxelas: Comissão Europeia.

- Coelho, A., & Ramos, C. (2010). *Aplicações da análise de ciclo de vida na avaliação ambiental dos produtos: esquemas de reconhecimento existentes*. Lisboa: CINCOS'10.
- Cóias, V. (2004). *Reabilitação: a Melhor Via Para a Construção Sustentável*. Lisboa.
- Concanon, P. (2002). *Residential Ventilation - Air Infiltration and Ventilation Centre AIVC Technical Note 57*. Bruxelas.
- Cunha, M. M. (2005). *Vãos Envidraçados - Geometria de Insolação – Otimização do Dimensionamento de Elementos de Protecção Solar*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- DEC, D. d. *Isolamento Térmico*. Tomar: Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Tomar.
- DG TREN, D.-G. f. (2008). *EU Energy in Figures 2007/2008*.
- DGEG, D. G. (2004). *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. Lisboa: DGEE.
- Digest, B. (1994). *Natural Ventilation in Non-Domestical Buildings*. Garston, Inglaterra: Building Research Establishment .
- DPAEME, D. d. (2011). *Atlas Climático Ibérico*. Closas-Orcoyen S. L.
- Du, L. (2011). *Insulation for Environmental Sustainability in BREEAM*.
- Ecofys. (2002). *The Contribution of Mineral Wool and other Thermal Insulation Materials to Energy Saving and Climate Protection in Europe*. Cologne - Germany.
- EWC, E. W. (s.d.). *Your Gateway to Information on How to Choose Energy-Efficient Windows*. Obtido em 26 de Agosto de 2012, de Efficient Windows Collaborative: <http://www.efficientwindows.org/>
- Ferreira, A., Pinheiro, M. D., & Brito, J. d. (2010). *Abordagens disponíveis na análise do ciclo de vida do edifício comercial – o caso dos grandes retalhistas*. Lisboa: CINCOS'10.
- Ferreira, F. C., Cunha, J. A., Caldas, N. R., Silva, R. M., Cardoso, V. M., & Samagaio, B. R. (2009). *A Reabilitação de Edifícios* . Porto: Departamento Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- Ferreira, M. A. (2009). *A Eficiência Energética na Reabilitação*. Lisboa: Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Ghiaus, C., & Alard, F. (2004). *Natural Ventilation in Urban Areas - Potential Assessment and Optimal Façade Design - Handbook*. URBVENT.
- Gil, C. (2012). *Relatório Anual do Sector da Construção em Portugal - 2011*. Lisboa: Instituto da Construção e do Imobiliário INCI.
- Hopkins, V., Gross, G., & Ellifritt, D. (1979). *Comparing the Thermal Performances of Buildings of High and Low Masses*. Ashrae Transactions.
- INE, I. N. (2011). *Censos 2011 - Resultados Provisórios*.
- INE, I. N. (2011). *CENSOS 2011 Parque habitacional (Resultados pré-provisórios)*.
- INE, I. N. (2011). *Contas Nacionais Anuais de 2009*. Destaque.
- INE/DGEG, I. N.-G. (2011). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística e Direcção-Geral de Energia e Geologia.
- Instalação Sistemas Solares Fotovoltaicos*. (s.d.). Obtido em 03 de Setembro de 2012, de Electronica: <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/273/204/>
- Jardim, F. M. (2009). *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*. Braga: Tese de Mestrado em Engenharia Civil na Escola de Engenharia da Universidade do Minho.
- Kejun, J., Cosbey, A., & Murphy, D. (2008). *Embodied Carbon in Traded Goods*. Copenhaga, Dinamarca: International Institute for Sustainable Development.
- Kumar, A., & Suman, B. (2012). *Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate*. India: Elsevier.
- LNEG, L. N. (2010). *Solar XXI - Em Direcção à Energia Zero*. Lisboa: LNEG.
- Lobão, R. J. (2004). *Modelo Simplificado de Previsão do Comportamento Térmico de Edifícios*. Guimarães: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade do Minho.

- Lopes, T. F. (2010). *Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Lisboa: Dissertação de Mestrado em Construção - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Lucas, S., Aguiar, J. B., & Ferreira, V. M. (2011). *Estudo de Argamassas Funcionais para uma Construção Sustentável*. Universidade de Aveiro; Universidade do Minho; ITeCons.
- Lucas, S., Barroso de Aguiar, J., & Ferreira, V. (2010). *Argamassas funcionais para uma construção sustentável*. CINCOS'10.
- Manz, H., & Menti, U.-P. (2011). *Energy performance of glazings in European climates*. Horw, Suíça: Elsevier.
- Mapei. *Cardeno Técnico - Mapetherm - Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior de Edifícios*. Mapei.
- Mateus, D. J. (2011). *Análise da influência da inércia térmica no desempenho energético dos edifícios de serviços*. Coimbra: Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Miranda, P. M., Valente, M. A., Tomé, A. R., Trigo, R., Coelho, M. F., Aguiar, A., et al. (2005). *O Clima de Portugal nos Séculos XX e XXI*. Lisboa: Universidade de Lisboa.
- Moita, F. (2010). *Energia Solar Passiva*. Lisboa: Argumentum.
- Nunes, K., & Tirone, L. (2011). *Coberturas Eficientes - Guia para a Reabilitação Energético-ambiental do Edificado*. Algês: ADENE.
- Oliveira, C., & Pinto, A. R. (2012). *Características de sustentabilidade de materiais de construção renováveis*. Lisboa, Portugal: CINCOS'12.
- Oliveira, H. J., Torgal, F. P., & Bragança, L. (2012). *Alguns contributos da nanotecnologia para a sustentabilidade dos materiais de construção*. Guimarães: CINCOS'12.
- Orosa, J. A., & Oliveira, A. C. (2010). *A field study on building inertia and its effects on indoor thermal environment*. Corunha: Elsevier.
- Özbalta, T. G., & Kartal, S. (2010). *Heat gain through Trombe wall using solar energy in a cold region of Turkey*. Turquia: Scientific Research and Essays.

- Paiva, A., Pinto, J., Boaventura-Cunha, J., Lanzinha, J., Perreira, S., Briga-Sá, A., et al. (2012). *Materiais e sistemas de construção sustentáveis*. CINCOS'12.
- PANER. (2010). *Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis ao Abrigo da Directiva 2009/28/EC*. Lisboa: República Portuguesa.
- Papst, A. L. (1999). *Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical - Estudo de Caso em Florianópolis - SC*. Florianópolis: Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina.
- PETElétrica. (8 de Dezembro de 2011). *Residência Eólica 100% movida pela força dos ventos*. Obtido em 3 de Setembro de 2012, de Energia Inteligente: <http://energiainteligenteufjf.com/2011/12/08/residencia-eolica-100-movida-pela-forca-dos-ventos/>
- Roriz, M., & Andrade, N. C. *Comportamento Térmico de Cobertura Verde Utilizando a Grama Brachiaria Humidicola na Cidade de São Carlos, SP*. parc.
- Rosenbaum, M. (1999). *Passive and low energy cooling survey*. Environmental Building News.
- Rosendo, J., Lourenço, F., Calhau, K., Morais, F., & Roriz, L. (2010). *Energia Solar em Edifícios*. Amadora: Edições Orion.
- Santos, F. (2011). Reabilitação Urbana. *Ingenium ed. 113*, 10.
- Serra, R. (1989). *Clima, Lugar y Arquitectura*. Madrid: Ciemat.
- Silva, P. C. (2006). *Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE*. Braga: Universidade do Minho, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.
- Sirgado, J. F. (2010). *Análise do Impacte dos Vãos Envidraçados no Desempenho Térmico dos Edifícios*. Lisboa: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico.
- Steadman, P. (1982). *Energia, Medio Ambiente y Edificación*. Madrid: H.lume Ediciones.
- Stegou-Sagia, A., Antonopoulos, K., Angelopoulou, C., & Kotsiovelos, G. (2007). *The impact of glazing on energy consumption and comfort*. Atenas, Grécia: Elsevier.

- Thirion, C. (s.d.). *WIP1 - Putting the material in the right place*. Obtido em 25 de Agosto de 2012, de UCL Engeneering Doctorate: <http://engd-usar.cege.ucl.ac.uk/project/view/idprojects/11>
- Tomás, N. M. (2010). Reabilitação marca passo. *Ingenium ed. 113*, 14.
- Torcellini, P., & Pless, S. (2004). *Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Practical Experiences*. Denver, Colorado: National Renewable energy Laboratory.
- UE, U. E. (04 de 04 de 2011). *Protocolo de Quioto relativo às alterações climáticas*. Obtido em 23 de 08 de 2012, de Europa - Síntese da Legislação da U.E.: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_pt.htm
- Vale, C., Mateus, R., & Bragança, L. (2010). *Avaliação de impactes ambientais de ciclo de vida de um edifício de habitação unifamiliar*. Braga, Portugal: CINCOS'10.
- Verdelho, S. I. (2008). *Avaliação do Potencial de Arrefecimento de Edifícios Através da Ventilação Natural*. Porto: Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

ANEXOS