

Avaliação de Medidas de Eficiência Energética em Edifícios Residenciais

Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletromecânica, especialização em Instalações e
Equipamentos em Edifícios

Autor

Telmo Filipe Matias Carapeto

Orientadores

Doutora Dulce Helena de Carvalho Coelho

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Doutora Carla Margarida Saraiva de Oliveira Henriques

Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra

Coimbra, abril, 2016

AGRADECIMENTOS

Sem importantes apoios, incentivos e ajuda não teria sido possível tornar este projeto numa realidade.

Direta ou indiretamente, foram muitas as pessoas que me ajudaram a cumprir os meus objetivos e a realizar mais esta etapa da minha formação académica. Desta forma, deixo apenas algumas palavras, poucas, mas um sentido e profundo sentimento de reconhecido agradecimento.

À Professora Dulce Helena de Carvalho Coelho, expresso o meu profundo agradecimento pela orientação e apoio incondicionais que muito elevaram os meus conhecimentos e, sem dúvida, muito contribuiu para a minha vontade constante de querer fazer melhor. Agradeço também a disponibilidade total que sempre revelou, mas também, o sentido de responsabilidade que me inculuiu em todas as fases do projeto.

À Professora Carla Margarida Saraiva de Oliveira Henriques, pelo apoio e orientação disponibilizados na realização deste trabalho, conselhos e sugestões, além das palavras de ânimo que imprimia sempre que achava necessário.

Aos meus pais, José e Graça pela forma como me inculiram a alegria de viver, fazer tudo o melhor possível e a confiança necessária para realizar os meus sonhos.

À minha namorada Bianca, por toda a paciência, incentivo, confiança e pelo carinho das suas palavras que me levaram a nunca desistir durante todo este longo percurso. Obrigado por sempre acreditar nas minhas capacidades e por todo o amor e dedicação.

Deixo também um agradecimento aos meus amigos mais próximos que sempre acreditaram em mim e me acompanharam durante esta jornada.

RESUMO

O consumo energético nos edifícios residenciais tem registado um crescimento nos últimos anos, consequência do aumento das exigências de conforto térmico nos edifícios e do crescente número de equipamentos elétricos utilizados nas habitações. Num período marcado pela aceleração gradual do aquecimento global e pelo declínio económico e ambiental, a eficiência energética apresenta-se como um vetor estratégico para a sustentabilidade.

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) integra políticas e medidas ambiciosas de eficiência energética, agrupando-as em doze programas específicos. Em particular, preconiza um conjunto de medidas para o sector residencial, destinadas a potenciar a eficiência energética na iluminação, eletrodomésticos e reabilitação de espaços, com o objetivo de fomentar a substituição de equipamentos, acompanhando o avanço tecnológico promovido pelos produtores e induzido pelas crescentes exigências do mercado. Deste modo, a racionalização do consumo de energia neste setor encerra um conjunto de medidas que permite reduzir a dependência energética e as emissões de dióxido de carbono.

Neste âmbito, o objetivo principal deste projeto consiste na identificação e avaliação de medidas de eficiência energética que possam ser implementadas em edifícios residenciais, tendo em consideração diferentes áreas de atuação (iluminação, climatização e reabilitação de espaços) e múltiplos aspetos de avaliação (técnicos, económicos, ambientais e sociais).

O resultado da avaliação das medidas identificadas deverá permitir apoiar os decisores políticos na seleção das medidas com maior potencial de implementação e que poderão ser alvo de apoio e/ou financiamento público.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Reabilitação Energética de Edifícios, Edifícios Residenciais, Análise Multicritério

ABSTRACT

The energy consumption in residential buildings has registered an increase in recent years as a result of the imposed enhancement requirements regarding thermal comfort in buildings and of the growing number of electrical appliances used by households. In a period particularly impacted by the gradual acceleration of global warming, the economic sluggish growth and environmental depletion, energy efficiency conveys a strategic vector for sustainability.

The National Energy Efficiency Action Plan (PNAEE) integrates energy efficiency policies and ambitious measures in twelve specific programs. In the framework of the residential sector it includes a number of measures to improve energy efficiency in lighting, appliances and retrofitting, with the aim of promoting the replacement of equipment in line with technological advances promoted by producers and induced by the growing market requirements.

Therefore, the rationalization of energy consumption entails an important group of measures that is critical for reducing energy dependence and carbon dioxide emissions.

In this context, this project is aimed at identifying and assessing distinct energy efficiency measures that can be implemented in residential buildings, taking into account different areas of intervention (lighting, air conditioning and renovation spaces) and multiple aspects of evaluation (technical, economic, environmental and social).

The result of the assessment of the identified measures will allow supporting policy decision-makers with the selection of measures which have the highest implementation potential and that may be elected for public support and / or public funding.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Retrofitting of Buildings, Residential Buildings, Multi Criteria Analysis

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ABREVIATURAS	ix
1 – Introdução	1
1.1 – Objetivos do Projeto	3
1.2 – Estrutura do Relatório.....	4
2 – Revisão da Literatura.....	5
2.1 – Conceito de construção sustentável	5
2.2 – Metodologias de avaliação já adotadas	6
2.3 – Sistemas de avaliação da construção sustentável	7
2.3.1 – Método BREEAM	9
2.3.2 – Método CASBEE	11
2.3.3 – Método LEED	14
2.3.4 – Método LiderA	16
2.4 – A importância da energia na avaliação da construção sustentável	20
3 – O setor dos edifícios em Portugal e o seu desempenho energético	21
3.1 – A realidade construtiva.....	21
3.2 – A realidade social e económica	24
3.3 – A realidade energética	25
4 – Reabilitação Energética de Edifícios	29
4.1 – Aspetos do edifício que afetam o seu desempenho energético	30
4.1.1 – Localização do edifício.....	31
4.1.2. – Orientação, captação solar e sombreamento.....	32
4.1.3 – Características da construção.....	33
4.1.4 – A iluminação natural e artificial	34
4.1.5 – Conforto térmico	35
4.1.6 – Ventilação e climatização	36
4.1.7 – Equipamentos	37
4.1.8 – Águas quentes sanitárias e águas pluviais	38
4.1.9 – Integração de Energias Renováveis	39
4.1.10 – Etiquetagem.....	40
4.2 – Apoios e políticas de incentivo à eficiência energética e à reabilitação de edifícios	41
4.3 – Barreiras à reabilitação energética.....	44
4.4 – Legislação nacional de eficiência energética na habitação	45
5 – Avaliação de medidas de eficiência energética em edifícios residenciais.....	47
5.1 – Metodologia de avaliação	47

5.1.1 – Método ELECTRE TRI	48
5.1.2 – Aplicação computacional IRIS	49
5.2 – Estudo de Caso.....	51
5.2.1 – Especificação dos critérios de avaliação	51
5.2.2 – Seleção das medidas de reabilitação	52
5.2.3 – Aplicação do Software IRIS	54
5.2.4 – Análise de alguns resultados obtidos	57
6 – Conclusões	65
REFERÊNCIAS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Estrutura conceptual do CASBEE.....	13
Figura 2. 2 - Áreas de avaliação do sistema LiderA	17
Figura 3. 1 - Distribuição do número de alojamentos segundo a tipologia, Portugal 2013.	21
Figura 3. 2 - Estado de degradação dos edifícios em Portugal, 2011.....	23
Figura 3. 3 - Consumo de energia final por setor (%), 2012.	25
Figura 3. 4 - Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais, em Portugal, no ano de 2010.	26
Figura 3. 5 - Agregados familiares com equipamentos de apoio ao trabalho doméstico.	27
Figura 4. 1 - Distribuição das zonas climáticas em Portugal Continental.....	31
Figura 4. 2 - Tipologia de lâmpadas encontrada nas habitações.	35
Figura 4. 3 - Categorias de certificação energética.	40
Figura 5. 1 - Definição de categorias no ELECTRE TRI.	48
Figura 5. 2 - Exemplo de aplicação do IRIS.	50
Figura 5.3 - Áreas de trabalho do <i>software</i> IRIS.....	56
Figura 5.4 - Resultados obtidos nas duas primeiras iterações.	57
Figura 5. 5 - Resultados obtidos na 3ª iteração.	59
Figura 5. 6 - Resultados obtidos na 4ª iteração.	60
Figura 5. 7 - Resultados obtidos com a consideração de exemplos de classificação.	61
Figura 5. 8 - Resultados obtidos com a consideração de novos exemplos de classificação.....	61
Figura 5. 9 - Resultados obtidos com a consideração de outros exemplos de classificação.	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Categorias de avaliação do sistema BREEAM.	10
Tabela 2. 2 - Conjunto de indicadores e parâmetros avaliados pelo sistema BREEAM.	10
Tabela 2. 3 - Classificação do sistema BREEAM.	11
Tabela 2. 4 - Ferramentas que constituem o sistema CASBEE.....	11
Tabela 2. 5 - Classificações do sistema CASBEE.	14
Tabela 2. 6 - Níveis de certificação do sistema LEED.	15
Tabela 2. 7 - Classificações para as áreas de avaliação do LEED.....	16
Tabela 2. 8 - Princípios do sistema LiderA.	17
Tabela 2. 9 - Vertentes, áreas e parâmetros de intervenção do sistema LiderA.	18
Tabela 2. 10 - Ponderações do sistema LiderA.	19
Tabela 3. 1 - Distribuição dos edifícios por época de construção.	22
Tabela 4. 1 - Orientação e captação solar.	32
Tabela 5.1 - Fatores de emissão por fonte de energia.....	52
Tabela 5.2 - Escala de avaliação da Aceitação Social.	52
Tabela 5.3 - Especificação dos critérios de avaliação.	52
Tabela 5.4 - Descrição das medidas de reabilitação propostas.....	53
Tabela 5.5 - Desempenhos das medidas em cada critério.	54
Tabela 5.6 - Definição das categorias.....	54
Tabela 5.7 - Perfis e limiares aplicados no IRIS.	55

ABREVIATURAS

AIPEX – Associação Ibérica de Poliestireno Extrudido
AQS – Águas Quentes Sanitárias
ADENE – Agência para a Energia
BEE – Building Environmental Efficiency
BRE – Building Research Establishment
BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CASBEE – Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency
CE – Comissão Europeia
SCE CE- Certificado Energético do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
CO₂ – Dióxido de Carbono
DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia
EPBD – Energy Performance of Buildings Directive
ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FAI – Fundo de Apoio à Inovação
FEE – Fundo de Eficiência Energética
FER – Fontes de Energia Renováveis
FPC – Fundo Português de Carbono
GEE – Gases de Efeito de Estufa
JESSICA - Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas
INE – Instituto Nacional de Estatística
LEED – Leadership in Energy & Environmental Design
LiderA - Liderar pelo Ambiente para a Construção Sustentável
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NZEB – Nearly Zero Energy Building
PME – Pequenas e Médias Empresas
PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PPEC – Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica
PQ – Perito Qualificado
QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional
RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

TIM – Técnico de Instalação e Manutenção de Edifícios e Sistemas

U – Coeficiente de Transmissão Térmica

UE – União Europeia

USGBC – United States Green Building Council

1 – Introdução

A sociedade atual tem vindo a consumir energia como se não houvesse limites à sua utilização. Por outro lado, um dos maiores problemas que o planeta enfrenta é o desequilíbrio ambiental, nomeadamente resultante das alterações climáticas. Neste contexto, a necessidade de redução do consumo de energia e a eliminação do desperdício energético são fatores determinantes para a adoção de políticas energéticas sustentáveis, conduzindo a uma redução dos custos económicos e ambientais.

Em 1973, logo após a primeira crise mundial do petróleo, surgiu a expressão “uso racional da energia” (Jardim, 2009). Pela primeira vez, houve um aumento do custo da energia e a constatação de que esta era limitada e que o impacto ambiental provocado pela sua combustão não era neutro.

O primeiro grande passo em matéria de alterações climáticas foi dado em 1979, durante a Primeira Conferência do Clima, com o estabelecimento do programa Mundial para o Clima, tendo sido reconhecida a existência deste fenómeno e a seriedade do problema das emissões antropogénicas de Gases de Efeito de Estufa (GEE) (Borrego *et al.*, 2010). Neste contexto, o protocolo de Quioto fixou e agendou objetivos quantitativos relativos à redução de emissões de Dióxido de carbono (CO₂), com o compromisso claro de todos os países signatários. Ficou estabelecido que os países aderentes teriam de diminuir as suas emissões cerca de 5%, abaixo dos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012 (Luzio, 2009).

Desde então, muitos países passaram a adotar medidas legais e regulamentares, com o objetivo de estabelecer certos níveis mínimos de desempenho térmico para os edifícios, que têm sido progressivamente alteradas (Jardim, 2009).

De facto, o setor residencial tem sido alvo de grande atenção, por ser responsável por cerca de 40% (Diretiva 2012/27/EU) e 30% (DGEG, 2016) do consumo final de energia na União Europeia (UE) e em Portugal, respetivamente. Neste âmbito, foi aprovada a Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios (*Energy Performance of Buildings Directive* - EPBD). Esta Diretiva estabeleceu diversos requisitos, nomeadamente que todos os Estados-Membros implementassem um sistema de certificação energética nos edifícios (DGEG, 2015a; Diretiva 2002/91/CE, 2002).

Da sua reformulação, surgiu a Diretiva 2010/31/UE, de 19 de maio, que veio reforçar o esforço da UE em cumprir os objetivos do Protocolo de Quioto, através da melhoria da eficiência energética dos edifícios e do aumento do uso de energias renováveis (DGEG, 2015a; Diretiva 2010/31/UE, 2010).

O desafio consistia em alcançar o mais elevado desempenho energético nos edifícios com um custo económico apropriado, tendo em consideração o contexto climático e parâmetros relevantes de cada país (DGEG, 2015a).

A Diretiva 2010/31/EU, de 19 de maio veio reforçar as exigências mínimas para os edifícios, no âmbito da eficiência energética e trazer alterações significativas como a introdução de requisitos a nível dos sistemas de climatização ou a intensificação dos processos de inspeção e da qualidade dos certificados energéticos.

A necessidade de instituir ações mais concretas para realizar o potencial não concretizado de poupança de energia nos edifícios e para reduzir as diferenças entre os Estados-Membros no que respeita aos resultados neste sector, fez surgir um novo conceito, Edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB, acrónimo do inglês “*nearly zero-energy building*”). Deste modo, a nova EPBD (Diretiva nº 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro) estabelece que: “O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia; e após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia”. Por outro lado, as necessidades de energia quase nulas dos edifícios deverão ser cobertas por fontes de energias renováveis, antecipando esse prazo em dois anos para os novos edifícios públicos (DGEG, 2015a; Camacho e Silva, 2014).

Portugal enquanto Estado-Membro tem vindo a transpor para o direito nacional a regulamentação europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios novos e existentes, o que permite a melhoria da sua envolvente e, com isso, a diminuição de perdas térmicas e a melhoria do conforto térmico interior.

Com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, foi assegurada a transposição para o direito nacional da Diretiva 2010/31/EU, bem como a revisão da legislação nacional referente ao Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), em vigor desde 2006 (tendo assumido à data a designação de Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios). Neste novo diploma único, estão incluídos o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH),

correspondente ao antigo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), correspondente ao antigo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE), tornando-se deste modo mais clara a separação do âmbito de aplicação do SCE aos edifícios de habitação e aos edifícios de comércio e serviços (DGEG, 2015a).

A obrigatoriedade da implementação de um sistema de certificação energética tem como objetivo informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, venda, arrendamento ou locação dos mesmos, permitindo aos futuros utilizadores a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos edifícios), reais ou aferidos para padrões de utilização típicos (para edifícios existentes) (DGEG, 2015a).

O Certificado energético é um documento emitido por um perito qualificado (PQ) no âmbito do SCE e descreve a situação efetiva de desempenho energético de um imóvel, onde consta o cálculo dos consumos anuais de energia previstos e qualifica a qualidade do ar interior de um edifício ou fração autónoma, classificando o imóvel em função do seu desempenho energético numa escala de 8 classes (de A+ a F) (DGEG, 2015a).

Assim, é fundamental alertar os consumidores sobre as potenciais fontes de poupança energética existentes nas suas habitações e, ainda, sensibilizá-los para a promoção da racionalização energética e do uso eficiente da energia.

1.1 – Objetivos do Projeto

O presente projeto visa, neste contexto, a identificação e avaliação de medidas de eficiência energética que possam ser implementadas em edifícios residenciais, tendo em consideração diferentes áreas de atuação (iluminação, climatização e reabilitação de espaços) e múltiplos aspetos de avaliação (técnicos, económicos, ambientais e sociais).

A avaliação das diferentes medidas identificadas será realizada considerando uma problemática de classificação, isto é, afetando medidas a categorias (ou classes de preferências) ordenadas predefinidas. O resultado da avaliação das medidas identificadas deverá permitir apoiar os decisores políticos na seleção das medidas com maior potencial de implementação e que poderão ser alvo de apoio e/ou financiamento público.

1.2 – Estrutura do Relatório

O presente Relatório encontra-se dividido em seis capítulos:

O primeiro capítulo expõe a motivação que conduziu à realização deste projeto, apresenta o respetivo enquadramento e efetua um pequeno resumo de cada um dos capítulos com referência às contribuições mais relevantes.

No segundo capítulo, é abordado o conceito de desenvolvimento sustentável fazendo-se referência explícita aos vários parâmetros de sustentabilidade sobre os quais a avaliação da construção sustentável no setor da energia exerce impactos diretos. Finalmente, apresentam-se alguns métodos de avaliação do desempenho energético dos edifícios bem como os mais recentes avanços neste âmbito a nível europeu.

No terceiro capítulo é efetuada a caracterização do parque habitacional existente em Portugal e é ilustrada a caracterização socioeconómica e energética do país, que servirão de mote para estudar as condições de habitabilidade do parque residencial, colocando em evidência as respetivas potencialidades energéticas e ambientais de reabilitação.

No capítulo quatro estudam-se e sistematizam-se o conceito de reabilitação e os principais aspetos que afetam o desempenho energético dos edifícios. Posteriormente são identificadas algumas medidas de reabilitação energética passíveis de serem adotadas na envolvente dos edifícios existentes e avaliadas as principais barreiras e dificuldades inerentes à respetiva implementação. Finalmente são ainda apresentados os vários programas e incentivos para promoção de medidas de eficiência energética, assim como a legislação nacional aplicável.

No capítulo cinco, descreve-se sucintamente a metodologia de avaliação multicritério usada e identificam-se as medidas de reabilitação a avaliar. São ainda apresentados e analisados alguns dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia descrita.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as principais conclusões decorrentes deste projeto e são propostas algumas pistas de trabalho para desenvolvimento futuro.

2 – Revisão da Literatura

2.1 – Conceito de construção sustentável

No final dos anos 70 do século passado o conceito de sustentabilidade surgiu com a preocupação e percepção dos problemas de cariz ambiental. Nos finais dos anos 80, o conceito de desenvolvimento sustentável aparece definido no Relatório de Brundtland (Brundtland, 1987) e corresponde a “um desenvolvimento que dê resposta às necessidades do presente, sem comprometer o bem-estar das gerações futuras¹”.

Em 1994, realizou-se a primeira conferência internacional sobre a construção sustentável, em Tampa, na Flórida, onde foram propostos vários conceitos com vista a definir a construção sustentável. Nesta conferência, Kibert (1994) apresentou o conceito que gerou maior consensualidade para a construção sustentável, definindo-a como a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos (evitando danos ambientais) e a utilização eficiente dos recursos”, considerando o solo, os materiais, a energia e a água como os recursos mais importantes para a construção. É a partir destes recursos que Kibert (1994) estabelece os seguintes princípios para a construção sustentável:

- Reduzir o consumo de recursos;
- Maximizar a reutilização de recursos;
- Reciclar materiais em fim de vida do edifício e usar recursos recicláveis;
- Proteger o ambiente natural;
- Eliminar os materiais tóxicos e os subprodutos em todas as fases do ciclo de vida.

Para Pinheiro (2006), a construção sustentável deve respeitar as características e dinâmicas ambientais presentes no solo (na escolha do local, na redução da água afetada e na manutenção das funções ecológicas), os ecossistemas naturais (proteção das zonas naturais e valorização ecológica), a paisagem (através da sua integração e valorização), a potenciação dos aspetos ambientais relevantes em termos de acessos e amenidades, bem como o fomento e criação de mobilidade de baixo impacto. No que diz respeito aos recursos (energia, água e materiais), o conceito de construção sustentável incide na redução do seu consumo; no que se refere ao ambiente interior, considera como requisitos a qualidade do ar interior, o conforto térmico, a luz natural, o ambiente acústico e a capacidade de controlo para os utentes,

¹ Nossa tradução.

adequados às necessidades de habitabilidade dos utilizadores. A durabilidade e acessibilidade assumem também grande importância no desempenho do edifício para a sustentabilidade. Não menos importante, é a também proteção do património arqueológico, arquitetónico, cultural e de outras particularidades locais.

2.2 – Metodologias de avaliação já adotadas

Dall'O' *et al.* (2012) desenvolveram uma metodologia de avaliação das potenciais economias de energia na reabilitação de edifícios residenciais, em cinco concelhos da província de Milão, onde consideraram melhorias para a envolvente do edifício, como o isolamento térmico das paredes e telhados e a substituição de janelas.

Caputo *et al.* (2013) adotaram uma metodologia de apoio à definição de estratégias de poupança de energia no sector da construção em escala urbana, que visa estimar o consumo de energia de todos os edifícios (residencial e comercial) numa cidade italiana, permitindo estimar os diferentes usos de energia (aquecimento, refrigeração, cozinha, água quente sanitária (AQS), luzes e equipamentos) e simular os efeitos das políticas energéticas relacionados com a adoção de medidas conducentes à melhoria da eficiência energética.

Coelho *et al.* (2013) aplicaram um modelo multicritério para avaliar as medidas de renovação do parque edificado à escala urbana. O modelo de apoio à decisão multicritério foi desenvolvido num contexto urbano real e pode ser utilizado para efetuar a classificação das medidas mais representativas de poupança energética de renovação do parque edificado. A aplicação do modelo inclui quatro medidas de renovação implementadas em edifícios residenciais, de serviços privados e edifícios de serviços públicos. O modelo proposto considera 12 critérios, classificados em subgrupos económicos, tecnológicos, ambientais e sociais.

Häkkinen (2012) desenvolveu um método sistemático para a análise da sustentabilidade de medidas de remodelação de paredes exteriores. Os casos de estudo analisados têm em consideração: o isolamento externo e interno das fachadas opacas, o isolamento de paredes duplas, os valores de condutividade térmica dos materiais escolhidos, os graus de arrefecimento diário, bem como os custos de investimento e construção. As questões mais relevantes na construção de simulações físicas foram: a qualidade e propriedade do desempenho dos materiais; a espessura do isolamento; a existência de caixa-de-ar; a qualidade do material da superfície; a chuva e a temperatura.

Pan *et al.* (2012) efetuaram um estudo dos efeitos da espessura do isolamento de fachadas exteriores nas necessidades de arrefecimento e aquecimento em três climas diferentes na China, nas regiões de Guangzhou, Shanghai e Beijing, obtendo resultados em que a poupança de energia foi significativa. Os autores concluíram que o aumento da espessura do isolamento da fachada exterior permitiu reduzir a energia necessária para aquecimento.

Yaşar *et al.* (2012) estudaram os efeitos sobre a eficiência energética e económica em edifícios residenciais em climas moderados a húmidos, através da renovação das janelas, com recurso ao *software* de simulação dinâmica de edifícios - *DesignBuilder*. Neste estudo, consideraram os consumos de energia das várias janelas envidraçadas em dois blocos residenciais, tendo concluído que o controlo da exposição solar, o desempenho do vidro, a orientação, a área de janela, a localização da janela e os fatores climáticos são as características que mais afetam a eficiência energética.

Manuela Almeida *et al.* (2013) obtiveram soluções que apresentam o menor custo, considerando o investimento nas operações de reabilitação e os custos de utilização do edifício ao longo do seu ciclo de vida através de uma metodologia para determinação de soluções de custo ótimo. Esta metodologia foi aplicada num edifício residencial característico do parque edificado de Portugal, em Braga, construído nos anos 70. Neste estudo, foram testadas medidas de melhoria ao nível do impacto do comportamento térmico do edifício e ao nível da utilização da energia para aquecimento, arrefecimento e AQS, num total de cerca de 80 variantes de reabilitação.

Ihm e Krarti (2012) obtiveram resultados num estudo desenvolvido na Tunísia que vêm reforçar a ideia de que a introdução de isolamento nos telhados e a instalação de aparelhos energeticamente eficientes, como equipamentos de iluminação, aquecimento e refrigeração são medidas de eficiência energética a ter em consideração no projeto de edifícios com elevado desempenho energético em todas as zonas climáticas na Tunísia. Finalmente, é ainda demonstrado que a implementação destas medidas pode reduzir o consumo anual de energia em 50% nesses edifícios, em relação às práticas atualmente consideradas no projeto de edifícios na Tunísia.

2.3 – Sistemas de avaliação da construção sustentável

A avaliação da sustentabilidade na construção de edifícios tem por objetivo a obtenção de dados e o reporte de informações que servirão de base aos processos de decisão que decorrem durante as diversas fases do ciclo de vida de um edifício. A análise do nível de

sustentabilidade de um edifício resulta de um processo que conduza à identificação e avaliação dos aspetos mais importantes ao longo do seu ciclo de vida (Bragança e Mateus, 2006).

No entanto, a utilização de metodologias que permitam avaliar a sustentabilidade dos edifícios através da análise de todos os parâmetros necessários pode tornar-se incomportável em termos de custo e tempo, colocando em causa a sua operacionalização e a prossecução dos seus objetivos. Por este motivo, as metodologias existentes abordam a sustentabilidade de uma forma holística, utilizando nos processos de avaliação apenas os indicadores e parâmetros que são considerados mais representativos, de acordo com os objetivos dessa avaliação. Neste contexto, um indicador permite avaliar o comportamento de uma solução face a um ou mais objetivos do desenvolvimento sustentável e um parâmetro é uma propriedade mensurável ou observável que fornece informação acerca de um fenómeno, ambiente ou área (Bragança e Mateus, 2006).

Um exemplo de um indicador é o conforto ambiental interno, que é um dos objetivos genéricos da construção sustentável; por outro lado, um parâmetro associado a este indicador é o conforto térmico que é um aspeto mensurável (medição da temperatura e humidade interiores).

A utilização de indicadores e de parâmetros da sustentabilidade é baseada em definições, regras, métodos, classificações e na atribuição de pesos, pelo que o carácter pessoal destas ações acaba por introduzir uma certa subjetividade no resultado da avaliação (Bragança e Mateus, 2006).

Esta situação deve-se, fundamentalmente, à subjetividade do conceito “construção sustentável”, que se deve nomeadamente às diferenças políticas, tecnológicas, culturais, sociais e económicas existentes, não só, entre os países, mas também, dentro de cada país, nas suas diversas regiões.

Os diferentes métodos de avaliação da sustentabilidade de edifícios encontram-se orientados para diferentes escalas de análise: material de construção, produto de construção, elemento de construção, zona independente, edifício e local de implantação (Bragança e Mateus, 2006).

O Portal da habitação (2015) apresenta os seguintes métodos que têm sido desenvolvidos e aplicados aos sistemas para avaliação do desempenho ambiental dos edifícios em diversos países:

- **BREEAM** (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), desenvolvido no Reino Unido;

- **CASBEE** (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*) desenvolvido no Japão;
- **LEED** (*Leadership in Energy and Environment Design*) desenvolvido nos Estados Unidos da América.

No contexto nacional, para além dos métodos atrás referidos que podem ser aplicados com as devidas adaptações, existe entre outros, em particular o **LiderA** cujas características foram ajustadas à realidade portuguesa (Portal da habitação, 2015).

2.3.1 – Método BREEAM

O método BREEAM, lançado em 1990, foi o primeiro método de avaliação de desempenho ambiental de edifícios desenvolvido pelo *Building Research Establishment* (BRE), no Reino Unido, tendo sofrido várias alterações ao longo dos tempos, de modo a ser aplicado a usos para além da habitação, como escritórios, comércio, unidades industriais, entre outros.

A avaliação através da ferramenta BREEAM permite descrever o desempenho ambiental de um edifício à base de atribuição de créditos concedidos em nove categorias distintas, os quais são somados de forma a obter uma única pontuação que classifica o edifício, designada por índice de desempenho ambiental (Breeam, 2011).

Existem várias versões do BREEAM, de acordo com (Breeam, 2011), adaptadas ao tipo de construção em causa:

- BREEAM Offices: avalia novas construções ou renovações em escritórios durante a fase de conceção, construção e uso;
- EcoHomes: versão para habitações novas ou renovadas;
- BREEAM Industrial: avalia unidades industriais;
- BREEAM Retail: avalia edifícios comerciais.

Para além das versões referidas anteriormente, já existem sistemas específicos para hospitais, escolas, prisões, tribunais, entre outros. Consoante a categoria em estudo, as ponderações são diferentes, isto é, a categoria do consumo energético terá um peso distinto da categoria do consumo de água e dos materiais a usar (Breeam, 2011). As categorias de avaliação são apresentadas na Tabela 2.1 e o conjunto de indicadores e parâmetros avaliados pelo sistema BREEAM são apresentados na Tabela 2.2, de acordo com Breeam, 2011.

Tabela 2. 1 - Categorias de avaliação do sistema BREEAM.

Categorias	Pontuação máxima	Ponderação
Gestão da Construção	11	12%
Saúde e Bem-Estar	14	15%
Consumo de Energia	24	19%
Transporte	9	8%
Consumo de Água	9	6%
Materiais	13	12.5%
Gestão de Resíduos	7	7.5%
Utilização de Terreno e Ecologia	10	10%
Contaminação	12	10%
Inovação	10	10%
Total	119	110%

Tabela 2. 2 - Conjunto de indicadores e parâmetros avaliados pelo sistema BREEAM.

Gestão da Construção	Gestão de Resíduos
-Adjudicação;	-Resíduos da construção;
-Impacto no local da construção;	-Agregados reciclados;
-Segurança;	-Instalações de reciclagem;
Saúde e Bem-Estar	Contaminação
-Iluminação natural (luz do dia);	-Emissões de gases de efeito de estufa;
-Conforto térmico dos ocupantes;	-Poluição dos cursos de água;
-Acústica;	-Luz externa e poluição sonora;
-Qualidade do ar interior e da água;	
Consumo de Energia	Utilização de Terreno e Ecologia
-Emissões de CO ₂ ;	-Valor ecológico do local;
-Isolamento do edifício;	-Proteção das características ecológicas;
-Sistemas de elevada eficiência energética;	-Valorização ecológica;
-Iluminação externa;	-Pegada do edifício;
Transporte	Materiais
-Conexão da rede de transportes públicos;	-Incorporação do ciclo de vida dos materiais;
-Instalações direcionadas para peões e ciclistas;	-Reutilização de materiais;
-Infraestruturas de lazer;	-Robustez;
-Planos e informações sobre viagens;	
Consumo de Água	Inovação
-Consumo de água;	-Níveis exemplares de desempenho;
-Deteção de fugas;	-Utilização de profissionais acreditados;
-Reutilização e reciclagem de água;	-Novas tecnologias de processos construtivos;

Classificação

Num projeto avaliado com o método BREEAM é possível alcançar 109 créditos, sendo que a categoria inovação possibilita a obtenção de uma bonificação de até 10 créditos. A percentagem mínima para obter o certificado BREEAM® é de 30% (equivalente a 33

créditos), sendo possível alcançar níveis superiores de conformidade, tal como indicado na Tabela 2.3 (Saint-Gobain Glass, 2012).

Tabela 2. 3 - Classificação do sistema BREEAM.

Classificação	Pontuação (%)
Sem certificação	<30
Aprovado	≥30
Bom	≥45
Muito Bom	≥55
Excelente	≥70
Excecional	≥85

O método BREEAM é uma ferramenta que permite aos diferentes intervenientes na construção, utilização e gestão, melhorar o desempenho ambiental dos edifícios novos ou renovados, encorajar a utilização de boas práticas ambientais em todas as fases dos edifícios e procurar soluções inovadoras que minimizem os impactos ambientais. Permite ainda estabelecer um padrão que demonstre a evolução dos objetivos ambientais e organizacionais das empresas e distinguir e reconhecer edifícios com reduzidos impactos ambientais no mercado (Breeam, 2011).

2.3.2 – Método CASBEE

Este sistema de avaliação é constituído por quatro ferramentas, cada uma delas direcionada para utilizadores distintos que avaliam o edifício nas diferentes fases do seu ciclo de vida. As quatro ferramentas que constituem o sistema são divididas em duas categorias, uma direcionada para edifícios novos e a outra para o parque edificado existente (Casbee, 2008).

As quatro ferramentas que constituem o Método CASBEE são descritas na Tabela 2.4 (Casbee, 2008).

Tabela 2. 4 - Ferramentas que constituem o sistema CASBEE.

Ferramenta	Utilizadores	Objetivos/Características
Edifícios Novos Avaliação pré-projeto	Proprietários Projetistas Preparadores	Identificar o contexto básico do projeto, com ênfase em seleção de área e impactos básicos do projeto.

Edifícios Existentes	Projeto ambiental	Projetistas Construtores	Efetuar teste simples de autoavaliação para auxiliar e melhorar a eficiência ambiental do edifício durante o processo do projeto.
	Certificação ambiental	Proprietários Projetistas Construtores Agentes Imobiliários	Classificar edifícios concluídos segundo a sua eficiência ambiental. Determinar o valor básico de mercado do edifício.
	Avaliação pós-projeto (operação e renovação sustentável)	Proprietários Projetistas Operadores/gestores	Recolher informações para melhorar a eficiência ambiental do edifício durante a etapa de operação

Sistema de avaliação do sistema CASBEE

A estrutura conceptual do sistema CASBEE centra-se em dois aspetos: a definição de limites do sistema analisado (o edifício) e o levantamento e balanceamento entre impactos positivos e negativos gerados ao longo de seu ciclo de vida. O CASBEE propõe aplicar o conceito de sistemas fechados (um espaço hipotético confinado aos limites do terreno) para avaliar o desempenho ambiental do edifício em análise. Este limite hipotético define e distingue claramente o espaço confinado aos limites do terreno (propriedade privada) e o espaço exterior aos limites do terreno (propriedade pública) (Casbee, 2008).

Em relação a estes dois tipos de espaços, o CASBEE define dois fatores:

- L (cargas ambientais) - impactos negativos que se estendem para fora do espaço hipotético (para o ambiente público);
- Q (qualidade ambiental) - qualidade e desempenho ambiental do edifício (dentro do espaço hipotético).

O CASBEE modifica o conceito de ecossistemas fechados (ver Figura 2.1 (Casbee, 2008)) com o objetivo de relacionar os dois fatores “L” e “Q”, criando um indicador de eficiência ambiental do edifício designado por *Building Environmental Efficiency* (BEE).

Assim, a eficiência ambiental do edifício é dada pelo quociente que relaciona qualidade/cargas. Quanto maior for o quociente, maior será a sustentabilidade ambiental. A qualidade é

referente à qualidade do ambiente interior, enquanto as cargas dizem respeito ao uso de energia.

Em suma, existem dois aspetos relevantes neste sistema de avaliação, sendo eles o levantamento/balanceamento entre os impactos positivos e negativos durante o ciclo de vida do edifício e a definição de limites do edifício analisado.

Os resultados vêm expressos no formulário de pontuação em termos de Q (qualidade de desempenho) e de LR (redução das cargas ambientais), sendo LR o nível das cargas ambientais em relação ao edifício de referência que possui características semelhantes ao edifício em análise. O edifício de referência é classificado com uma pontuação igual a 3.

A classificação de desempenho dos edifícios do CASBEE é constituída por cinco níveis: S (superior), A, B+, B e C, sendo S a melhor classificação (Casbee, 2008).

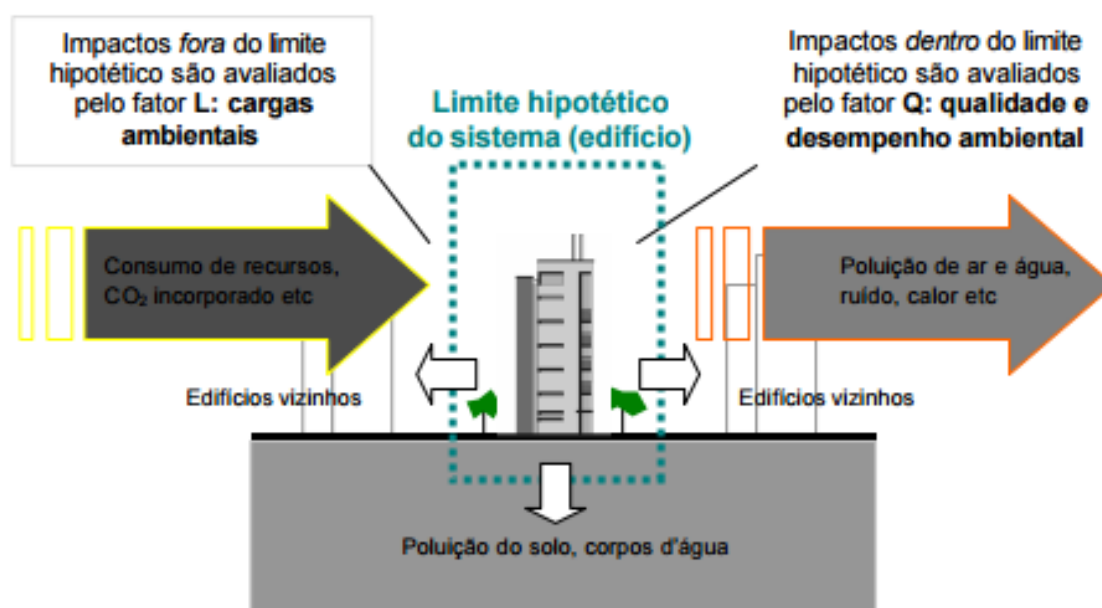


Figura 2. 1 - Estrutura conceptual do CASBEE.

Áreas de avaliação da sustentabilidade na construção do CASBEE

Comparando com os sistemas anteriores, as áreas de avaliação do sistema CASBEE são em menor número, mas agregam, contudo, todas as áreas do ciclo do edifício (Casbee, 2008).

As áreas de avaliação e os seus objetivos são os seguintes:

- Ambiente interior: ruído e acústica, conforto térmico, qualidade do ar;
- Qualidade dos serviços: funcionalidade, durabilidade, flexibilidade;

- Ambiente externo dentro do lote do edifício: manutenção e criação de ecossistemas, características locais e culturais;
- Energia: carga térmica do edifício, uso de energia natural, eficiência dos sistemas prediais, operação eficiente;
- Recursos e materiais: água, materiais ecológicos;
- Ambiente externo fora do lote do edifício: poluição do ar, ruídos e odores, ventilação, iluminação.

Ponderações entre áreas de avaliação do CASBEE

Ao nível das classificações do sistema, apresentadas na Tabela 2.5 (Casbee, 2008), os valores são mais agregadores face aos restantes e evidenciam a preocupação com a eficiência do edifício, tanto a nível do conforto como energeticamente.

Tabela 2. 5 - Classificações do sistema CASBEE.

Áreas de avaliação	Classificações (%)
Ambiente interior	20
Qualidade dos serviços	15
Ambiente externo dentro do lote do edifício	15
Energia	20
Recursos e materiais	15
Ambiente externo fora do lote do edifício	15

2.3.3 – Método LEED

O sistema de avaliação LEED tem como base uma lista de pré-requisitos (com itens obrigatórios e classificatórios) a partir da qual se analisa a eficiência ambiental potencial do edifício, permitindo a atribuição de determinado crédito, baseado numa lista pré-selecionada de objetivos (Leed, 2015).

A pontuação é contabilizada através do somatório dos critérios comprovadamente cumpridos, sendo obrigatório o cumprimento dos pré-requisitos. São dados pontos aos parâmetros existentes e para cada parâmetro é adotado um pré-requisito como critério principal. No entanto, o facto de não existir ponderação dos pontos permite que um edifício que tenha obtido uma boa classificação numa determinada categoria e tenha o mínimo de desempenho permitido em outra possa obter uma boa classificação final, considerando o desempenho geral do edifício (Leed, 2015).

Áreas e objetivos:

- Localização sustentável: controlar a erosão e reduzir os impactos negativos na água e qualidade do ar. Adotar um plano de controlo da sedimentação e erosão para o terreno do projeto durante a construção;
- Eficiência hídrica: diminuir o consumo de água, desenvolvendo sistemas eficientes de irrigação e reutilização, para além de um programa de reeducação do uso da água;
- Energia e atmosfera: verificar e assegurar os elementos essenciais aos edifícios e que os sistemas sejam projetados, instalados e calibrados para operar como pretendido;
- Materiais e recursos: facilitar a redução do desperdício gerado pelos ocupantes do edifício;
- Qualidade ambiental interna: estabelecer um desempenho mínimo da qualidade do ar interno, para prevenir o desenvolvimento dos problemas em edificações provenientes da qualidade ambiental interna, mantendo a saúde e bem-estar dos ocupantes;
- Inovação e processo de design: utilizar os critérios supracitados sem constituir um problema à criação do projetista;
- Prioridade regional: determinar as diferentes prioridades ambientais entre diferentes regiões.
- Localização e transportes: diminuir o uso de transportes próprios e apostar mais em transportes coletivos.

Os níveis de certificação propostos pelo sistema LEED, de acordo com a pontuação obtida, são apresentados na Tabela 2.6 (Leed, 2015). Na Tabela 2.7 (Leed, 2015) indicam-se as classificações possíveis para as diferentes áreas de avaliação consideradas no Método LEED.

Tabela 2. 6 - Níveis de certificação do sistema LEED.

Níveis de certificação	
Certificado	40 a 49 Pontos
Prata	50 a 59 Pontos
Ouro	60 a 79 Pontos
Platina	80 a 110 Pontos

A certificação tem um período válido de cinco anos. Terminado este prazo é feita uma nova avaliação por um programa apropriado do *Green Building Council* dos Estados Unidos (USGBC), focada na avaliação da operação e gestão do empreendimento (Leed, 2015).

É de salientar que as pontuações mudam consoante o tipo de construção.

Tabela 2. 7 - Classificações para as áreas de avaliação do LEED.

Categoria	Pontos possíveis (peso%)
Processo Integrativo	2 (1.8%)
Localização e Transportes	17 (15.5%)
Localização Sustentável	9 (8.2%)
Eficiência Hídrica	13 (11.8%)
Energia e Atmosfera	30 (27.3%)
Materiais e Recursos	9 (8.2%)
Qualidade Ambiental Interna	18 (16.4%)
Desempenho	2 (1.8%)
Inovação	6 (5.5%)
Prioridade Regional	6 (3.6%)

2.3.4 – Método LiderA

O LiderA é um sistema de avaliação e reconhecimento voluntário de construção sustentável e ambiente construído e desenvolvido em Portugal.

O LiderA, acrónimo de Liderar pelo Ambiente para a construção sustentável, tem em vista efetuar de forma eficiente e integrada o apoio, avaliação e certificação do ambiente construído que procure a sustentabilidade.

Em 2005, foi disponibilizada a primeira versão (V1.02) do sistema, destinada ao edificado e ao respetivo espaço envolvente. Mais tarde foi desenvolvida uma nova versão V2.0 que permitiu o alargamento da aplicação do sistema, passando a poder ser aplicado não apenas ao edificado, mas também ao ambiente construído, espaços exteriores, bairros e comunidades sustentáveis (LiderA, 2015).

Estrutura do LiderA

O LiderA é um sistema de certificação ambiental que foi adaptado ao contexto económico, sociocultural e climático de Portugal e está organizado em várias vertentes que incluem áreas de intervenção, analisadas através de parâmetros que permitem avaliar e orientar os níveis de

sustentabilidade. Assim, o LiderA estabelece seis princípios de bom desempenho ambiental que abrangem as seis vertentes consideradas no sistema, indicados na Tabela 2.8 (LiderA, 2015).

Tabela 2. 8 - Princípios do sistema LiderA.

Princípios	
Princípio 1	Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração
Princípio 2	Fomentar a eficiência no uso dos recursos
Princípio 3	Reduzir o impacto das cargas (quer em valor, quer em toxidade)
Princípio 4	Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental
Princípio 5	Fomentar as vivências socioeconómicas sustentáveis
Princípio 6	Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação

As seis vertentes são traduzidas para vinte e duas áreas e quarenta e três parâmetros que avaliam os edifícios em função do seu desempenho a nível da sustentabilidade. As seis vertentes que se subdividem em vinte e duas áreas são apresentadas na Figura 2.2 (LiderA, 2015).

Para cada parâmetro são definidos os níveis de desempenho considerados, permitindo indicar o nível de sustentabilidade da solução. Os parâmetros têm igual importância dentro de cada área e para obter o valor da classificação final são ponderadas as vinte e duas áreas. Estas ponderações estão estipuladas previamente, onde a energia, água e solo assumem maior importância.



Figura 2. 2 - Áreas de avaliação do sistema LiderA

O sistema classifica o desempenho de A a G, sendo que o nível E representa a prática usual e o nível A representa o melhor desempenho ambiental. Para o sistema LiderA o grau de sustentabilidade é mensurável e passível de ser certificado em classes de bom desempenho, sendo elas C, B, A, A+ e A++ (LiderA, 2015).

Áreas de avaliação da sustentabilidade na construção do LiderA

Em comparação com os sistemas anteriores, o sistema LiderA é aquele que apresenta um maior número de áreas de avaliação da sustentabilidade na construção. Neste sistema, as áreas são agregadas segundo as seguintes vertentes: integração local, recursos, cargas ambientais, conforto ambiental, vivência socioeconómica e gestão ambiental e inovação. As diferentes vertentes consideradas e áreas de avaliação da sustentabilidade na construção contempladas no LiderA estão apresentadas na Tabela 2.9 (LiderA, 2015). Nesta tabela são ainda indicados os parâmetros de avaliação por área de avaliação considerada.

Tabela 2. 9 - Vertentes, áreas e parâmetros de intervenção do sistema LiderA.

Vertentes	Áreas de Avaliação	Parâmetros de Avaliação
Integração local	Solo	Valorização territorial; otimização ambiental da implantação
	Ecossistemas naturais	Valorização ecológica; interligação de habitats
	Paisagens e património	Integração paisagística; proteção e valorização do património

Tabela 2. 9 - Vertentes, áreas e parâmetros de intervenção do sistema LiderA (Cont).

Recursos	Energia	Certificação energética; eficiência energética
	Água	Consumo de água potável; gestão das águas locais
	Materiais	Durabilidade; materiais locais, materiais de baixo impacto
	Alimentares	Produção local de alimentos
Cargas ambientais	Efluentes	Tratamento de águas residuais, caudal de reutilização de águas usadas
	Emissões atmosféricas	Caudal de emissões atmosféricas - partículas e/ou substâncias com potencial acidificante (SO ₂)
	Resíduos	Produção de resíduos; gestão e reciclagem de resíduos perigosos
	Ruído exterior	Fontes de ruído para o exterior
	Poluição ilumino-térmica	Efeitos térmicos e luminosos
Conforto ambiental	Qualidade do ar	Níveis de qualidade do ar
	Conforto térmico	Conforto térmico
	Iluminação e acústica	Níveis de iluminação; Isolamento acústico
Vivência socioeconómica	Acesso para todos	Acesso aos transportes públicos; Mobilidade de baixo impacto
	Custo no ciclo de vida	Baixos custos no ciclo de vida

	Diversidade económica e local	Flexibilidade - adaptabilidade aos usos; dinâmica económica; trabalho local
	Amenidades e interação social	Amenidades locais; interação com a comunidade
	Participação e controlo	Capacidade de controlo; governança e participação; Controlo de riscos naturais e ameaças humanas
Gestão ambiental e inovação	Gestão ambiental	Condições de utilização ambiental; sistemas de gestão ambiental
	Inovação	Inovações

As ponderações por área de avaliação da sustentabilidade na construção de cada uma das vertentes consideradas no LiderA são apresentadas na Tabela 2.10 (LiderA, 2015).

Tabela 2. 10 - Ponderações do sistema LiderA.

Vertentes	Áreas de Avaliação da Sustentabilidade na construção	Ponderações
Integração local	Solo	7%
	Ecossistemas Naturais	5%
	Paisagens e Património	2%
Recursos	Energia	17%
	Água	8%
	Materiais	5%
	Alimentares	2%
Cargas ambientais	Efluentes	3%
	Emissões Atmosféricas	2%
	Resíduos	3%
	Ruído Exterior	3%
	Poluição Ilumino-térmica	1%

Tabela 2. 10 - Ponderações do sistema LiderA (cont.).

Conforto ambiental	Qualidade do ar	5%
	Conforto térmico	5%
	Iluminação e acústica	5%
Vivência socioeconómica	Acesso para todos	5%
	Custo no ciclo de vida	2%
	Diversidade económica e local	4%
	Amenidades e Interação social	4%
	Participação e Controlo	4%
Gestão ambiental e inovação	Gestão Ambiental	6%
	Inovação	2%

2.4 – A importância da energia na avaliação da construção sustentável

De um ponto de vista genérico, os diversos sistemas de avaliação referidos anteriormente centram-se na análise dos seguintes indicadores: local e integração, cargas ambientais e impacto da envolvente, recursos, ambiente interior, planeamento, aplicabilidade e adaptabilidade, gestão ambiental e inovação e aspetos políticos e socioeconómicos.

O número e tipo de parâmetros correspondentes a cada um destes indicadores variam de sistema para sistema de avaliação. Os parâmetros em comum nos quatro sistemas de avaliação referidos são:

- Conforto térmico;
- Emissões atmosféricas;
- Resíduos da construção;
- Água;
- Energia;
- Materiais.

Através da análise dos fatores de ponderação dos vários métodos, constata-se que a Energia assume um dos valores de ponderação mais elevados. Isto demonstra a relevância do uso eficiente da energia como forma de atingir uma construção sustentável.

Por estes motivos, torna-se importante estudar o desempenho energético dos edifícios e estabelecer estratégias de melhoria da eficiência energética, com vista à concretização dos objetivos da construção sustentável.

3 – O setor dos edifícios em Portugal e o seu desempenho energético

A realidade do setor da construção em Portugal pode ser analisada sob quatro prismas: construtivo, social, económico e energético.

3.1 – A realidade construtiva

Segundo as estimativas do parque habitacional realizadas pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), no ano de 2013, o parque habitacional português era constituído por 3,6 milhões de edifícios a que correspondiam 5,9 milhões de alojamentos. A distribuição do número de alojamentos por tipologia é a apresentada na Figura 3.1 (INE, 2014).

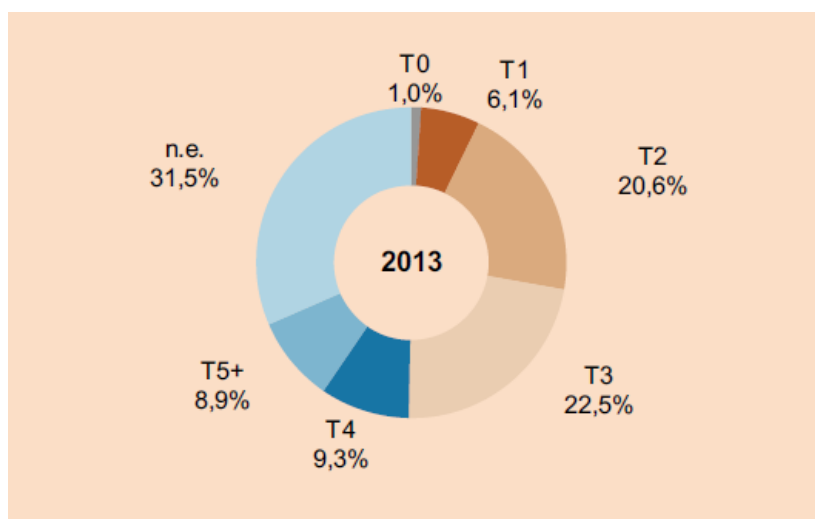


Figura 3. 1 - Distribuição do número de alojamentos segundo a tipologia, Portugal 2013.

De acordo com os resultados dos Censos 2011, o número de edifícios destinados à habitação era de 3 544 389 e o número de alojamentos ficou nos 5 878 756. Face ao recenseamento de 2001, observou-se um aumento de 12,2 % e 16,3% respetivamente, o que significa que há mais 384 346 edifícios e 823 834 alojamentos (INE, 2012).

A dimensão média dos edifícios tem vindo sempre a crescer ao longo das décadas. Em 2011, havia 1,7 alojamentos por edifício, onde o número médio de pisos por edifício era de 1,89.

Os alojamentos destinados à habitação enquadravam-se, principalmente, em edifícios construídos para possuir 1 ou 2 alojamentos (57,8 %), enquanto os alojamentos em edifícios

construídos para possuírem 3 ou mais alojamentos representavam 41,5%, em termos nacionais. A média de alojamentos por edifício era de 1,6.

O estado de conservação dos edifícios, de acordo com os critérios aplicados nos Censos 2011, revela que apenas 1,7% dos edifícios se encontravam muito degradados e 27,3% necessitavam de reparações. A maioria dos edifícios, 71% encontravam-se em bom estado de conservação e não necessitava de reparações.

No que respeita à distribuição de edifícios segundo a época de construção, os resultados encontram-se apresentados na Tabela 3.1 (INE, 2012).

Tabela 3. 1 - Distribuição dos edifícios por época de construção.

Época de construção	Antes de 1919	1919-1945	1946-1970	1971-1990	1991-2000	2001-2011	Total
Número de edifícios	206 343	305 696	796 171	1 167 703	558 471	510 005	3 544 389

Verifica-se, então, que a maior percentagem de edifícios do parque habitacional português em 2011 pertencia às construções realizadas no período entre 1946 e 1990.

Através das diferentes épocas construtivas dos edifícios em Portugal, podem também identificar-se quais os principais materiais utilizados na construção. Em termos de estrutura de construção esta divide-se em estrutura de betão armado, paredes de alvenaria com placa, paredes de alvenaria sem placa, paredes de alvenaria de pedra solta ou adobe e outros tipos. No que diz respeito ao tipo de revestimento exterior, este pode ser constituído por reboco tradicional ou marmorite, pedra, ladrilho cerâmico ou mosaico e outros. Por fim, encontram-se diferentes tipos de coberturas como as coberturas em terraço, inclinadas (revestidas com telhas cerâmicas ou de betão ou outros materiais) e mistas (inclinada e terraço) (INE, 2012).

Os edifícios com maiores necessidades de reparação são aqueles que foram construídos entre 1946 e 1990. As regiões Norte e Centro são as que apresentam maior número de edifícios muito degradados e com grande necessidade de reparação, consequência da maior densidade de construção presente nessas zonas. O estado de degradação dos edifícios em Portugal, de acordo com os resultados dos Censos 2011, são os apresentados na Figura 3.2 (INE, 2012).

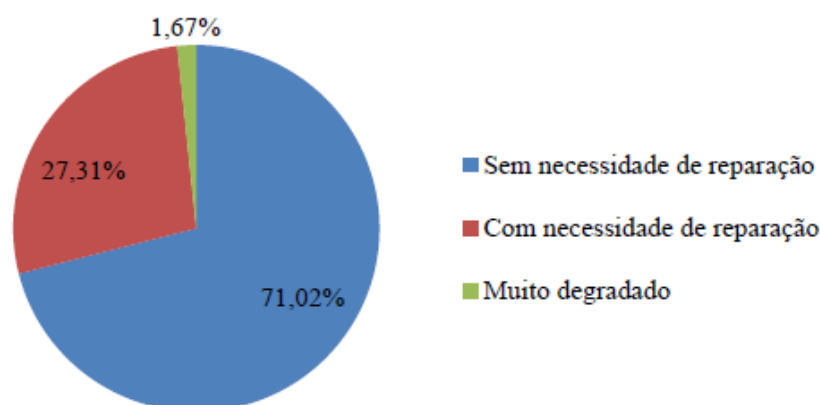


Figura 3. 2 - Estado de degradação dos edifícios em Portugal, 2011.

O índice de envelhecimento dos edifícios apurado através dos Censos 2011 é de 176, o que significa que o número de edifícios construídos até 1960 é menos do dobro do que aqueles que foram construídos na última década (após 2001).

Segundo o INE, cerca de 38,7% do património edificado é anterior à década de 70 e apresenta sinais de degradação, quer construtiva, quer, em alguns casos até estrutural, nomeadamente por falta de intervenções de manutenção.

O facto de haver um elevado número de habitações a necessitar de intervenção abre grandes possibilidades à reabilitação de edifícios para que se possa melhorar as condições de segurança e conforto nas habitações.

Uma vez que as residências secundárias ultrapassaram na última década o milhão de alojamentos os quais representam 19,3% do total de alojamentos do país e que cerca de 12,6 % do total de alojamentos estão vagos poderá justificar-se que a aposta na melhoria da qualidade do parque edificado surge como resposta necessária e urgente perante o estado de conservação em que se encontra o parque habitacional.

No que respeita às 25 931 obras concluídas durante o ano de 2012, verificou-se que 56,7% deste valor correspondiam a edifícios em construções novas para habitação familiar, dos quais 91,8% eram moradias. Ainda que as construções novas continuem a predominar no que diz respeito ao parque edificado, 73,2% do total de todas as construções, tem-se verificado um aumento da reabilitação que continua a ser uma aposta crescente no sector da construção. Em 2012, 26,8% das obras concluídas correspondiam a reabilitações, valor que cresceu em relação ao ano de 2011 onde esta percentagem se situava nos 25,9%.

3.2 – A realidade social e económica²

O envelhecimento da população é hoje um dos fenómenos demográficos mais preocupantes nas sociedades modernas, seguido do aumento das famílias de menor dimensão.

A idade média da população aumentou 3 anos numa década, e é agora de 41,8 anos. Em 2011, o índice de envelhecimento da população era de 128, o que significa que por cada 100 jovens existiam 128 idosos, consequência do aumento da percentagem do número de idosos (19%) e recuo da percentagem de jovens (15%).

O índice de longevidade, que relaciona a população com 75 ou mais anos com o total da população idosa com 65 ou mais anos era, em 2011, de 48, face a 41 em 2001 e 39 em 1991. Em 2011 a dimensão média das famílias era de 2,6.

Mais de 50% dos alojamentos com encargos por compra, tinham encargos mensais entre os 250 e os 500 Euros, sendo que em 17,5% dos casos se situavam entre 400-499 Euros. Em 5,6% dos casos os encargos eram superiores a 800 Euros, peso idêntico ao dos alojamentos com encargos inferiores a 100 Euros.

Em 2011 o valor médio mensal de encargos por compra do alojamento era cerca de 395 Euros. As famílias clássicas constituídas por um só elemento, representavam em 2011 cerca de 21% do total de famílias e têm vindo a aumentar nas últimas décadas. Em 2011 foram recenseadas 866 827 famílias unipessoais.

Perante a atividade económica, 42% da população total encontrava-se na situação de empregada, 6% na condição de desempregada e 52% na situação de inatividade.

A população reformada e a população com menos de 15 anos representavam, respetivamente, 32% e 29% do total da população em situação de inatividade. Os restantes 29% abrangia população com menos de 15 anos, estudantes com 15 ou mais anos, domésticos/as e outra.

A maioria dos alojamentos de residência habitual, 73%, é ocupada pelo seu proprietário e 20% são habitações arrendadas. Os restantes alojamentos enquadram-se em diferentes situações, nomeadamente empréstimos/cedências.

Principal fonte de rendimento

De acordo com os resultados dos Censos 2011, para 48% da população residente com 15 ou mais anos, a principal fonte de rendimento nos 12 meses, que antecederam o momento

² Extraído de INE, 2012.

censitário foi o trabalho, seguindo-se as pensões e reformas para 27% da população. 18% da população com 15 e mais anos vivia a cargo da família.

o subsídio de desemprego e o rendimento social de inserção foram, respetivamente, a principal fonte de rendimento para 3,3% e 1,1% da população residente com 15 ou mais anos.

O facto de os alojamentos não serem ocupados aumenta o risco de degradação e da falta de manutenção contribuindo para uma eventual intervenção de reabilitação mais célere. Também não é indiferente o alojamento ser utilizado pelo proprietário ou ser alugado, visto este fator poder ter influência na manutenção do alojamento/edifício (INE, 2012).

3.3 – A realidade energética

A Figura 3.3 apresenta os dados relativos à desagregação, por setor, do consumo de energia final verificado em Portugal (DGEG, 2015b).

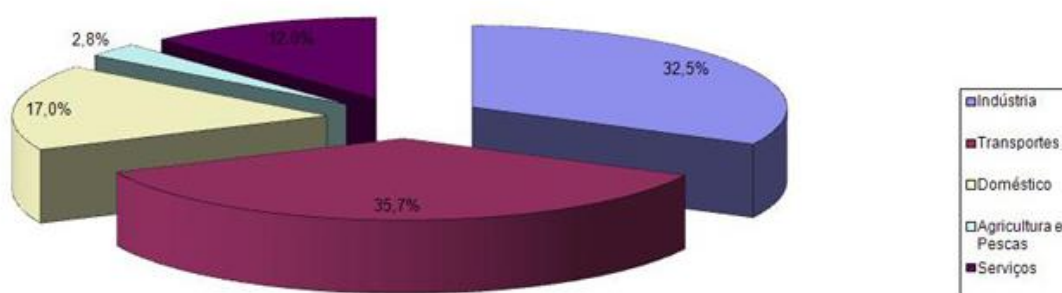


Figura 3. 3 - Consumo de energia final por setor (%), 2012.

Os dados da caracterização energética nacional permitem concluir que, no setor doméstico se verificou um aumento do consumo de energia elétrica por unidade de alojamento (2 182 kWh/alojamento em 2012 contra 2 338 kWh/alojamento em 2011) (DGEG, 2015b). Os mesmos dados permitem obter os seguintes indicadores energéticos para 2012:

- Consumo de eletricidade *per capita* de 4,4 tep /hab.
- Consumo de energia final *per capita* de 1,5 tep / hab.
- Intensidade em energia final de 98 tep / M € 2006.

Em 2010 o setor doméstico foi responsável por 17,7% do consumo de energia final em termos nacionais, representando cerca de 30% do consumo de eletricidade, o que evidencia logo a necessidade de moderar especialmente o consumo elétrico (INE e DGEG, 2011).

A ineficiência dos eletrodomésticos utilizados contribui fortemente para o elevado consumo de eletricidade no setor doméstico. No entanto, os maus hábitos de utilização dos eletrodomésticos, como, por exemplo, o não controlo de dispositivos que mesmo quando desligados possuem elementos que continuam a gastar energia (como a iluminação de *standby*) contribuem também para esse elevado consumo. No que se refere às máquinas de lavar roupa e loiça, por vezes uma boa eficiência energética não é conseguida porque no momento da compra dos eletrodomésticos não é dada a devida atenção à classe energética dos mesmos, mas apenas ao custo imediato do eletrodoméstico. É necessário considerar o consumo a longo prazo para saber se a diferença de preço efetivamente compensa.

Em 2010 o consumo de energia elétrica nos edifícios residenciais distribuía-se conforme mostrado na Figura 3.4 (INE e DGEG, 2011).

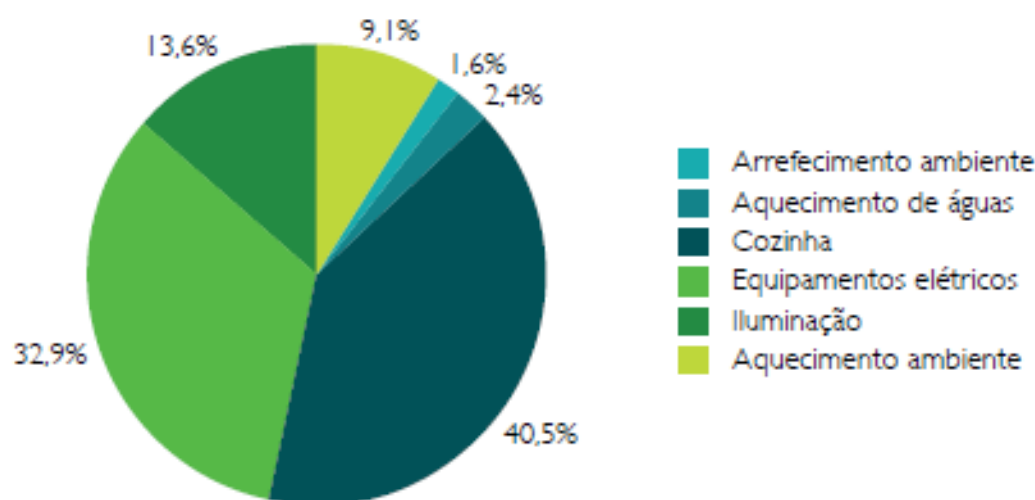


Figura 3. 4 - Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais, em Portugal, no ano de 2010.

De acordo com o INE, em 2011, as taxas de posse de equipamentos de apoio ao trabalho doméstico pelos agregados familiares eram as apresentadas na Figura 3.5 (INE, 2012).

Com o aumento aparente do nível de vida e consequente aumento da exigência de conforto térmico, em conjunto com o desenvolvimento tecnológico, prevê-se que o consumo devido à climatização aumente de forma gradual.

Devido à ocorrência de temperaturas cada vez mais elevadas durante o verão e temperaturas cada vez mais reduzidas durante o inverno, é de esperar uma maior utilização deste tipo de equipamento de climatização.

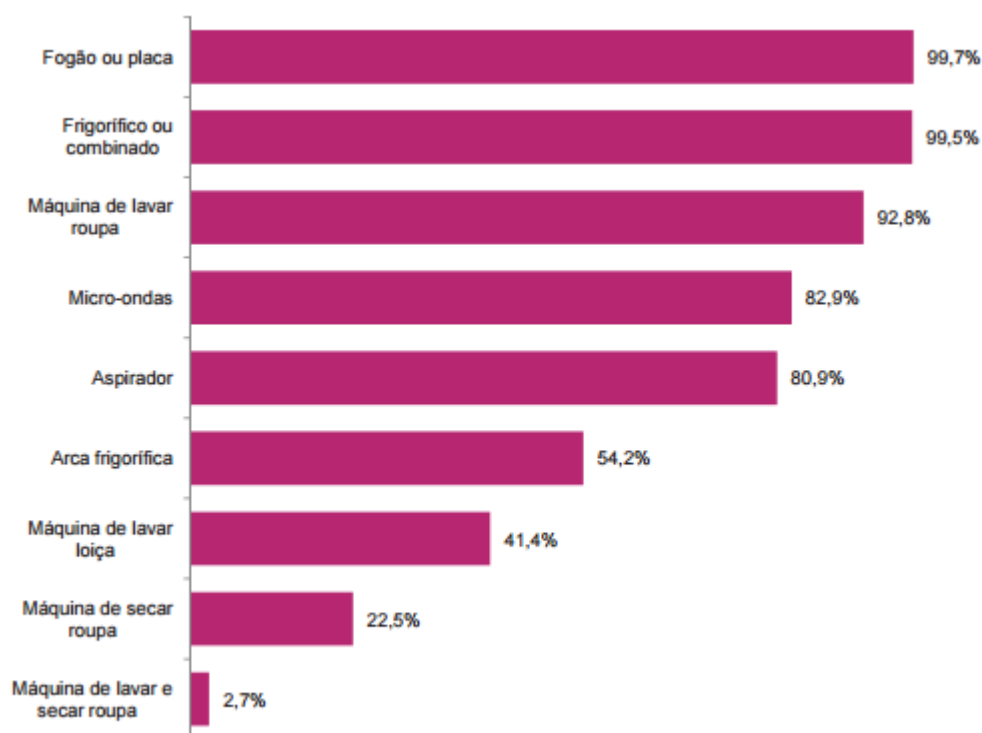


Figura 3. 5 - Agregados familiares com equipamentos de apoio ao trabalho doméstico.

4 – Reabilitação Energética de Edifícios

Ao longo do terceiro capítulo analisaram-se as principais características do parque habitacional português, sendo de realçar o acentuado acesso à propriedade, o decréscimo do mercado do arrendamento (ver 3.2) e uma percentagem elevada de alojamentos vagos (dos quais, uma parte significativa se encontra em estado de degradação).

Da análise efetuada, é possível constatar que existem desequilíbrios quantitativos no parque habitacional, assim como a ausência de um sistema de definição de qualidade na construção, particularmente relevante num contexto de crescentes exigências ao nível da sustentabilidade.

O edificado existente não pode simplesmente ser abandonado ou transformado em mais toneladas de resíduos por tratar. Pelo contrário, a sua reabilitação é, para além de um ato de valorização dos recursos históricos, uma oportunidade para promover a sustentabilidade ambiental. Será portanto desejável desenvolver intervenções de reabilitação do meio edificado que conciliem a preservação do património, a atualização das condições de funcionalidade e conforto, e a melhoria do desempenho ambiental e energético.

A melhor forma de preservar os edifícios é mantê-los em uso, sendo a reabilitação muitas vezes a única forma de o concretizar.

Segundo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) a reabilitação refere-se à intervenção que confere ao edifício uma qualidade [térmica e energética] superior à que possuía aquando da sua construção (Santos, 2012).

Os principais objetivos a considerar na reabilitação de edifícios são (Santos, 2012):

- Melhoria das condições de conforto térmico (passivo);
- Redução (limitação do crescimento) dos consumos de energéticos (aquecimento arrefecimento, (AQS), equipamentos domésticos);
- Correção de situações anómalas (patologia construtiva e ambiental);
- Beneficiação imposta regulamentarmente.

A eficiência energética de edifícios envolve a redução do consumo de energia para níveis aceitáveis de conforto, da qualidade do ar e de outros requisitos ocupacionais.

A reabilitação energética de um edifício existente é, portanto, uma abordagem inovadora, que tem por objetivo melhorar a qualidade térmica e racionalizar a gestão da energia, ou seja,

conferir a esse edifício uma eficiência energética idêntica à de um edifício novo para o mesmo fim.

O conhecimento técnico atual já identifica e aponta medidas que permitem reduzir os consumos energéticos, otimizar balanços energéticos e melhorar de forma muito significativa as condições de conforto e salubridade dos utilizadores. Contudo, existem alguns fatores que contribuem para o desempenho energético dos edifícios e que nos edifícios existentes muitas vezes não são possíveis de alterar, como a orientação ou a zona climática.

A intervenção no edifício recorrendo a estas medidas designa-se por reabilitação energética e engloba medidas de três grandes grupos: medidas a aplicar na envolvente dos edifícios; nos equipamentos (sistemas de climatização e aquecimento de AQS) e na produção de energia a partir de fontes renováveis.

4.1 – Aspetos do edifício que afetam o seu desempenho energético

Quando se analisa a possibilidade de incluir medidas de eficiência energética num edifício é importante não só considerar o seu grau de deterioração, devido a diversos fatores, como o envelhecimento natural dos materiais ou a falta de manutenção, mas também que as características atuais dos edifícios podem conduzir a uma redução do seu desempenho térmico e a consumos de energia elevados, quer na estação fria, quer na estação quente (Comini *et al*, 2008).

Entre as características do edifício, devem-se mencionar as seguintes (Comini *et al*, 2008):

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Presença de humidade (afetando o desempenho energético e a durabilidade);
- Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas (perdas de calor desproporcionadas por transmissão térmica e por infiltrações de ar excessivas);
- Falta de proteções solares adequadas nos vãos envidraçados, dando origem a sobreaquecimento no interior dos edifícios ou aumento das cargas térmicas e das necessidades energéticas no caso de habitações com sistemas de arrefecimento ambiente;
- Ventilação não-controlada, criando maiores necessidades energéticas em aquecimento no inverno, ou inversamente, ventilação insuficiente, conduzindo a maiores níveis de humidade relativa no inverno e sobreaquecimento no verão, e o consequente

desconforto dos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar interior.

Para além do anteriormente referido, elevados níveis de consumo de energia podem ser causados por comportamentos inadequados, em termos da conservação de energia, por parte dos seus utentes, tais como:

- Manutenção dos sistemas de aquecimento e/ou de arrefecimento ligados, enquanto as janelas estão abertas;
- Climatização desnecessária dos espaços, permitindo temperaturas interiores fora dos níveis recomendados, isto é, demasiado quentes no inverno e demasiado frios no verão.

4.1.1 – Localização do edifício

A localização do edifício é muito importante no que respeita às necessidades térmicas do espaço interior. Estas necessidades estão contempladas no RCCTE, que estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos (ADENE, 2015).

Segundo o RCCTE, o território nacional é dividido em nove zonas climáticas, onde são combinadas três zonas de inverno (I) e três zonas de verão (V) (Figura 4.1). A numeração atribui o grau de severidade do clima no inverno e no verão, a qual vai do menos severo, número 1, até ao mais severo, número 3 (Comini *et al*, 2008).

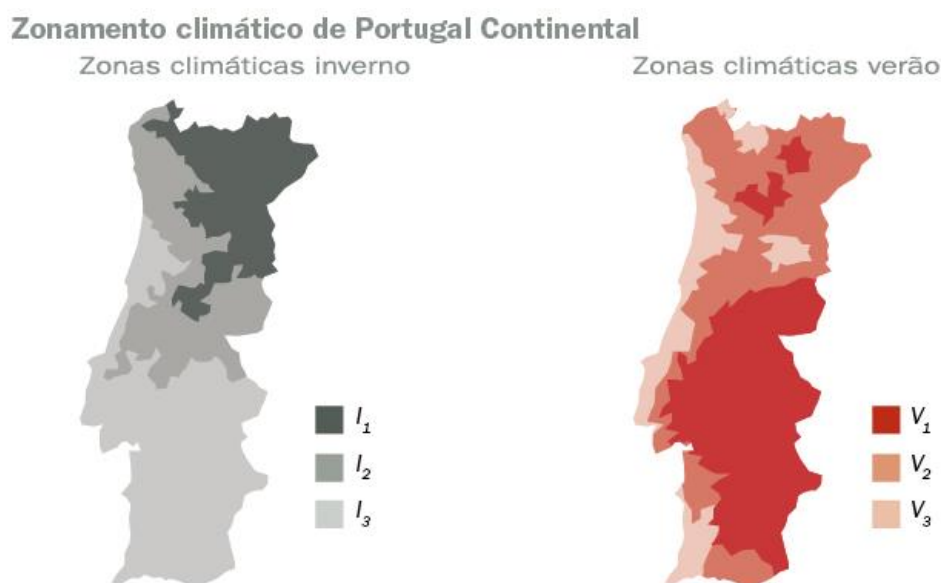


Figura 4. 1 - Distribuição das zonas climáticas em Portugal Continental.

4.1.2. – Orientação, captação solar e sombreamento

O sol representa uma fonte de calor e luz que pode ser aproveitada na construção, de modo a ser usada eficientemente, contribuindo para um melhor desempenho do edifício.

A capacidade que um edifício tem de captar a radiação solar nos períodos onde existe maior necessidade de energia, na estação fria, e de ter menos superfície exposta ao sol quando existe necessidade de dissipar calor, na estação quente, determina o grau de conforto oferecido aos ocupantes e os consequentes consumos de energia.

Em edifícios de habitação, as divisões onde se verifique a permanência de pessoas, em especial durante o período diurno, devem ter vãos envidraçados orientados para os quadrantes onde a intensidade solar seja maior (Sul, Nascente e Poente), enquanto as restantes divisões, garagens, arrumos e espaços de circulação devem ser orientados a Norte (DGEG, 2004; Comini *et al*, 2008).

Seguidamente é apresentada a Tabela 4.1 (Comini *et al*, 2008) que foi desenvolvida para edifícios novos, em que são considerados valores adequados dos vãos envidraçados com vidros duplos e com dispositivos de sombreamento, devendo ser tido em atenção, porque como já foi referido neste capítulo, que em reabilitação cada caso é um caso

Tabela 4. 1 - Orientação e captação solar.

Orientação	Considerando só Aquecimento	Aquecimento e Arrefecimento
Norte	20%	15%
Sul	40%	30%
Este/Oeste	25%	20%

Para aproveitar o sol como fonte de calor durante o inverno, deve-se ter em conta a situação inversa, ou seja, a situação de sobreaquecimento no verão. Neste sentido, a proteção solar é quase sempre imprescindível para evitar o chamado “efeito de estufa”, ou seja, o aquecimento excessivo no interior da habitação gerado pelos raios solares que atravessam o vidro e que são posteriormente impedidos de sair pelo mesmo. O sombreamento pode ser feito pelo interior ou pelo exterior, impedindo a incidência parcial ou total de radiação solar, funcionando como uma barreira (Construção Sustentável, 2012).

4.1.3 – Características da construção

As condições de conforto interior de um edifício estão relacionadas com o tipo de materiais utilizados na construção da envolvente. Deste modo, a inércia térmica³ do material e o seu poder isolante são as principais características que devem ser tidas em consideração, relativamente aos ganhos e perdas energéticas.

A seleção de bons isolamentos de paredes, pavimentos e coberturas faz com que a necessidade de climatizar os espaços diminua substancialmente, possibilitando a redução dos consumos energéticos associados aos equipamentos de climatização. O isolamento das paredes pode ser feito pelo exterior, pelo interior ou colocado na caixa-de-ar.

As coberturas são as superfícies da envolvente que mais contribuem para a perda de calor na habitação. O isolamento térmico de uma cobertura apresenta baixos custos e elevados benefícios em termos de poupança energética.

Uma boa intervenção ao nível dos pavimentos proporciona a correção das pontes de calor além de que apresenta um tempo de duração relativamente longo (Comini *et al*, 2008).

O dimensionamento adequado das áreas envidraçadas, em função da orientação solar, é uma medida que contribui consideravelmente para o conforto térmico das habitações. As áreas envidraçadas são a componente do edifício que permite a interação mais direta com o clima devendo, por isso, ser adequadas ao respetivo clima.

Estima-se que 25% a 30% das necessidades de aquecimento são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados (Comini *et al*, 2008).

Os parâmetros mais importantes a considerar nos envidraçados são: a área da superfície envidraçada, o tipo de vidro utilizado e o tipo de caixilharia.

A capacidade de isolamento da janela é dada pelo tipo de vidro que esta apresenta. Deste modo, janelas com vidros duplos têm maior capacidade de isolamento do que os vidros simples, pois o espaço de ar existente entre os vidros reduz substancialmente as perdas de calor. Geralmente, quanto maior o espaçamento, maior é o poder isolante do vidro (Comini *et al*, 2008; Construção Sustentável, 2012).

³ Inércia térmica - capacidade que o edifício tem de contrariar as variações de temperatura no seu interior, ou seja, de reduzir a transferência ou transmissão de calor. Isto acontece devido à sua capacidade de acumular calor nos elementos construtivos. A velocidade de absorção e a quantidade de calor absorvida determina a inércia térmica dum edifício.

A cor utilizada na superfície da habitação também influencia a carga térmica a que o edifício está sujeito, e com isso, o conforto térmico dos seus habitantes. A escolha da cor do revestimento é uma técnica utilizada já pelos nossos antepassados para contrariar as adversidades climáticas mais extremas no verão.

A radiação que incide na superfície de um edifício pode ser absorvida ou refletida para o ambiente, pelo material que a integra. A parte que é absorvida contribui para o aumento da carga térmica que passa para o interior do edifício, promovendo o seu aquecimento. Uma superfície lisa de cor preta absorve cerca de 90% da radiação solar incidente, ao passo que uma superfície branca absorve cerca de 20% da radiação que nela incide. Assim, ao serem escolhidas cores claras para o revestimento, grande parte da radiação que incide na superfície do edifício durante a estação de arrefecimento é refletida (Comini *et al*, 2008).

4.1.4 – A iluminação natural e artificial

A luz natural é a forma mais fácil e menos dispendiosa de iluminar um espaço, uma vez que provém de uma fonte de energia inesgotável, o sol.

Num edifício, todos os espaços devem ser localizados, orientados e organizados com o objetivo de tirar o maior partido possível da iluminação natural. É igualmente importante que todos os espaços constituintes das edificações possuam vãos envidraçados de iluminação com um posicionamento e dimensionamento adequados, tendo em conta as atividades que se irão desenvolver (DGEG, 2004).

Uma incorreta localização dos vãos envidraçados num edifício trará menores níveis de aproveitamento da iluminação natural e, conseqüentemente, maiores custos associados à iluminação artificial. É, por isso, bastante importante potenciar a utilização da luz solar por forma a conseguir uma redução dos consumos energéticos associados à iluminação.

Os custos associados à iluminação nas habitações representam 13,6% do total da fatura energética (INE e DGEG, 2011).

Com base no estudo realizado pela Quercus no projeto EcoFamílias pode verificar-se que o tipo de lâmpadas mais utilizadas para a iluminação artificial são as fluorescentes compactas (35,1%), como se pode verificar pelo gráfico da Figura 4.2 (Ecocasa, 2011). De acordo com o mesmo estudo, a representação das incandescentes diminuiu de cerca de 46% em 2007 para 22,5% em 2011. A elevada percentagem de lâmpadas de halogéneo (30,0%) deve-se à

presença de candeeiros que utilizam muitas destas lâmpadas e ao facto dos corredores e halls das habitações mais recentes terem tetos falsos com este tipo de lâmpadas.

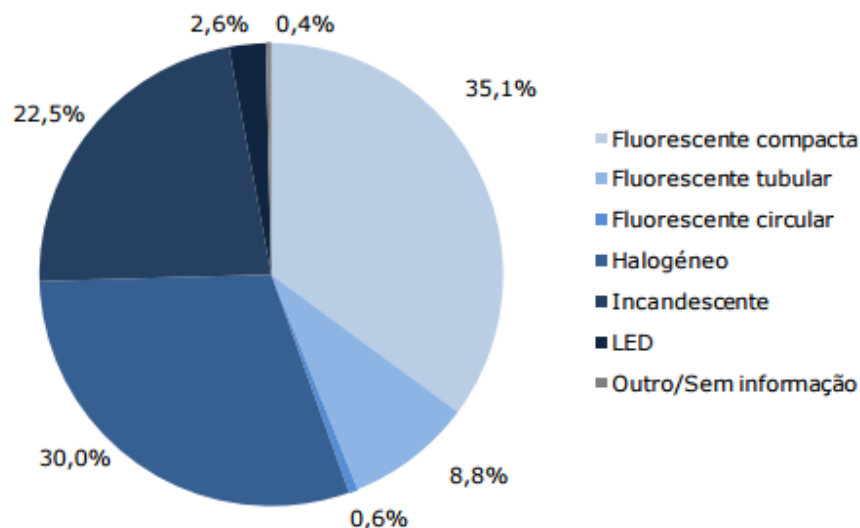


Figura 4. 2 - Tipologia de lâmpadas encontrada nas habitações.

4.1.5 – Conforto térmico

O desempenho térmico das habitações é uma questão cada vez mais importante para os utilizadores, uma vez que são estes que têm de suportar os custos do consumo energético adicional nos períodos em que as temperaturas são extremas.

A falta de conforto térmico no interior das habitações é provocada por diversos fatores, tais como (Mateus, 2012):

- Alterações climáticas caracterizadas por estações extremas (verão e inverno);
- Alterações sociais e económicas que levaram a que as habitações estivessem menos tempo ocupadas, impossibilitando a garantia de uma contribuição energética constante;
- Ausência de legislação e de preocupação com o conforto ambiental das habitações por parte dos projetistas, empreiteiros e donos de obra.

Um dos principais problemas responsáveis pela falta de conforto térmico nas habitações é o insuficiente isolamento térmico. As habitações construídas sem qualquer tipo de isolamento nos elementos opacos da sua envolvente são em grande número.

As pontes térmicas são pontos localizados na envolvente do edifício onde há maior perda de calor em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente. Este fenómeno aumenta o consumo de energia para aquecimento e pode causar danos na envolvente do edifício, reduzindo a sua durabilidade (DGEG, 2004).

Em outros casos, apesar de possuírem isolamento térmico em paredes e coberturas, apresentam, no entanto, uma baixa resistência térmica devido à insuficiente espessura do mesmo, sujeitando os utilizadores a recorrer a equipamentos de climatização complementares para fazer face aos períodos com temperaturas mais extremas (Mateus, 2012 e Construção Sustentável, 2012).

4.1.6 – Ventilação e climatização

Tendo em vista a eficiência energética de um edifício, também é importante dispor de uma troca de ar nas condições consideradas ideais. A mistura e a renovação do ar nos espaços com ventilação adequada permite uma redução da humidade e do grau de contaminação do ar, contribuindo para um maior conforto. Uma casa insuficientemente ventilada poderá gerar humidade através dos vapores que se formam, afetando o conforto e a saúde dos seus habitantes (Comini *et al*, 2008).

Existem dois tipos de ventilação: a natural e a forçada. As diferenças de temperatura e de pressões entre diferentes divisões da habitação promovem a ventilação natural, renovando o ar, sendo necessárias aberturas exteriores que permitam a entrada de ar novo, entre divisões opostas. A ventilação forçada (ou mecânica) promove a renovação de ar entre espaços em que não é possível utilizar a ventilação natural (Comini *et al*, 2008).

Com a revisão da legislação, operada pelo Decreto-Lei n. 118/2013, deixou de ser obrigatória a certificação da Qualidade do Ar Interior.

Salienta-se ainda que, face às condições climatéricas do nosso país, a ventilação natural deve ser privilegiada face aos equipamentos de ventilação forçada, numa ótica de otimização de recursos, de eficiência energética e de redução de custos.

Nas habitações produzem-se grandes quantidades de vapor de água, particularmente em instalações sanitárias e cozinhas.

Se uma casa for insuficientemente ventilada, o vapor de água em excesso não poderá ser totalmente removido e tende a condensar quando atinge qualquer ponto com uma temperatura abaixo do ponto de orvalho⁴ do ar interior (condensação superficial) (DGEG, 2004).

O conforto térmico de uma casa é um fator determinante para a qualidade de vida de quem a habita. Assegurá-lo implica recorrer, na maior parte das vezes, a sistemas de climatização que regulam a temperatura e a humidade do ambiente interior.

As temperaturas consideradas de conforto para uma casa variam entre os 18°C e 22°C, no inverno e os 24°C e 26°C, no verão.

Daí que a escolha do melhor sistema de climatização para a habitação deva começar, se possível, na construção. De facto, quanto melhor for a qualidade dos elementos construtivos, menor será a necessidade futura de recorrer a climatização artificial, o que se refletirá numa redução da fatura energética e consequentemente da ambiental.

Um bom isolamento térmico evita as perdas de calor e as infiltrações, reduzindo a necessidade de investir em sistemas de climatização e/ou reduzindo a sua utilização.

A seleção do equipamento a instalar deverá considerar a potência adequada, tendo por base as necessidades de aquecimento da habitação, a dimensão, a tipologia, o clima da região, o tipo de construção e o número de pessoas a que se destina (EDP, 2006; Ecocasa, 2015b).

4.1.7 – Equipamentos

A caracterização do tipo de equipamentos elétricos que existe na habitação é de extrema importância visto representar um grande potencial de poupança, caso haja uma correta utilização dos mesmos, ou até mesmo a sua substituição.

Os equipamentos domésticos que apresentam maior potencial no que diz respeito à poupança energética são os equipamentos de frio (como os frigoríficos/combinados e congelador), a iluminação e os equipamentos audiovisuais (em grande parte, devido ao consumo dos mesmos em *standby*) (Comini *et al*, 2008).

Com o passar dos anos tem-se assistido a uma degradação acentuada do parque habitacional português que, estando o mercado da construção cada vez mais saturado, tem levado a que este se apresente progressivamente mais envelhecido. Tal facto tem conduzido a que se

⁴ Ponto de orvalho - designa a temperatura à qual o vapor de água presente no ar ambiente passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas por via da condensação, o chamado orvalho.

tenham vindo a perder importantes características dos edifícios ao nível da sua funcionalidade, salubridade e qualidade.

Enquanto os equipamentos elétricos funcionam, de forma geral, com eficiências mais ou menos constantes ao longo da vida, sem muita necessidade de manutenção específica, em equipamentos que funcionem com queima de um combustível ou com circuitos de refrigeração, sujeitos a fugas e a acumulação de sujidade nas superfícies de transferência de calor, é necessário garantir uma manutenção periódica eficaz para garantir o funcionamento com a eficiência nominal desses equipamentos.

É importante pois, que sejam implementadas medidas que visem a obrigatoriedade da manutenção e da conservação dos equipamentos e dos edifícios. Desta forma, aumentar-se-á o período de vida útil dos mesmos, reduzindo os custos energéticos de funcionamento e aumentando deste modo, a qualidade de vida e segurança dos habitantes (ADENE, 2015).

4.1.8 – Águas quentes sanitárias e águas pluviais

O aquecimento de água é um processo no qual é consumida uma grande quantidade de energia, pelo que a seleção e utilização eficiente destes sistemas apresenta um grande impacto no consumo de energia dos edifícios.

Existem dois tipos principais de sistemas de AQS: os sistemas “instantâneos” (os esquentadores a gás, elétricos e as caldeiras murais) e os sistemas de acumulação (a caldeira, a bomba de calor, os termoacumuladores de resistência elétrica e ainda os painéis solares).

Os sistemas “instantâneos” aquecem a água quando tal é solicitado.

Os sistemas de acumulação mais usados na produção centralizada de AQS são os sistemas de caldeira com acumulador integrado. A água, uma vez aquecida, é armazenada para uso posterior num tanque acumulador isolado. As suas vantagens principais residem no facto de evitarem o permanente “pára-arranca”, trabalhando de forma contínua; de serem mais eficiente e de a água quente acumulada permitir utilizações simultâneas mantendo os níveis de conforto (Comini *et al*, 2008).

As perdas de água estão associadas, muitas das vezes, à inadequada escolha de materiais para os sistemas de abastecimento de água na fase de projeto ou à sua incorreta instalação.

O facto de muitas habitações possuírem tubagens de fraca qualidade, com baixa resistência e a elevadas temperaturas, pode antecipar a degradação dos materiais, causando perdas de água

constantes, e, em situações mais extremas, pode mesmo resultar em roturas consideráveis, que por sua vez dão origem a consumos de água desnecessários.

Quanto ao consumo de água em atividades no exterior da habitação, o maior problema deve-se à utilização de água potável na realização das mesmas, como lavagens e regas, onde não existe, na maioria das vezes, necessidade de uso de água potável. Como tal, deveriam ser implementados sistemas de recolha e reutilização de águas pluviais ou sistemas de tratamento de águas residuais que permitissem a sua reutilização. Deste modo seria possível diminuir a quantidade de água consumida pelas habitações.

O consumo excessivo de água em torneiras, autoclismos e chuveiros é consequência da incorreta seleção desse tipo de equipamento por parte dos projetistas. Por outro lado, essas escolhas ineficientes devem-se, principalmente, à necessidade de limitação de custos pelo dono de obra (Ecocasa, 2015a).

4.1.9 – Integração de Energias Renováveis

Existem diversos equipamentos capazes de transformar a energia proveniente das fontes naturais, em energia útil. Nos últimos anos, e devido ao crescente progresso na área, as tecnologias de aproveitamento renovável são cada vez mais baratas e eficientes na produção de eletricidade. A captação direta da energia solar, a partir dos elementos estruturais dos edifícios, é uma das possibilidades emergentes de aproveitamento solar (Comini *et al*, 2008).

Para a produção doméstica de energia elétrica, de energia para aquecimento quer ambiente quer de águas sanitárias ou para arrefecimento ambiente existem várias soluções disponíveis.

A instalação de sistemas solares térmicos permitem converter a energia solar em energia térmica para produção de AQS, aquecimento de piscinas, aquecimento ambiente e arrefecimento ambiente.

Outra forma de tornar vantajosa a utilização de sistemas solares térmicos é, se possível, conjugar a funcionalidade de aquecimento ambiente com a de arrefecimento.

Em edifícios de habitação os painéis solares ou coletores solares podem reduzir até 70 a 80% o consumo de energia convencional (eletricidade, gás natural, gás propano, etc.) para o aquecimento de água. O painel solar fotovoltaico, permite converter a energia solar diretamente em energia elétrica e pode estar ligado à rede elétrica nacional. Esta forma de energia é bastante promissora visto produzir energia sem emissão direta de gases poluentes, ter uma reduzida manutenção e um elevado tempo de vida.

Estes sistemas têm um grande potencial de crescimento em Portugal devido ao índice de radiação solar ser bastante elevado (Comini *et al*, 2008; Solar, 2015).

Existem outros sistemas para produção doméstica de energia elétrica e de calor, nomeadamente, microturbinas eólicas, micro-hidrogeradores, sistemas de aquecimento a biomassa e bombas de calor geotérmicas (Comini *et al*, 2008; Solar, 2015).

4.1.10 – Etiquetagem

Antes da adoção de medidas de melhoria no que se refere a consumos energéticos, há que obter um diagnóstico prospetivo do estado energético do edifício. Assim, torna-se necessário classificar o edifício do ponto de vista energético, sendo necessário para tal, obter o seu certificado energético.

A certificação energética de edifícios é pois um mecanismo que tem como finalidade classificar do ponto de vista de eficiência energética o desempenho de um edifício ou fração autónoma, com base nas suas características térmicas. Esta classificação é feita de acordo com os resultados obtidos após uma auditoria energética, seguindo sempre uma escala pré-definida conforme se ilustra na Figura 4.3, onde A+ representa o máximo de eficiência (ADENE, 2015).

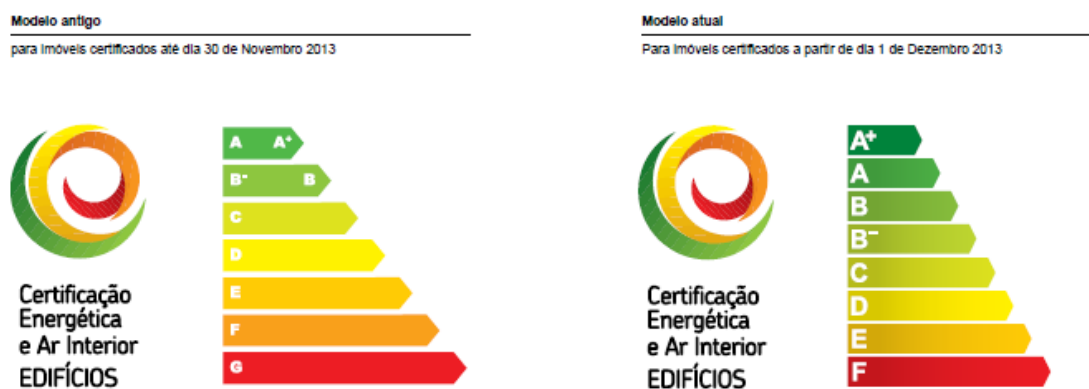


Figura 4.3 - Categorias de certificação energética.

A certificação energética segue um conjunto de regras descritas na legislação portuguesa através do Decreto-Lei nº118/2013 e demais legislação associada. De acordo com a legislação atual, a certificação energética é obrigatória para alguns edifícios de serviços com características bem definidas nos regulamentos, ou ainda para construções dedicadas à

habitação aquando da sua construção, venda ou arrendamento. Contudo, a certificação energética é sempre uma valorização para o imóvel, dando a possibilidade ao proprietário de implementar um conjunto de medidas propostas no sentido de melhorar a eficiência energética, isto é, reduzir os consumos de energia.

4.2 – Apoios e políticas de incentivo à eficiência energética e à reabilitação de edifícios

Portugal está profundamente empenhado na transformação estrutural do seu modelo de desenvolvimento, ambicionando tornar a sua economia mais eficiente e sustentável, procurando criar condições para uma maior coesão e convergência no contexto europeu. O país pretende ser capaz de criar mais riqueza, com menor consumo de energia e menores emissões de gases com efeito de estufa. A tendência de redução da intensidade energética deverá manter-se mas numa perspetiva de crescimento económico e de criação de emprego, invertendo uma dinâmica de estagnação e recessão.

Apesar de todo o trabalho e desenvolvimento legal já implementado, as preocupações iniciais mantêm-se; é necessário reduzir os consumos energéticos, bem como as emissões de gases com efeito de estufa e a dependência energética de Portugal.

Nesta medida o “Programa Portugal 2020”, nomeadamente através do domínio da “Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos”, objetivo temático 4 (apoiar a transição para uma economia com baixas emissões de carbono em todos os setores), vem dar resposta às necessidades de investimento associadas à promoção da eficiência energética, nomeadamente no que diz respeito à promoção da eficiência energética no setor da habitação.

No âmbito do Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos são duas as prioridades de investimento que contemplam o apoio à promoção da eficiência energética nos edifícios, a saber:

- Prioridade de investimento 4.2: nesta concentram-se os apoios às empresas, sendo por isso elegíveis os investimentos associados à renovação energética de edifícios de comércio e serviços, como sejam hotéis ou escritórios, entre muitos outros;
- Prioridade de investimento 4.3: nesta concentram-se os apoios à eficiência energética no setor da habitação particular (DGEG, 2015c).

No atual panorama nacional em que cada vez mais é incutida a necessidade de cumprimento de metas de eficiência energética, para ultrapassar as dificuldades na elaboração de projetos

com orçamentos muito limitados ou até mesmo limitações de acesso a recursos financeiros, foram criados apoios para que o mercado da reabilitação fosse dinamizado, apesar de não serem suficientes para que se mantenha o parque habitacional em bom estado de conservação, contudo não deixa de ser a alavanca que a reabilitação necessita.

Segundo a Agência para a Energia (ADENE), os apoios financeiros provenientes de fundos europeus, disponibilizados para programas de eficiência energética, são:

- **Fundo de Eficiência Energética – FEE:** Criado pelo Decreto -Lei n.º 50/2010, de 20 de maio, e regulamentado pela Portaria n.º 26/2011, de 10 de janeiro, destinado a apoiar especificamente as medidas do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE);
- **Fundo de Apoio à Inovação (FAI):** Criado pelo Despacho n.º 32276 -A/2008, de 17 de dezembro de 2008, que aprovou igualmente o seu Regulamento de Gestão, posteriormente alterado pelo Despacho n.º 13415/2010, de 19 de agosto de 2010, e pelo Despacho do Secretário de Estado da Energia, de 5 de julho de 2012, que alargou o âmbito de aplicação do FAI a projetos de investimento em eficiência energética;
- **Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC):** Promovido pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) no quadro do Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC);
- **Fundo Português de Carbono (FPC):** Criado pelo Decreto -Lei n.º 71/2006, de 24 de março, destinado a apoiar, entre outros, projetos que conduzam à redução de emissões de gases com efeito de estufa;
- **Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN)** e outros instrumentos financeiros comunitários, tais como a **iniciativa Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas (JESSICA)**, focalizado para a reabilitação e desenvolvimento urbano sustentável, tendo como áreas prioritárias, a regeneração de infraestruturas urbanas e equipamentos, a eficiência energética e energias renováveis, a revitalização de economia urbana, especialmente pequenas e médias empresas (PME) e empresas inovadoras, dotando as áreas urbanas de tecnologias de informação e comunicação.

O PNAEE 2013-2016 integra para o setor dos edifícios (Residencial e Serviços) três programas de melhoria da eficiência energética com medidas específicas (ADENE, 2008):

Com especial incidência às medidas de eficiência energética no setor Residencial e serviços, estão previstos 3 programas com medidas específicas (ADENE, 2008):

1 - Renove Casa & Escritório – com o objetivo de fomentar a substituição de equipamentos no setor residencial e no setor de serviços de modo a tornar mais eficiente o parque de eletrodomésticos, de equipamentos elétricos e da iluminação acompanhando o avanço tecnológico promovido pelos produtores e induzido pelas crescentes exigências do mercado no sentido de reduzir os respetivos consumos, nomeadamente os energéticos.

- **M1-Promoção de equipamentos mais eficientes** - Criado com o objetivo de promover a substituição de eletrodomésticos e de outros equipamentos elétricos para uso essencialmente doméstico, reduzindo o consumo específico do parque de equipamentos elétricos.
- **M2-Iluminação eficiente** - Visa a adoção de programas nacionais conducentes à promoção de iluminação eficiente, através da renovação do parque pela substituição de lâmpadas de baixa eficiência energética.
- **M3- Janela eficiente** - Contempla intervenções relacionadas com a envolvente dos edifícios e tem como finalidade a reabilitação de superfícies envidraçadas.
- **M4-Isolamento eficiente** - Medida relacionada com intervenções ao nível do isolamento térmico visando a sua aplicação em coberturas, pavimentos e paredes.
- **M5- Calor verde** - Medida de incentivo à aplicação de recuperadores de calor nas unidades de alojamento.

As medidas identificadas serão englobadas em dois sistemas de incentivo a regulamentar: o “Crédito Eficiência” e o “Cheque Eficiência”.

O incentivo “Crédito Eficiência” consiste em várias medidas: crédito pessoal bonificado para financiamento de medidas de eficiência energética, que preveja a redução até 50 % da taxa de crédito ao consumo a praticar pelas instituições de crédito; acordo com entidades financeiras de crédito para bonificação de linhas de crédito no valor de €250M/ano para investimentos em eficiência energética (enfoque reabilitação urbana).

O incentivo “Cheque Eficiência” consiste num prémio em formato de cheque eficiência a atribuir aos consumidores domésticos de baixa tensão, que apresentem, em dois anos consecutivos, reduções efetivas de consumo de eletricidade. O cheque eficiência será equivalente a, 10% ou 20% dos gastos em eletricidade durante dois anos em caso de redução verificada de 10% ou 20% do consumo de eletricidade.

2 - Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios – com o objetivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios, através da melhoria da classe média de eficiência energética do parque edificado, mediante a implementação das orientações que regulam o SCE. Este obriga a que novos edifícios ou grandes reabilitações alcancem quotas mínimas por classes (B- a A+), sendo constituído por duas medidas.

- **M1- SCE Edifícios Residenciais**
- **M2- SCE Edifícios de Serviços**

3 - Integração de Fontes de Energia Renováveis Térmicas/Solar Térmico - com a finalidade de promover a integração de sistemas solares térmicos no parque edificado e a edificar, do setor doméstico e de serviços, sendo constituído por duas medidas.

- **M1- Solar térmico Residencial**
- **M2- Solar térmico Serviços**

A revisão tanto do PNAEE como do PNAER teve em conta as medidas de eficiência energética e de promoção das fontes de energia renováveis já constantes do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) e deve com eles estar articulado.

O Plano Nacional da Ação para as Energias Renováveis (PNAER) (2013-2020), tal como o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, é um instrumento de planeamento energético que estabelece o modo de alcançar as metas e compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes de energia renováveis (FER) (Resolução do Conselho de Ministros, n°20-/2013).

4.3 – Barreiras à reabilitação energética

As políticas são ações de compromisso com efeitos a médio/longo prazo. De facto, é importantíssimo compreender para depois ter argumentos sustentados e saber como agir. E saber como agir é fundamental nesta área, já que com a definição de metas ambiciosas de médio/longo prazo para a eficiência energética com foco nos edifícios existentes, há necessidade de políticas fundamentadas e bem direccionadas, o que pressupõe clarificação e conhecimento do estado atual da situação.

A falta de financiamento continua a ser apontada como o maior entrave à concretização de medidas de reabilitação energeticamente eficientes.

De uma forma geral, as principais áreas onde se registam barreiras são, entre outras: no enquadramento legal e administrativo; no financiamento; na disseminação do conhecimento/informação; na capacidade técnica do setor construtivo; no papel dos intervenientes ou atores no processo de reabilitação; na qualidade do parque edificado; na estrutura do mercado e em externalidades. A barreira relativa ao financiamento é sem dúvida a mais sentida. Os custos com a reabilitação são elevados e não estimulam os proprietários. A falta de informação entre intervenientes no processo é desde logo uma das principais barreiras.

A falta de experiência dos profissionais e os poucos exemplos de boas práticas também são apontados como razões dissuasoras (ERSE, 2015).

Outras barreiras são ainda referidas, tais como, a complexidade do comportamento humano, os fatores externos que o dificultam e o motivam; a tendenciosa e ingénua ideia que a criação de políticas é baseada em racionalidade económica; os ajustes tecnológicos; as empresas funcionando com negócio do tipo "*as usual*", estimativa de modelos de consumo com base em premissas erradas; dados de procura errado.

Existem estudos da responsabilidade da ADENE e do Estado Português que apontam as “primeiras luzes” sobre assunto, tais como: elevado investimento; recessão económica; falta de atualização de profissionais e instaladores e falta de informação dos proprietários e decisores; falta de indicadores sobre o parque edificado.

O período de retorno dos investimentos feitos em reabilitação energética continua a ser muito longo para muitos proprietários e mesmo sendo rentável a longo prazo, este investimento é ainda visto com relutância.

4.4 – Legislação nacional de eficiência energética na habitação

Com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na comunidade, estabelecendo requisitos de cálculo desse desempenho tendo em conta a tipologia do edifício, a aplicação de requisitos mínimos consoante o edifício seja novo ou não e a atribuição de um certificado energético de acordo com o desempenho do edifício, certificado esse que será atribuído após a verificação por peritos qualificados, existe a necessidade da criação de leis para regulamentar o setor energético nomeadamente dos edifícios.

Os Decretos-Lei n.º 79/2006 e n.º 80/2006, ambos de 4 de abril de 2006, previam que os edifícios que fossem objeto de uma grande intervenção deviam cumprir com requisitos de eficiência energética idênticos áqueles que se aplicavam aos edifícios novos. Esta obrigação era, frequentemente, de difícil cumprimento e acabava por limitar e dissuadir muitos proprietários de iniciarem processos de renovação energética de edifícios, uma vez que não tinha em consideração as especificidades dos diferentes projetos de renovação dos edifícios.

Assim, e tendo em consideração a experiência adquirida, o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que transpõe a diretiva sobre desempenho energético de edifícios e revoga os dois diplomas anteriormente citados, vem trazer mecanismos de flexibilidade que permitem acomodar as especificidades inerentes à renovação de edifícios existentes, permitindo assim flexibilizar e isentar o cumprimento de determinados requisitos sempre que se verifiquem situações de incompatibilidade, bastando para tal que as mesmas sejam devidamente evidenciadas conforme descrito no referido diploma (Assembleia da República, 2013).

O Decreto-Lei n.º 58/2013 serve como instrumento regulador de competências para os profissionais, que de forma legal podem desempenhar a atividade de perito qualificado (PQ) para a certificação energética e de técnico de instalação e manutenção de edifícios e sistemas (TIM). Os profissionais anteriormente referenciados são, ao abrigo do disposto no Decreto-Lei 118/2013, de 20 de agosto, considerados técnicos de sistemas de certificação energética (SCE) (Ministério da Economia e do Emprego, 2013).

5 – Avaliação de medidas de eficiência energética em edifícios residenciais

A avaliação de medidas de eficiência energética no parque habitacional requer o conhecimento da realidade social e económica, bem como a exploração de novas medidas de reabilitação, que permitirão dar resposta às necessidades de hoje, num edifício já existente, tornando-o atrativo e capaz de gerar riqueza agora e no futuro. Torna-se necessário identificar e avaliar medidas de eficiência energética que contemplem diferentes áreas de atuação (iluminação, climatização e reabilitação de espaços) e múltiplos aspetos de avaliação (técnicos, económicos, ambientais e sociais).

Neste contexto, as metodologias multicritério de apoio à decisão tornam-se especialmente adequadas, uma vez que permitem incluir vários critérios de avaliação geralmente conflituosos, vários pontos de vista, vários atores participantes e partes interessadas, cada um dos quais possuindo, no processo de decisão, as suas preferências e os seus critérios. Para além disso, os modelos multicritério, combinam dados qualitativos e quantitativos (Coelho, 2012). Os modelos multicritério são ferramentas que permitem apoiar o decisor na tomada de decisão assente num conjunto de critérios que podem ter diferentes níveis de importância (Antunes e Alves, 2014).

5.1 – Metodologia de avaliação

Para a avaliação de medidas de eficiência energética em edifícios residenciais efetuada neste trabalho foi utilizada uma metodologia baseada em Coelho, 2012, que desenvolve um modelo multicritério que permite avaliar diferentes ações em problemas de planeamento e gestão de sistemas energéticos urbanos, caracterizados por múltiplos aspetos de avaliação, múltiplas perspetivas e múltiplos intervenientes. O modelo de avaliação multicritério desenvolvido destina-se à problemática de classificação, isto é, o objetivo é a afetação das ações a categorias (ou classes de preferências) ordenadas e antecipadamente definidas. Esta afetação terá em consideração o mérito absoluto das ações (descrito pelo seu desempenho em múltiplos critérios) e não o resultado da comparação entre as ações, o que possibilita a consideração de novas ações para avaliação em qualquer ponto do processo de avaliação.

O modelo proposto contempla 12 critérios (económicos, técnicos, ambientais e sociais) e considera um conjunto de alternativas de planeamento energético para a validação empírica do modelo num contexto real de decisão, abrangendo medidas de eficiência energética e

sistemas de energias renováveis aplicáveis aos setores residencial, de serviços e infraestruturas municipais (Coelho, 2012). Para o processo de avaliação foi usado o método de classificação ELECTRE TRI, através da aplicação computacional IRIS (*Interactive Robustness analysis and parameters' Inference for multicriteria Sorting problems*) (Dias e Mousseau, 2002).

5.1.1 – Método ELECTRE TRI⁵

O método ELECTRE TRI permite classificar um conjunto $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ de ações, avaliadas em n critérios $g_1, \dots, g_n$, segundo um conjunto $C = \{C^1, \dots, C^k\}$ de k categorias predefinidas e ordenadas por ordem de preferência, sendo C^1 a pior e C^k a melhor categoria.

Cada categoria C^h ($h=1, \dots, k$) é definida através de duas ações de referência (perfis de referência): b_h (que delimita a categoria superiormente) e b_{h-1} (que delimita a categoria inferiormente), definidas para cada critério. Assim, torna-se necessário definir os perfis de referência $b^0, \dots, b^k$ tais que, excetuando o primeiro e o último, cada um constitui simultaneamente o limite superior de uma categoria e o limite inferior da categoria seguinte, como se pode observar na Figura 5.1. Os perfis de referência b^0 e b^k devem ser, em todos os critérios, respetivamente pior e melhor do que qualquer das ações a classificar e cada perfil b^h deve ser melhor do que o anterior b^{h-1} em todos os critérios.

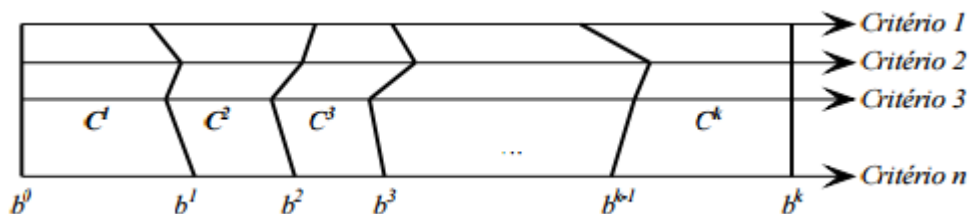


Figura 5. 1 - Definição de categorias no ELECTRE TRI.

A aplicação do método ELECTRE TRI processa-se em duas fases principais. Numa primeira fase estabelece-se uma relação de prevalência entre cada ação a_i e as ações de referência b^h , que delimitam as categorias. Na segunda fase processa-se a afetação das ações às categorias, com base nas relações de prevalência estabelecidas na primeira fase.

Uma ação a_i prevalece sobre uma referência b^h (representando por " $a_i S b^h$ ") quando há argumentos suficientes para sustentar que a_i não é inferior a b^h . Formalmente, determina-se um índice de credibilidade da prevalência $s(a_i, b^h)$ que atende ao "peso" dos critérios que

⁵ A explicação aqui apresentada foi baseada em Dias e Mousseau, 2002.

apoiam aquela conclusão e à força da discordância oposta pelos restantes critérios, comparando esse índice com um limiar de corte λ (estabelecido para efetuar a dicotomia entre prevalência e não prevalência): “ $a_i S b^h$ ” se e apenas se $s(a_i, b^h) \geq \lambda$.

O índice de credibilidade é obtido a partir dos índices de concordância determinados para cada critério, do índice de concordância global (multicritério) resultante da agregação dos índices de concordância para os vários critérios e dos índices de discordância determinados para cada critério.

Para cada critério g_j , o índice de concordância indica quanto o critério está de acordo com a hipótese “ $a_i S b^h$ ”, e é calculado tendo em consideração: os limiares de indiferença (q_j) e de preferência (p_j) definidos para o critério considerado e a vantagem de uma ação a sobre outra ação b nesse critério.

Por outro lado, cada critério g_j , o índice de discordância indica quanto o critério discorda com a hipótese “ $a_i S b^h$ ”, e é calculado tendo em consideração os limiares de veto (v_j) e de discordância (u_j) associados ao critério considerado.

O último passo da aplicação do ELECTRE TRI consiste na afetação de cada ação $a_i \in A$ através da comparação desta ação com as ações de referência.

5.1.2 – Aplicação computacional IRIS ⁶

O sistema de apoio à decisão IRIS implementa uma metodologia baseada no ELECTRE TRI, permitindo classificar um conjunto de ações em categorias ordenadas e previamente definidas, tendo em consideração os desempenhos dessas ações em múltiplos critérios (Dias e Mousseau, 2002). A avaliação de cada ação é independente das restantes, não sendo as ações comparadas entre si. A classificação multicritério faz-se considerando os julgamentos de um decisor. Será esse decisor a indicar a fronteira entre uma categoria e a seguinte e a determinar a importância de cada critério.

As principais características do IRIS são (Dias e Mousseau, 2002):

- Não exige valores precisos para os coeficientes de importância (pesos) dos critérios nem para o limiar de corte (λ) do método. O utilizador pode indicar intervalos de variação para estes parâmetros ou impor restrições lineares para os pesos dos critérios;
- Permite que algumas restrições sejam indicadas indiretamente através de exemplos de classificação que o método deve reproduzir (através da indicação do intervalo de

⁶ Baseado em Dias e Mousseau, 2002.

categorias onde uma ou várias ações devem ser classificadas como considerado para as ações a_5 , a_9 e a_{16} , no exemplo de aplicação do IRIS ilustrado na Figura 5.2 (Coelho, 2012));

- Quando as restrições são incompatíveis entre si, sugere alternativas de remoção de restrições por forma a restaurar a consistência do conjunto;
- Quando o conjunto de restrições define um sistema com solução, determina uma combinação “central” de valores para os parâmetros que satisfaz todas as restrições (valores na parte inferior direita da Figura 5.2), apresentando, para cada ação, a categoria que corresponde a essa combinação de valores (células em tom de verde mais escuro no lado direito da Figura 5.2) e determina a gama de categorias a que cada ação podia ser afetada sem violar nenhuma restrição (células em tom de verde mais claro no lado direito da Figura 5.2).
- Adicionalmente, calcula indicadores acerca da precisão dos parâmetros e dos resultados.

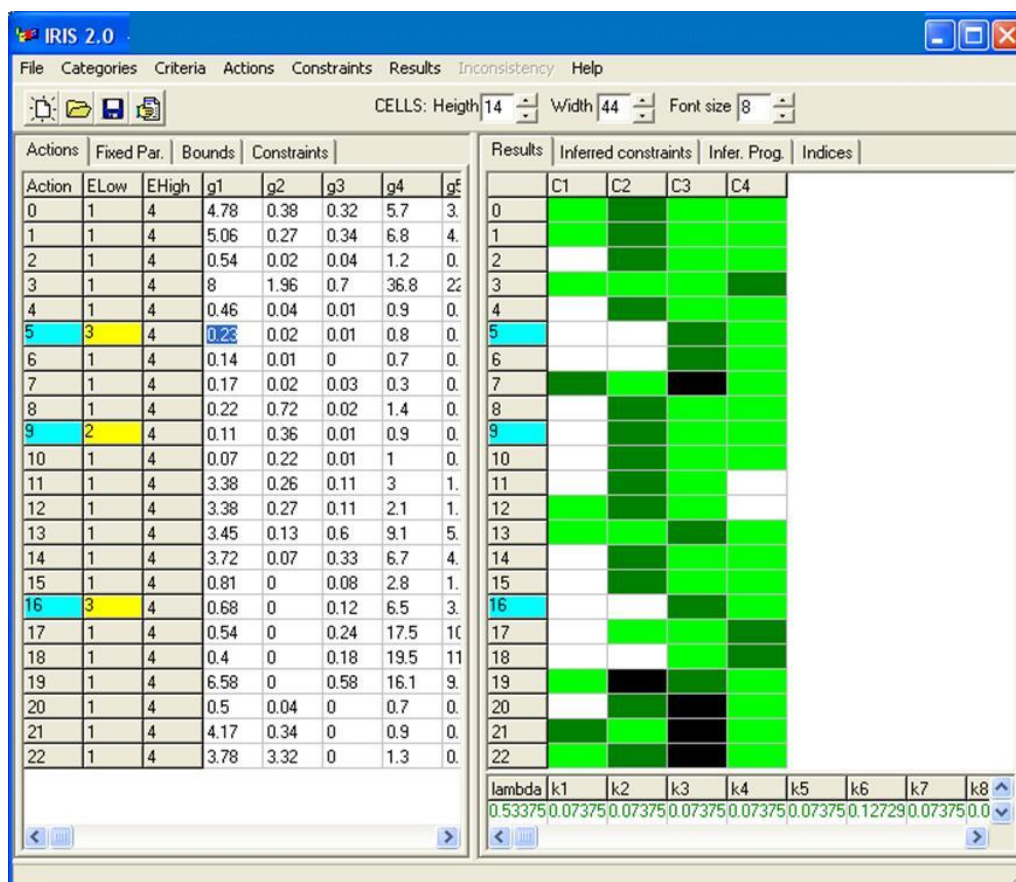


Figura 5. 2 - Exemplo de aplicação do IRIS.

5.2 – Estudo de Caso

Os estudos de caso relativos à reabilitação energética de edifícios podem tornar-se uma tarefa bastante complexa, uma vez que existem vários fatores envolvidos, tanto a nível económico, social, ambiental como tecnológico.

Na aplicação da metodologia multicritério seguida neste estudo, para além da identificação dos critérios de avaliação a considerar, tornou-se necessário selecionar um conjunto de ações que estivesse de acordo com os objetivos inicialmente propostos – avaliação das medidas de eficiência energética no setor residencial.

Apesar de não se ter tipificado um edifício para a implementação das medidas de eficiência energética, para o cálculo do desempenho de cada uma das medidas nos critérios de avaliação considerados usou-se como referência uma moradia unifamiliar localizada na cidade de Coimbra.

5.2.1 – Especificação dos critérios de avaliação

A metodologia multicritério usada para a avaliação das medidas de eficiência energética no setor residencial contempla cinco critérios de avaliação, o número máximo de critérios que é possível considerar na versão *Demo* da aplicação computacional IRIS, disponível gratuitamente *online* (IRIS 2.0).

Os cinco critérios de avaliação considerados incluem dois critérios económicos, um critério tecnológico, um critério ambiental e um critério social. Destes critérios, quatro são expressos numa escala quantitativa, uma vez que têm medidas quantitativas bem determinadas. O critério social será expresso através de uma escala qualitativa pois resulta de valores de julgamento das partes interessadas.

Os **critérios económicos** considerados envolvem o custo do investimento e o período de retorno do investimento (*payback* simples).

O **critério tecnológico** diz respeito à redução dos consumos de energia resultante da utilização de equipamentos/tecnologias mais eficientes e/ou implementação de medidas de renovação.

O **critério ambiental** é representado pela redução das emissões de CO₂, devido à poupança energética conseguida com as medidas implementadas. Na Tabela 5.1 são apresentados os fatores de emissão para os vetores energéticos considerados no estudo (Pacto de Autarcas, 2013).

Tabela 5.1 - Fatores de emissão por fonte de energia.

Fatores de Emissão	
Tipo	Fator de emissão (kgCO ₂ /kWh)
Eletricidade	0,369
Gás natural	0,202

O **critério social** considerado refere-se à aceitação social, isto é, a aceitação por parte dos consumidores. Para o critério da aceitação social será então utilizada a escala apresentada na Tabela 5.2 (Coelho, 2012).

Tabela 5.2 - Escala de avaliação da Aceitação Social.

Escala de avaliação	Descrição
1	Impacto fraco
2	Impacto moderado
3	Impacto médio-alto
4	Impacto forte

Na Tabela 5.3 são apresentados os cinco critérios selecionados, o tipo de escala de avaliação utilizada e o respetivo indicador. Na mesma tabela é ainda indicado o sentido de preferência de cada critério considerado.

Tabela 5.3 - Especificação dos critérios de avaliação.

Critério	Escala	Indicador	Sentido de Preferência
Custo de investimento	Quantitativa	€	Minimizar
Redução de emissões de CO ₂	Quantitativa	kgCO ₂ /ano	Maximizar
Redução de consumo de energia	Quantitativa	tep/ano	Maximizar
Aceitação social	Qualitativa	Escala de quatro valores	Maximizar
Período de retorno do investimento	Quantitativa	anos	Minimizar

5.2.2 – Seleção das medidas de reabilitação

Na Tabela 5.4 são apresentadas as dezasseis medidas de eficiência energética consideradas nesta avaliação, agrupadas por setor de intervenção: iluminação; climatização; AQS e construção.

Tabela 5.4 - Descrição das medidas de reabilitação propostas.

Setor	Medida	
Iluminação	M1	Substituição de lâmpadas incandescentes (60 W) pela instalação de LED's (9 W)
	M2	Substituição de lâmpadas incandescentes (60 W) pela instalação de fluorescentes compactas (15 W)
	M3	Substituição de lâmpadas de halogéneo clássicas (50 W) pela instalação de LED's (10 W)
	M4	Substituição de lâmpadas de halogéneo clássicas (55 W) pela instalação de halogéneo de linha Eco (42 W)
Climatização	M5	Substituição do emissor elétrico (1000 W) pela instalação de sistemas radiantes (piso radiante 100 W/m ²)
	M6	Substituição da caldeira tradicional a gásóleo (18 kW) pela instalação da caldeira de biomassa (9,5 kW)
	M7	Substituição de sistemas de ar condicionado tradicionais (1,2 kW) por sistemas mais económicos 0,53 kW
	M8	Substituição de um ventiloconvetor (5,75 kW) por uma bomba de calor 5 kW
AQS	M9	Instalação de painel solar térmico (1,375 kW) em vez de uma caldeira tradicional (1,67 kW)
	M10	Substituição da caldeira de condensação a gás natural (26 kW) por uma caldeira a pellets (24 kW)
	M11	Instalação de termoacumuladores (2 kW) em vez dos esquentadores convencionais (5 kW)
	M12	Bomba de calor 1,5 kW em vez de esquentador convencional 1kW
Construção	M13	Isolamento térmico de paredes simples pelo exterior com a aplicação de poliestireno estruído de 40 mm.
	M14	Isolamento térmico de telhados com laje com a aplicação de poliestireno extrudido 60 mm.
	M15	Substituição de janela de vidro simples por vidro duplo e caixilharia
	M16	Instalação de estores exteriores térmicos

Na Tabela 5.5 apresentam-se os desempenhos das medidas em cada um dos cinco critérios considerados (baseado em Philips, 2015; Mkti, 2015; Enat, 2015; Megaclima, 2015; Pinto e Cruz, 2015; Aki, 2015; Marla, 2015; Roofmate, 2015; Multi-janela, 2015 e A.F Estores, 2015). São ainda indicados os parâmetros usados na avaliação das medidas.

Tabela 5.5 - Desempenhos das medidas em cada critério.

Medidas	Custo do investimento €	Redução de emissões de CO ₂ kg/ano	Redução de consumo de energia kWh/ano	Aceitação social Escala (1 a 4)	Retorno do investimento ⁷ anos
M1	16,99	28,21	76,46	2	1,14
M2	12	24,24	65,7	2	0,94
M3	16,99	21,55	58,4	2	1,49
M4	3,99	7	18,98	2	1,08
M5 ¹	1027	161,62	438	2	12,02
M6	784	1222,67	12410	2	0,32
M7 ²	1031	360,96	978,2	3	5,41
M8	4232	404,06	1095	2	19,82
M9	999	158,9	430,7	2	11,89
M10	5140	1077,5	2920	2	9,03
M11	179	1616,22	4380	2	0,21
M12	1800	269,37	730	2	12,65
M13 ³	446,5	138,38	375	2	6,11
M14 ⁴	696,18	166,05	450	2	7,93
M15 ⁵	189	221,40	600	3	1,62
M16 ⁶	76,26	71,96	195	3	2,01

1 - Considerada uma área de 7 m²

2 - Considerado o mesmo caudal de 2 m³/h.

3 - Considerada uma área de 100 m² e uma potência de 1,5 kW e uma redução de 25% de consumo com a aplicação de poliestireno extrudido de 40 mm.

4 - Considerada uma área de 100 m² e uma potência de 1,5 kW e uma redução de 30% de consumo com a aplicação de poliestireno extrudido 60 mm.

5 - Considerada uma área de 1 m² e uma potência de 1,5 kW e uma redução de 30% de consumo com a aplicação da janela de vidro duplo com caixilharia.

6 - Considerada uma área de 2 m², e uma potência de 1,5 kW e uma redução de 13% do consumo.

7 - Utilizou-se o valor de 0,195 €/kWh, considerando o preço para clientes BTN, tarifa simples e potência inferior ou igual a 6,9 kVA. Para as medidas envolvendo consumo de água, considerou-se o preço da água de 0,55 €/m³

5.2.3 – Aplicação do Software IRIS

As medidas de eficiência energética consideradas para avaliação neste estudo de caso serão classificadas nas quatro categorias previamente definidas, de acordo com o seu potencial de implementação. As categorias consideradas para a classificação das medidas são as apresentadas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Definição das categorias.

Categorias	C ¹	C ²	C ³	C ⁴
Classificação	Má	Razoável	Boa	Muito boa

Na Tabela 5.7 são apresentados os perfis e os limiares usados na avaliação das ações. Para cada um dos critérios, os limiares de indiferença (q) e de preferência (p) fixaram-se, respetivamente, em 1% e 10% das gamas de variação dos desempenhos para cada categoria a que dizem respeito (Coelho, 2012). Neste estudo de caso não são considerados limiares de veto.

Tabela 5.7 - Perfis e limiares aplicados no IRIS.

Perfis e limiares	Custo do investimento €	Redução de emissões de CO ₂ kg/ano	Redução de consumo de energia kWh/ano	Aceitação social Escala (1 a 4)	Retorno do investimento anos
b1	4500	20	20	2,2	15
q1	20	4,8	18	0,002	0,1
p1	200	48	180	0,02	1
b2	2500	500	2000	2,40	5
q2	24	5	60	0,004	0,06
p2	240	50	600	0,04	0,6
b3	100	1000	8000	2,80	1
q3	1	10	80	0,028	0,001
p3	10	100	800	0,28	0,1

Como sugerido por Dias *et al.*, 2002 e adotado em Coelho, 2012, numa primeira fase da aplicação da metodologia utilizaram-se intervalos amplos para todos os parâmetros e não foi considerada nenhuma restrição adicional nem nenhum exemplo de classificação.

Para garantir que todos os critérios são considerados e que o peso máximo de cada critério será sempre inferior à soma dos pesos dos restantes critérios, considerou-se para cada peso k_j ($j=1,\dots,5$) dos critérios, $k_j \in [0,01;0,49]$.

Foi considerado para o limiar de corte $\lambda \in [0,51;0,67]$, correspondendo a uma variação de maioria simples a maioria qualificada de dois terços.

Na Figura 5.3 são mostradas diferentes áreas de trabalho do *Software IRIS*: a) Página *Actions* – onde são inseridas as designações das diferentes medidas a classificar, os respetivos desempenhos nos critérios de avaliação considerados e exemplos de classificação; b) Página *Fixed Par* – permite editar o valor dos parâmetros fixos, que são os limites das categorias e os limiares de indiferença de preferência, de discordância e de veto; c) Página *Bounds* - permite editar os limites superiores e inferiores para o limiar de corte (λ) e para o peso de cada critério (k_j); d) Página *Results* - a área da direita permite visualizar resultados, nomeadamente as gamas de categorias, classificação inferida e valores inferidos para os parâmetros

Actions	Fixed Par.	Bounds	Constraints				
Action	ELow	EHigh	Invest	CO2	Red. con	Aceit	Retor
M1LED9	1	4	16.99	28.21	76.46	2	1.14
M2 CFL	1	4	12	24.24	65.7	2	0.94
M3LED1	1	4	16.99	21.55	58.4	2	1.49
M4 ECO	1	4	3.99	7	18.98	2	1.08
M5 PR	1	4	1027	161.62	438	2	12.02
M6 CB	1	4	784	1222.67	12410	2	0.32
M7 AC	1	4	1031	360.96	978.2	3	5.41
M8 BC	1	4	4232	404.06	1095	2	19.82
M9 PST	1	4	999	158.9	430.7	2	11.89
M10 CPB	1	4	5140	1077.5	2920	2	9.03
M11 TEP	1	4	179	1616.22	4380	2	0.21
M12 BC	1	4	1800	269.37	730	2	12.65
M13 RT	1	4	446.5	138.38	375	2	6.11
M14 RP	1	4	696.18	166.05	450	2	7.93
M15V2X	1	4	189	221.4	600	3	1.62
M16EST	1	4	76.26	71.96	195	3	2.01

Actions	Fixed Par.	Bounds	Constraints			
	Invest	CO2	Red. con	Aceit	Retor	
g(b1)	4500	20	20	2.2	15	
q1	20	4.8	18	0.002	0.1	
p1	200	48	180	0.02	1	
g(b2)	2500	500	2000	2.4	5	
q2	24	5	60	0.004	0.06	
p2	240	50	600	0.04	0.6	
g(b3)	100	1000	8000	2.8	1	
q3	1	10	80	0.03	0.01	
p3	10	100	800	0.28	0.1	
MAX/min	-1	1	1	1	-1	

a) Ações (medidas).

b) Perfis e limiares

Actions	Fixed Par.	Bounds	Constraints				
	lambda	k1	k2	k3	k4	k5	
LB - Lower	0.51	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
UB - Upp	0.67	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	

c) Limites

Actions	Fixed Par.	Bounds	Constraints					Results	Infer. Prog.	Indices			
Action	ELow	EHigh	Invest	CO2	Red. con	Aceit	Retor			C1	C2	C3	C4
M1LED9	1	4	16.99	28.21	76.46	2	1.14						
M2 CFL	1	4	12	24.24	65.7	2	0.94						
M3LED1	1	4	16.99	21.55	58.4	2	1.49						
M4 ECO	1	4	3.99	7	18.98	2	1.08						
M5 PR	1	4	1027	161.62	438	2	12.02						
M6 CB	1	4	784	1222.67	12410	2	0.32						
M7 AC	1	4	1031	360.96	978.2	3	5.41						
M8 BC	1	4	4232	404.06	1095	2	19.82						
M9 PST	1	4	999	158.9	430.7	2	11.89						
M10 CPB	1	4	5140	1077.5	2920	2	9.03						
M11 TEP	1	4	179	1616.22	4380	2	0.21						
M12 BC	1	4	1800	269.37	730	2	12.65						
M13 RT	1	4	446.5	138.38	375	2	6.11						
M14 RP	1	4	696.18	166.05	450	2	7.93						
M15V2X	1	4	189	221.4	600	3	1.62						
M16EST	1	4	76.26	71.96	195	3	2.01						
								lambda	k1	k2	k3	k4	k5
								0.59	0.09	0.32	0.09	0.09	0.41

d) Apresentação dos resultados

Figura 5.3 - Áreas de trabalho do software IRIS.

5.2.4 – Análise de alguns resultados obtidos

No lado esquerdo da Figura 5.4 são reproduzidos os resultados obtidos na 1ª iteração, onde se considerou $\lambda \in [0,51;0,67]$ e $k_j \in [0,01;0,49]$ e não se incluiu nenhuma restrição por parte do decisor.

A gama de categorias é apresentada pela ordenação inicial, podendo, no entanto, optar-se pela ordenação decrescente da diferença entre a melhor e a pior categoria. Para cada gama de categorias, a classificação proposta pelo IRIS, com base nos valores inferidos para os parâmetros, é identificada através da cor verde mais escura (ver 5.1.2). As células assinaladas com a cor negra indicam que a medida não pode ser classificada nessa categoria, apesar de poder ser classificada nas categorias imediatamente anterior e seguinte. Isto indica que para essas medidas, quaisquer que sejam os valores de λ , k_j ($j=1,\dots,5$), não existe nenhuma combinação desses valores que permita a classificação destas ações nessa categoria. Estas situações ocorrem quando a comparação de uma medida com dois perfis de referência consecutivos é equivalente e a discordância não intervém.

Os resultados da 2ª iteração, onde se incluíram as preferências do decisor através da atribuição de um peso do critério “custo de investimento” inferior à soma dos pesos dos restantes critérios, são apresentados no lado direito da Figura 5.4.

Results	Infer. Prog.	Indices			
	C1	C2	C3	C4	
M1LED9					
M2 CFL					
M3LED17					
M4 ECO					
M5 PR					
M6 CB					
M7 AC					
M8 BC					
M9 PST					
M10 CPB					
M11 TEP					
M12 BC					
M13 RT					
M14 RP					
M15V2X					
M16EST					

$\lambda \in [0,51;0,67]$ e $k_j \in [0,01;0,49]$

Results	Infer. Prog.	Indices			
	C1	C2	C3	C4	
M1LED9					
M2 CFL					
M3LED17					
M4 ECO					
M5 PR					
M6 CB					
M7 AC					
M8 BC					
M9 PST					
M10 CPB					
M11 TEP					
M12 BC					
M13 RT					
M14 RP					
M15V2X					
M16EST					

Incluindo as preferências do decisor

Figura 5.4 - Resultados obtidos nas duas primeiras iterações.

De acordo com a classificação proposta pelo IRIS, na 1ª iteração a maioria das medidas é classificada na categoria C² (“Razoável”) e apenas a medida M8 relativa à substituição de ventiloconvetor por bomba de calor é classificada na pior categoria. Ainda nesta 1ª iteração somente duas medidas, a medida M6 referente à substituição de caldeira a gásóleo por caldeira de biomassa e a medida M11 referente à substituição de esquentadores convencionais por termoacumuladores são classificadas na melhor categoria C⁴ (“Muito boa”).

No entanto, quando se incluem as preferências do decisor, para além da medida M8 também as medidas M4 (substituição de lâmpadas de halogéneo) e M10 (substituição da caldeira de gás natural por caldeira a pellets) são classificadas na pior categoria.

A penalização da medida M4 justifica-se pelo fato de apresentar desempenhos modestos na maioria dos critérios, apesar de ter um bom desempenho no critério “custo de investimento” (ver Tabela 5.5).

Relativamente às medidas M4 e M10 que poderiam beneficiar das preferências do decisor por terem fracos desempenhos no critério “custo de investimento”, a sua penalização deve-se aos fracos desempenhos no critério “retorno do investimento” e desempenhos modestos no critério “aceitação social” (ver Tabela 5.5). Contrariamente, a medida M16 (instalação de estores) melhora a sua classificação, sendo agora classificada na melhor categoria graças ao bom desempenho no critério “aceitação social”.

No lado direito da Figura 5.5 apresentam-se os resultados obtidos quando é atribuído um peso superior aos critérios “custo de investimento” e “aceitação social”.

Da análise dos resultados obtidos nesta 3ª iteração podemos verificar que o grupo de medidas do setor “Iluminação” (medidas M1, M2, M3 e M4) melhora a sua classificação, sendo agora classificadas em C³ (M1, M3 e M4) e em C⁴ (M2), graças ao seu bom desempenho no critério “custo de investimento” apesar do modesto desempenho no critério “aceitação social” (ver Tabela 5.5).

Os mesmos resultados permitem verificar que, a introdução destas preferências do decisor, permitem a classificação de metade das medidas em avaliação na categoria C³ (“Boa”).

Continua a constatar-se, à semelhança do que se verificou nos resultados obtidos na iteração inicial, que para metade das medidas só é permitida a classificação em duas categorias e a medida M10 apenas pode ser classificada na pior categoria C¹. Este facto ocorre devido ao fraco desempenho desta medida face ao critério “aceitação social” e ao mau desempenho face ao critério “custo de investimento” (ver Tabela 5.5).

Results	Infer. Prog.	Indices			
	C1	C2	C3	C4	
M1LED9					
M2 CFL					
M3LED1					
M4 ECO					
M5 PR					
M6 CB					
M7 AC					
M8 BC					
M9 PST					
M10 CPB					
M11 TEP					
M12 BC					
M13 RT					
M14 RP					
M15V2X					
M16EST					

$\lambda \in [0,51;0,67]$ e $kj \in [0,01;0,49]$

Incluindo as preferências do decisor

Figura 5. 5 - Resultados obtidos na 3ª iteração.

Numa nova iteração as preferências do decisor foram incluídas através da atribuição de um maior peso ao critério “redução do consumo”. Os resultados obtidos nesta 4ª iteração são os apresentados no lado direito da Figura 5.6.

A gama de categorias é agora apresentada pela ordenação decrescente da diferença entre a melhor e a pior categoria, para evidenciar a redução na variação da classificação das medidas. De facto, das dezasseis medidas em avaliação, a grande maioria só pode ser classificada em duas categorias e três delas estão classificadas em apenas uma categoria. As medidas M7, M15 e M16 só podem ser classificadas na categoria C². Curiosamente, estas três medidas têm em comum o facto de apresentarem o melhor desempenho face ao critério “aceitação social”.

Para além das medidas M7, M15 e M16 mais dez medidas estão classificadas na categoria “Razoável”. As três medidas que aparecem classificadas em categorias superiores (M10 e M11 na categoria C³ e M6 na melhor categoria) devem a sua classificação ao muito bom desempenho face ao critério “redução do consumo”, critério ao qual o decisor atribuiu o maior peso nesta iteração.

Results	Infer. Prog.	Indices			
	C1	C2	C3	C4	
M1LED9					
M2 CFL					
M3LED1					
M4 ECO					
M5 PR					
M6 CB					
M7 AC					
M8 BC					
M9 PST					
M10 CPB					
M11 TEP					
M12 BC					
M13 RT					
M14 RP					
M15V2X					
M16EST					

Results	Infer. Prog.	Indices			
	C1	C2	C3	C4	
M6 CB					
M10 CPB					
M11 TEP					
M1LED9					
M2 CFL					
M3LED1					
M4 ECO					
M5 PR					
M8 BC					
M9 PST					
M12 BC					
M13 RT					
M14 RP					
M7 AC					
M15V2X					
M16EST					

$\lambda \in [0,51;0,67]$ e $kj \in [0,01;0,49]$

Incluindo as preferências do decisor

Figura 5. 6 - Resultados obtidos na 4ª iteração.

Nas próximas iterações tirou-se partido de uma das características do IRIS que permite a introdução de algumas restrições com recurso a exemplos de classificação, através da indicação do intervalo de categorias onde uma ou várias ações devem ser classificadas (ver 5.1.2).

Uma vez que, de acordo com os resultados obtido na iteração inicial, apenas a medida M8 foi classificada na pior categoria, supôs-se que o decisor pretende impor que esta medida relativa à substituição de ventiloconvetor por bomba de calor não seja pior classificada que a categoria C^2 (“Razoável”). Este exemplo de classificação foi facilmente introduzido (ver lado esquerdo da Figura 5.7) e recalculados os resultados, como ilustrado no lado direito da Figura 5.7.

A introdução deste exemplo de classificação variação na classificação para a maioria das medidas e classifica todas as medidas na categoria C^2 , excetuando as medidas M6 e M11 que são classificadas nas categorias C^4 e C^3 , respetivamente.

A classificação proposta pelo IRIS é obtida com a atribuição do maior peso ao critério “redução do consumo”, beneficiando as medidas que têm um bom desempenho face a este critério, como é o caso das medidas M6 e M11, como se pode verificar a partir dos dados da Tabela 5.5.

Actions	Fixed Par.		Bounds	Constraints			
Action	ELow	EHigh	Invest	CO2	Red. con	Aceit	Retor
M1LED9	1	4	16.99	28.21	76.46	2	1.14
M2 CFL	1	4	12	24.24	65.7	2	0.94
M3LED1	1	4	16.99	21.55	58.4	2	1.49
M4 ECO	1	4	3.99	7	18.98	2	1.08
M5 PR	1	4	1027	161.62	438	2	12.02
M6 CB	1	4	784	1222.67	12410	2	0.32
M7 AC	1	4	1031	360.96	978.2	3	5.41
M8 BC	2	4	4232	404.06	1095	2	19.82
M9 PST	1	4	999	158.9	430.7	2	11.89
M10 CPB	1	4	5140	1077.5	2920	2	9.03
M11 TEP	1	4	179	1616.22	4380	2	0.21
M12 BC	1	4	1800	269.37	730	2	12.65
M13 RT	1	4	446.5	138.38	375	2	6.11
M14 RP	1	4	696.18	166.05	450	2	7.93
M15V2X	1	4	189	221.4	600	3	1.62
M16EST	1	4	76.26	71.96	195	3	2.01

Results	Inferred constraints		Infer. Prog.	Indices
	C1	C2	C3	C4
M1LED9				
M2 CFL				
M3LED1				
M4 ECO				
M5 PR				
M6 CB				
M7 AC				
M8 BC				
M9 PST				
M10 CPB				
M11 TEP				
M12 BC				
M13 RT				
M14 RP				
M15V2X				
M16EST				

Figura 5. 7 - Resultados obtidos com a consideração de exemplos de classificação.

De acordo com os dados dos desempenhos das medidas em cada critério apresentados na Tabela 5.5, apenas três medidas apresentam um bom desempenho face ao critério “aceitação social”. Assim, introduziu-se um novo exemplo de classificação, impondo a classificação mínima em C^3 para as medidas M7, M15 e M16 (ver lado esquerdo da Figura 5.8).

Actions								Results				
Fixed Par.		Bounds	Constraints					Inferred constraints		Infer. Prog.	Indices	
Action	ELow	EHigh	Invest	CO2	Red. con	Aceit	Retor		C1	C2	C3	C4
M1LED9	1	4	16.99	28.21	76.46	2	1.14	M1LED9				
M2 CFL	1	4	12	24.24	65.7	2	0.94	M2 CFL				
M3LED1	1	4	16.99	21.55	58.4	2	1.49	M3LED1				
M4 ECO	1	4	3.99	7	18.98	2	1.08	M4 ECO				
M5 PR	1	4	1027	161.62	438	2	12.02	M5 PR				
M6 CB	1	4	784	1222.67	12410	2	0.32	M6 CB				
M7 AC	3	4	1031	360.96	978.2	3	5.41	M7 AC				
M8 BC	1	4	4232	404.06	1095	2	19.82	M8 BC				
M9 PST	1	4	999	158.9	430.7	2	11.89	M9 PST				
M10 CPB	1	4	5140	1077.5	2920	2	9.03	M10 CPB				
M11 TEP	1	4	179	1616.22	4380	2	0.21	M11 TEP				
M12 BC	1	4	1800	269.37	730	2	12.65	M12 BC				
M13 RT	1	4	446.5	138.38	375	2	6.11	M13 RT				
M14 RP	1	4	696.18	166.05	450	2	7.93	M14 RP				
M15V2X	3	4	189	221.4	600	3	1.62	M15V2X				
M16EST	3	4	76.26	71.96	195	3	2.01	M16EST				

Figura 5. 8 - Resultados obtidos com a consideração de novos exemplos de classificação.

Com a introdução deste exemplo de classificação a maioria das medidas continua a ser classificada na categoria C^2 (“Razoável”), como se pode verificar nos resultados obtidos e

apresentados no lado direito da Figura 5.8. As medidas M7 e M15 cumprem a classificação mínima imposta e a medida M16 é classificada na melhor categoria C⁴.

Para além da medida M8, a única medida que foi classificada na categoria C¹ na iteração inicial, também as medidas M4 e M10 são agora classificadas na pior categoria. A pior classificação para estas medidas deve-se ao facto da classificação proposta pelo IRIS ser obtida com a atribuição do maior peso ao critério “redução do consumo”, que penaliza a medida M4 e ao critério “custo de investimento”, que penaliza as medidas M8 e M10, de acordo com os desempenhos destas medidas face àqueles critérios (ver Tabela 5.5).

Considerou-se, adicionalmente numa última iteração, a possibilidade de o decisor assumir como prioritários os investimentos nas medidas do setor da iluminação e decidir que cada uma delas deve ser classificada no mínimo como “Boa” (categoria C³). A introdução deste novo exemplo de classificação (lado esquerdo da Figura 5.9) conduziu aos resultados apresentados no lado direito da Figura 5.9.

Actions								Results				
Fixed Par.	Bounds	Constraints						Inferred constraints	Infer. Prog.	Indices		
Action	ELow	EHigh	Invest	CO2	Red. con	Aceit	Retor		C1	C2	C3	C4
M1LED9	3	4	16.99	28.21	76.46	2	1.14	M4 ECO				
M2 CFL	3	4	12	24.24	65.7	2	0.94	M6 CB				
M3LED11	3	4	16.99	21.55	58.4	2	1.49	M8 BC				
M4 ECO	3	4	3.99	7	18.98	2	1.08	M10 CPB				
M5 PR	1	4	1027	161.62	438	2	12.02	M11 TEP				
M6 CB	1	4	784	1222.67	12410	2	0.32	M16EST				
M7 AC	3	4	1031	360.96	978.2	3	5.41	M1LED9				
M8 BC	1	4	4232	404.06	1095	2	19.82	M2 CFL				
M9 PST	1	4	999	158.9	430.7	2	11.89	M3LED11				
M10 CPB	1	4	5140	1077.5	2920	2	9.03	M5 PR				
M11 TEP	1	4	179	1616.22	4380	2	0.21	M7 AC				
M12 BC	1	4	1800	269.37	730	2	12.65	M9 PST				
M13 RT	1	4	446.5	138.38	375	2	6.11	M12 BC				
M14 RP	1	4	696.18	166.05	450	2	7.93	M13 RT				
M15V2X	3	4	189	221.4	600	3	1.62	M14 RP				
M16EST	3	4	76.26	71.96	195	3	2.01	M15V2X				

Figura 5.9 - Resultados obtidos com a consideração de outros exemplos de classificação.

A apresentação da gama de categorias pela ordenação decrescente da diferença entre a melhor e a pior categoria põe em evidência a redução na variação da classificação das medidas. Dez das dezasseis medidas estão classificadas em apenas uma categoria e as seis medidas restantes estão classificadas em duas categorias.

Excetuando as medidas envolvidas nos exemplos de classificação (ver lado esquerdo da Figura 5.9), apenas as medidas M6 e M11 são classificadas numa categoria superior a C^2 , concretamente na categoria C^3 (“Boa”). A classificação proposta pelo IRIS foi obtida com a atribuição do maior peso aos critérios “custo de investimento e “retorno do investimento”, beneficiando aquelas duas medidas, uma vez que, embora ambas apresentem desempenhos modestos face ao primeiro critério, apresentam muito bons desempenhos no outro critério (ver Tabela 5.5).

Se o decisor não considerar os resultados obtidos satisfatórios pode prosseguir com o processo iterativo. Como referido anteriormente (ver 5.1.1 e 5.1.2), a utilização da metodologia usada neste estudo permite alterar a informação previamente incluída e também introduzir novas medidas para avaliação.

6 – Conclusões

O presente projeto procurou contribuir para o aprofundamento do tema da reabilitação de edifícios habitacionais no âmbito da construção sustentável.

A tendência de aposta no mercado de reabilitação é crescente dado o estado atual de estagnação da construção nova. No entanto, a reabilitação não pode ser encarada simplesmente como uma alternativa à situação atual de mercado, mas antes como uma solução necessária ao combate da ineficiência do parque edificado que se apresenta, de forma geral, deteriorado e com problemas graves relacionados com o conforto ambiental, desempenho energético e desempenho hídrico.

A maioria dos edifícios do parque habitacional existente caracteriza-se pela sua ineficiência energética e hídrica, resultando num consumo excessivo de energia e de água no sector residencial, essencialmente devido à procura constante da melhoria das condições de conforto nas habitações.

Existem ainda outros problemas que se podem verificar no parque habitacional, como a presença de humidades em paredes ou a falta de durabilidade dos materiais. Uma parte significativa destes problemas tem origem principalmente em erros de projeto, em escolhas desajustadas na fase de conceção do edifício, em erros de execução mas, também, em opções e rotinas erradas dos seus utilizadores.

Desta forma, a reabilitação de edifícios de habitação pode ter um papel importante na inversão deste cenário podendo trazer vantagens para o sector da construção, onde se destaca o aumento dos níveis de sustentabilidade do desempenho dos edifícios.

Contudo, para que tal suceda, além da resolução de problemas de degradação e anomalias do edifício, é necessário também abordar questões como as preocupações ambientais e sociais, as exigências funcionais de conforto e saúde dos utilizadores e a redução do consumo de recursos durante todo o ciclo de vida dos edifícios, condições essenciais para a reabilitação sustentável.

Um dos principais focos do presente projeto foi o estudo da reabilitação de edifícios visando a melhoria do seu desempenho energético pela aplicação de várias medidas de eficiência energética.

Como ponto de partida, foi realizada uma revisão bibliográfica que permitiu aprofundar os conhecimentos acerca da problemática da reabilitação energética de edifícios e das principais metodologias utilizadas na sua avaliação.

Nesta fase de desenvolvimento do projeto foi possível obter dados sobre o estado atual do parque habitacional português, nomeadamente no que se refere às necessidades de reabilitação, e recolher informação sobre as medidas/intervenções que podem contribuir para melhorar o comportamento energético dos edifícios. A implementação destas medidas, para além de poder resultar em melhorias no comportamento térmico e energético dos edifícios, poderá contribuir também para a redução dos consumos de energia deste setor e, consequentemente, contribuir para a redução dos consumos globais de energia e diminuir os impactos ambientais.

A avaliação das diferentes medidas de reabilitação identificadas (num total de dezasseis medidas, no âmbito da iluminação, climatização, AQS e construção) foi efetuada com base na aplicação de uma metodologia de avaliação multicritério destinado à problemática de classificação, com recurso ao programa IRIS. Este programa é destinado ao apoio à decisão em problemas de classificação, que permite a classificação de medidas descritas pelo seu desempenho em múltiplos critérios, segundo um conjunto ordenado de categorias definido antecipadamente.

A metodologia usada contemplou cinco critérios (dois critérios económicos, um critério tecnológico, um critério ambiental e um critério social). O desempenho das várias medidas face aos critérios de avaliação considerados foi obtido com base em dados reais publicados em diversas fontes bibliográficas, tendo-se usado, como referência, uma moradia unifamiliar localizada na cidade de Coimbra.

Os diferentes resultados apresentados e analisados foram obtidos em várias iterações. Tirando partido das características do IRIS, foi possível incluir as preferências do decisor quer através de restrições aos pesos dos critérios quer através de exemplos de classificação, o que permitiu uma progressiva redução na variação da classificação das medidas consideradas. O processo iterativo termina quando o decisor considerar que os resultados obtidos são satisfatórios. Caso contrário, o decisor pode prosseguir com o processo, uma vez que a metodologia usada neste estudo permite alterar a informação previamente incluída e também introduzir, em qualquer fase do processo, novas medidas para avaliação.

As várias medidas avaliadas ao longo deste trabalho constituem uma das vertentes com maior interesse na reabilitação de edifícios. O conhecimento, tão exaustivo quanto possível, das

medidas de reabilitação energética, dos condicionalismos técnicos da sua implementação e funcionais, constituem elementos relevantes para que se possam tomar as opções mais corretas e melhor fundamentadas.

O atual cenário de crise económica limita o orçamento das famílias o que consequentemente limita a aposta na reabilitação, que por sua vez reduz as condições de conforto ou mesmo de habitabilidade.

As preocupações com a eficiência e com o desempenho energético dos edifícios devem ser mantidas e intensificadas além do âmbito explorado no presente trabalho. Uma maior preocupação com esta temática pode contribuir para o reforço e garantia das condições de vida da população atual e para as gerações futuras. A criação, difusão e implementação de um manual de boas práticas poderia contribuir para um maior conhecimento sobre o desempenho energético dos edifícios, podendo contribuir para uma redução dos consumos de energia e consequente redução das emissões de CO₂.

REFERÊNCIAS

- A.F. Estores (2015). Tabela de preços AF Estores. Acedido a 3 de agosto de 2015 em: <http://orcamentos.eu/>
- ADENE (2008). *Portugal Eficiência 2015*. Acedido a 5 de maio de 2015 em <http://www2.adene.pt/>
- ADENE (2015). *Certificação energética e Ar interior*. Acedido a 15 de junho de 2015 em: <http://www2.adene.pt/>
- Aki (2015). *Termoacumuladores*. Acedido a 3 de agosto de 2015 em: <https://www.aki.pt/>
- Almeida, M., Ferreira, M., Rodrigues, A. (2013). Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo, *Revista Materiais de Construção*, 2013, pp. 30-36.
- Antunes, C. e Alves, M. (2014). *Otimização Multiobjetivo*. Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores e Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra. Acedido a 30 de julho de 2015 em: <http://www.dep.uminho.pt/>
- Assembleia da República. Lei n.º 58/2013 de 20 de agosto. Diário da República, 1.ª série — N.º 159, 20 de agosto de 2013.
- Associação Ibérica de poliestireno extruído (2011). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Acedido a 15 de junho de 2015 em: <http://www.aipex.es>
- Borrego, C. M. Lopes, I. Ribeiro, A. Carvalho (2009). *As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio*. DEBATER A EUROPA Periódico do CIEDA e do CIEJD, em parceria com GPE, RCE e o CEIS20. N.1 Junho/Dezembro 2009 – Semestral ISSN 1647-6336. Disponível em: <http://www.europe-direct-aveiro.aeva.eu/debaterueuropa/>
- Bragança, Luis e Mateus, Ricardo (2006). *Sustentabilidade de soluções construtivas*. Atas do Congresso sobre Construção Sustentável. Porto, Portugal, 2006.
- Breeam (2011). *Breeam New Construction*. Acedido a 6 de junho de 2015 em: <http://www.breeam.org>
- Brundtland, G. (1987). *Our common future: The world commission on environment and development*, Oxford University Press, Oxford
- Camacho, Gustavo e Silva, Sandra (2014). *Medidas para a Melhoria da Qualidade do Ambiente Interior e da Eficiência Energética das Habitações de Famílias de Baixo rendimento*. Atas da II Workshop em Construção e Reabilitação Sustentáveis, 10 outubro 2014, Guimarães, Portugal.
- Caputo, P., Costa, G., & Ferrari, S. (2013). A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale. *Energy Policy*, 55, 261-270.

- Casbee (2008). *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency – CASBEE for New Construction – Technical Manual*. Acedido a 6 de junho de 2015 em: <http://www.ibec.or.jp/>
- Coelho, Dulce H., (2012). *Apoio à Decisão em Planeamento Energético Urbano Integrado*. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra.
- Coelho, Dulce H., Carlos Henggeler Antunes, António G. Martins (2013). Applying a Multicriteria Model to Evaluate Renovation Measures in the Existing Building Stock at Urban Scale, *Proceedings of Energy for Sustainability*, 8-10 de setembro, Universidade de Coimbra, 2013.
- Comini, R., Clement, F., Puente, F., Orlandi, A., Oliveira, I., Lima, P., Beirão. (2008). *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. Acedido a 5 de maio de 2015 em: <http://www2.adene.pt/>
- Construção Sustentável (2012). *Ventilação Natural*. Acedido a 15 de junho de 2015 em: <http://www.construcaosustentavel.pt/>
- Galante, A., & Pasetti, G. (2012). A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks. *Sustainable Cities and Society*, 4, 12-21.
- Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril, *Diário da República* nº 67— I SÉRIE-A. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril, *Diário da República* nº 67— I SÉRIE-A. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação. Lisboa
- Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, *Diário da República* nº 67— I SÉRIE-A. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, *Diário da República*, 1.ª série — N.º 159, 20 de agosto de 2013. Ministério da Economia e do Emprego.
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia (2004). *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. Acedido a 5 de maio de 2015 em: <http://www.dgeg.pt/>
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia (2015). *Balanço energético Sintético de 2014*. Acedido a 5 de maio de 2015 em: <http://www.dgeg.pt/>
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia (2015a). *Eficiência energética*. Acedido a 26 de fevereiro de 2015 em: <http://www.dgeg.pt>
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia (2015b) *Política energética*. Acedido a 3 de março de 2015 em: <http://www.dgeg.pt>
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia (2015c). *Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios*. Acedido a 5 de maio de 2015, em <http://www.dgeg.pt/>
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia (2016). *Caraterização Energética Nacional 2012*. Acedido a 31 de março de 2016, em <http://www.dgeg.pt/>
- Dias, L. C., & Mousseau, V. (2002). IRIS: um SAD para problemas de classificação baseado em agregação multicritério. Acedido a 30 de julho de 2015 em: <http://www.uc.pt/>

- Diretiva 2002/91/CE. Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético de edifícios. In Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L1/ 65 de 04/ 01/ 2003.
- Diretiva 2010/31/UE. Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. In Jornal Oficial da União Europeia, L 153/13 de 18/06/2010.
- Diretiva 2012/27/UE. Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativa à eficiência energética. In Jornal Oficial da União Europeia, L 315/11 de 14/11/2012.
- Ecocasa (2011). *PROJETO ECOFAMÍLIAS II 2009 – 2011*. Acedido a 5 de maio de 2015, em: <http://ecocasa.pt/>
- Ecocasa (2015a). *Redução do consumo de água nas torneiras*. Acedido a 15 de junho de 2015 em: <http://ecocasa.pt/>
- Ecocasa (2015b). *Climatização-Sistemas de climatização*. Acedido a 15 de junho de 2015 em: <http://ecocasa.pt/>
- Enat (2015). *Biomassa*. Acedido a 31 de julho de 2015 em: <http://pt.enat.pt/>
- Energias de Portugal (2006). *Guia prático da eficiência energética*. Acedido a 17 de junho de 2015 em: <http://ws.cgd.pt/>
- ERSE, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (2015). *Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica*. Acedido a 15 de junho de 2015 em: <http://www.erse.pt/>
- Ferreira, J, Pinheiro, M, Brito, J (2015). *Comparação das ferramentas nacionais de avaliação da sustentabilidade na construção com o BREEAM e o LEED - uma perspetiva energética*. Engenharia Civil Nº 43/2012, 5-27.
- Häkkinen, T. (2012). Systematic method for the sustainability analysis of refurbishment concepts of exterior walls. *Construction and Building Materials*, 37, 783-790.
- Ihm, P., & Krarti, M. (2012). Design optimization of energy efficient residential buildings in Tunisia. *Building and Environment*, 58, 81-90.
- INE, Instituto Nacional de Estatística (2012). *Censos 2011 Resultados Definitivos*. Acedido a 3 de março de 2015 em: <http://www.ine.pt>
- INE, Instituto Nacional de Estatística (2014). *Estatísticas da Construção e Habitação 2013*. Acedido a 3 de março de 2015 em: <https://www.ine.pt>
- INE e DGEG, Instituto Nacional de Estatística/Direção Geral de Energia e Geologia (2011). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2010)*. Acedido a 5 de maio de 2015 em: <http://www.ine.pt>
- IRIS (version 2.0). Disponível em: <http://www.uc.pt/feuc/ldias/software/iris>
- Jardim, Fátima Maria Gomes (2009). *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal.

- Kibert, C. J. (1994). *Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction*, Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction of CIB TG 16, págs. 917. Center for Construction and Environment, University of Florida, Tampa, Florida
- Leed (2015). *Leed*. Acedido a 7 de junho de 2015 em: <http://www.usgbc.org/leed>
- LiderA (2015). *Sistema de avaliação da sustentabilidade*. Acedido a 7 de junho de 2015 em: <http://www.lidera.info/>
- Luzio, João Miguel Gonçalves (2009). *Certificação Térmica de Edifícios Existentes - Estudo Técnico- Económico da Reabilitação Energética de Coberturas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.
- Marla (2015). *Painéis solares*. Acedido a 3 de agosto de 2015 em: <http://www.marla.pt/>
- Mateus, Rui (2012). *Construção Sustentável - Contributo para a avaliação e diagnóstico das necessidades de reabilitação de edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia- Universidade Nova de Lisboa.
- Megaclima (2015). *Ar condicionado*. Acedido a 3 de agosto de 2015 em: <http://www.megaclima.pt/>
- Mkti (2015). *Piso radiante elétrico*. Acedido a 31 de julho de 2015 em: <http://www.mkti.pt/>
- Multi-janela (2015). Acedido a 3 de agosto de 2015 em: <http://multi-janela.com/>
- Pacto de Autarcas (2013). *Anexo técnico às instruções do modelo de PAES - Fatores de emissão*. Acedido a 30 de julho de 2015 em: <http://www.pagadnennemerau.eu>
- Pan, D., Chan, M., Deng, S., & Lin, Z. (2012). The effects of external wall insulation thickness on annual cooling and heating energy uses under different climates. *Applied Energy*, 97, 313-318.
- Philips (2015). *Iluminação*. Acedido a 31 de julho de 2015 em: <http://www.philips.pt/>
- Pinheiro, M.D (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*, Instituto do Ambiente, Amadora. Acedido a 6 de junho de 2015 em: https://www.lidera.info/resources/ACS_Manuel_Pinheiro.pdf
- Pinto e Cruz (2015). *Climatização e energias renováveis*. Acedido a 3 de agosto de 2015 em: <http://www.pintocruz.pt/>
- Portal da habitação (2015). *Construção Sustentável*. Acedido a 6 de junho de 2015 em: <https://www.portaldahabitacao.pt>
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013. Diário da República, 1ª série - N.º 70, 10 de abril de 2013.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 11-C/2015. Lisboa: Diário da República, 1.ª série - N.º 52, 16 de março de 2015., Presidência do Conselho de Ministros.
- Roofmate (2015). Acedido a 3 de agosto de 2015 em: <http://roofmate.materiaisdeconstrucao.org/>

Santos, C. (2012), Reabilitação de Edifícios para Promoção do Conforto e da Eficiência Energética. Comunicação apresentada na Net Zero-Energy Buildings Conference, 25 e 26 de Junho, Lisboa, em:

<http://www.lneg.pt/download/5656/Reabilita%E7%E3o%20de%20edif%EDciospara%20pro mo%E7%E3o%20do%20confortoe%20da%20efici%EAncia%20energ%E9tica%20-pina%20santos.pdf>

Saint-Gobain Glass (2012). *Por um habitat sustentável*. Acedido a 6 junho de 2015 em: <http://climalit.pt>

Solar (2015). Acedido a 17 de junho de 2015 em: <http://energiasrenovaveis.com/>

Yaşar, Y., & Kalfa, S. M. (2012). The effects of window alternatives on energy efficiency and building economy in high-rise residential buildings in moderate to humid climates. *Energy conversion and management*, 64, 170-181.