

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro a toda a minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, que sempre me apoiaram e incentivaram durante o meu percurso académico, permitindo que conseguisse concluir com sucesso mais esta etapa.

Ao professor, José Júlio Braga Correia da Silva, orientador deste trabalho, que me motivou e aconselhou para a realização deste.

Ao Arquitecto Nuno Pais da Câmara Municipal de Évora, Engenheiro Bruno Constantino e Arquitecto Luís Pereira da empresa Recuperévora, as informações e opiniões facultadas, de quem conhece a realidade destes edifícios, foram muito importantes.

Os meus sinceros agradecimentos para todos os colegas e amigos que ao longo deste meu percurso académico em muito contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Por fim, os meus agradecimentos para a Eva Gomes, pela enorme motivação dada e pelas suas sugestões.

RESUMO

No século XXI as alterações climáticas, eventualmente, associadas à libertação de gases com efeito de estufa, são um tema de preocupação mundial. Por outro lado os edifícios são responsáveis por uma importante parcela da energia final consumida.

Assim surge como premente a necessidade de melhoria da eficiência energética dos edifícios, nomeadamente no âmbito das operações de reabilitação. Neste trabalho são inventariadas soluções de reabilitação energética, nomeadamente, intervenção em caixilharias, reforço de isolamento térmico da envolvente exterior, controlo de infiltrações de ar e recurso a tecnologias solares activas. É efectuada a análise da eficiência energética de um edifício representativo das tipologias mais frequentemente usadas no Centro Histórico de Évora e posteriormente são realizados estudos, com aplicação das diferentes soluções de reabilitação energética, para avaliar de que forma evolui a eficiência energética do edifício. Como conclusão efectua-se uma optimização das soluções a aplicar ao edifício para atingir uma classificação energética A+.

Palavras-Chave: Reabilitação Energética; Eficiência Energética; Soluções de Reabilitação Energética; Classificação Energética A+; Conforto Térmico;

ABSTRACT

“Strategies for Building Rehabilitation located in Évora. Purpose energy efficiency classified as A+”

In the twenty-first century climate change, eventually associated with the release of greenhouse gases, are topics of worldwide concern. On the other hand the buildings are responsible for a significant part of final energy consumption.

In this work are listed rehabilitation energy measures such as, rehabilitation of window frames, reinforcement of the external insulation, control of air leaks and use of active solar technologies. A survey of the energy efficiency of a building, representative of the type, more usual, used in the Historic Centre of Évora is made and later studies are made using different energy rehabilitation technologies in order to understand how the energy efficiency of a building evolves. In conclusion, an optimization of the measures to implement on a building is carried out, so that it achieves energy rating.

Keywords: Energy Rehabilitation; Energy Efficiency; Energy Rehabilitation Techniques; Energy Rating A +; Thermal Comfort

Índice geral

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
Índice de Figuras	IX
Índice de Quadros	XI
1. Introdução	1
2. Terminologia e evolução do conceito de conservação de edifícios	4
2.1. Terminologia	4
2.1. Teoria da conservação	4
3. Eficiência energética	6
3.1. Protocolo de Quioto e a alteração das políticas nacionais	6
3.2. Eficiência energética de edifícios	7
4. Reabilitação energética de edifícios	10
4.1. Reabilitação energética – situação actual	10
4.2. Caracterização do sector da construção em Portugal	11
4.3. Estatísticas de consumo energético	14
4.4. Caracterização do edificado	16
4.5. Estatísticas das despesas das famílias	19
4.6. Reabilitação energética – Portugal	20
5. Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)	22
5.1. Índices Térmicos	23
5.1.1. Necessidades Nominais de Energia Útil para Aquecimento	23
5.1.2. Necessidades Nominais de Energia Útil para Arrefecimento	24
5.1.3. Necessidades Nominais de Energia Útil para produção de AQS	24
5.1.4. Necessidades Nominais Globais de Energia Primária de um edifício	24
5.2. Classificação Energética – Despacho nº 10250/2008	25
5.3. Método de Cálculo Simplificado - Despacho nº 11020/2009	26
6. Enquadramento com a Região de Estudo – Évora	27
6.1. Cidade de Évora	27
6.2. Centro Histórico cidade de Évora	27
6.2.1. Caracterização	27
6.2.2. Caracterização do Edificado	28

6.3.	Plano de Urbanização de Évora - Regulamento Centro Histórico da Cidade	29
6.3.1.	Definições do PUE	29
6.3.2.	Disposições gerais do PUE no Centro Histórico	30
6.3.3.	Classificação do património histórico edificado	30
6.3.3.1.	Imóveis classificados	31
6.3.3.2.	Edificações de valor patrimonial.....	31
6.3.3.3.	Fachadas de valor patrimonial.....	31
6.3.3.4.	Elementos pontuais de valor patrimonial	32
6.3.3.5.	Zonas de vestígios arqueológicos	32
6.3.4.	Condicionamentos à realização de obras.....	32
6.3.4.1.	Condicionantes às obras de conservação	32
6.3.4.2.	Condicionantes às obras de alteração ou ampliação	32
6.3.4.3.	Condicionantes às obras de reconstrução	33
6.3.4.4.	Condicionantes às obras de reabilitação	33
6.3.5.	Condicionantes relativas aos acabamentos exteriores.....	33
6.3.5.1.	Acabamentos nas coberturas	33
6.3.5.2.	Revestimentos para acabamentos exteriores.....	35
6.3.5.3.	Caixilharias.....	35
6.3.5.4.	Equipamentos técnicos	35
6.3.5.5.	Elementos pontuais de património	36
6.4.	Condicionamentos do clima	36
7.	Soluções de reabilitação energética	37
7.1.	Protecção térmica da envolvente dos edifícios	38
7.1.1.	Reabilitação térmica das paredes exteriores.....	38
7.1.1.1.	Isolamento Térmico pelo Interior	38
7.1.1.1.1.	Painéis isolantes	39
7.1.1.1.2.	Contra-fachadas	39
7.1.1.2.	Isolamento térmico na caixa-de-ar	41
7.1.2.	Reabilitação térmica dos pavimentos	41
7.1.3.	Reabilitação térmica das coberturas.....	43

7.1.3.1.	Coberturas inclinadas.....	43
7.1.3.2.	Coberturas horizontais.....	45
7.1.4.	Reabilitação térmica dos vãos envidraçados.....	46
7.1.4.1.	Reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados e redução das infiltrações de ar não controladas.....	47
7.1.4.2.	Controlo dos ganhos solares nos vãos envidraçados.....	49
7.1.4.2.1.	Diminuição da área dos envidraçados.....	50
7.1.4.2.2.	Controlo das propriedades dos envidraçados.....	50
7.1.4.2.3.	Dispositivos de sombreamento exteriores.....	50
7.2.	Controlo das infiltrações de ar.....	51
7.3.	Sistemas solares passivos e activos.....	52
7.3.1.	Sistemas solares passivos.....	52
7.3.1.1.	Sistema de arrefecimento natural dos edifícios.....	52
7.3.1.1.1.	Ventilação natural.....	52
7.3.1.2.	Sistemas de aquecimento natural.....	54
7.3.1.2.1.	Ganhos directos.....	54
7.3.2.	Sistemas solares activos.....	55
7.4.	Melhoria da eficiência dos sistemas e equipamentos energéticos.....	55
8.	Caso de estudo.....	56
8.1.	Caracterização do edifício.....	56
8.1.1.	Enquadramento urbanístico e localização do edifício.....	56
8.1.2.	Classificação do edifício pelo Plano de Urbanização de Évora.....	58
8.1.3.	Alçados e plantas.....	59
8.1.4.	Fracções autónomas do edifício.....	69
8.2.	Tipologia construtiva – paredes, pavimentos, cobertura e caixilharias.....	72
8.2.1.	Paredes.....	72
8.2.2.	Pavimentos.....	74
8.2.2.1.	Pavimentos térreos.....	74
8.2.2.2.	Pavimentos intermédios – tectos em abobadilha.....	74
8.2.2.3.	Pavimentos intermédios – soalhos de madeira.....	75

8.2.3.	Cobertura	75
8.2.4.	Caixilharias	77
8.3.	Caracterização dos Espaços não-úteis existentes no edifício	77
8.3.1.	Armazém	78
8.3.2.	Zona comum de acesso n.º23	78
8.3.3.	Zona comum de acesso n.º121	79
8.3.4.	Sótão (sobre as fracções autónomas 3 e 4)	79
8.3.5.	Desvão ventilado (sobre as fracções autónomas 3 e 4)	79
8.4.	Zonamento climático	79
8.5.	Análise da eficiência energética (RCCTE) – situação existente	80
8.5.1.	Situação existente – fracção autónoma 1	80
8.5.2.	Situação existente – fracção autónoma 2	83
8.5.3.	Situação existente – fracção autónoma 3	85
8.5.4.	Situação existente – fracção autónoma 4	87
8.5.5.	Situação existente – fracção autónoma 5	89
8.5.6.	Resumo da análise da eficiência energética	91
8.6.	Conjunto de medidas de reabilitação energética	92
8.6.1.	Conjunto 1: intervenção em caixilharias e portas.....	92
8.6.2.	Conjunto 2: reforço isolamento em paredes exteriores e paredes com espaços não - úteis ou edifícios adjacentes	94
8.6.3.	Conjunto 3: isolamento pavimentos	96
8.6.4.	Conjunto 4: isolamento cobertura	97
8.6.5.	Conjunto 5: sistemas solares activos.....	98
8.6.6.	Conjunto 6: Ventilação Natural.....	100
8.7.	Análise da eficiência energética (RCCTE) – medidas de reabilitação	101
8.7.1.	Aplicação do conjunto de medidas 1	102
8.7.2.	Aplicação do conjunto de medidas 2	104
8.7.3.	Aplicação do conjunto de medidas 3	106
8.7.4.	Aplicação do conjunto de medidas 4	108
8.7.5.	Aplicação do conjunto de soluções 5	110

8.8.	Comparação da eficiência energética das soluções de reabilitação	111
8.9.	Objectivo: eficiência energética classe A+	117
9.	Considerações Finais.....	122
10.	Bibliografia	126
11.	Anexos	130
11.1.	Terminologia de Conservação de Edifícios	131
11.1.1.	Manutenção.....	131
11.1.2.	Reparação.....	131
11.1.3.	Restauro	131
11.1.4.	Reconstrução	131
11.1.5.	Reabilitação	131
11.1.6.	Outros Conceitos.....	132
11.1.6.1.	Reversibilidade	132
11.1.6.2.	Patine	132
11.2.	Carta de Veneza - 1964.....	133
11.3.	Definições do PUE.....	137
11.4.	Cálculos Auxiliares	138
11.5.	Peças Desenhadas	139

Índice de figuras

Figura 1: Esquema "Négawatt"	11
Figura 2: Centro Histórico da cidade de Évora	27
Figura 3: (A) Telha canudo; (B) Telha romana	34
Figura 4: Exemplo de diferentes tipos de tijoleira	34
Figura 5: Exemplos de painéis isolantes pré-fabricados	39
Figura 6: Pormenor construtivo de Contra-fachada, (A) com recurso a alvenaria de tijolo, (B) com recurso a gesso cartonado.....	40
Figura 7: Isolamento térmico em pavimentos, (A) Posição inferior, (B) Posição intermédia, (C) Posição Superior	42
Figura 8: Reforço de isolamento térmico na camada intermédia de pavimento em madeira	43
Figura 9: Pormenores da colocação do isolamento térmico nas vertentes da cobertura	44
Figura 10: Diferentes soluções de colocação do isolamento térmico na laje de esteira	45
Figura 11: Isolamento térmico de coberturas horizontais, (A) Isolante como suporte da impermeabilização, (B) Cobertura invertida	46
Figura 12: Possibilidades de aberturas nos vãos envidraçados para controlo de ar.....	48
Figura 13: Coeficientes globais de transmissão térmica dos vãos envidraçados	49
Figura 14: Protecções solares exteriores, (A) Estores ajustáveis, (B) Protecções totais ajustáveis	51
Figura 15: Exemplo de funcionamento de sistemas de ventilação natural	53
Figura 16: Esquema exemplificativo de sistema de ganhos solares directos	54
Figura 17: (A) Painel solar de AQS (Fonte: Catálogo Junkers 2010);(B) Painel Fotovoltaico	55
Figura 18: Localização do edifício em estudo no centro histórico da cidade de Évora	57
Figura 19: Planta de localização do edifício.....	58
Figura 20: Planta do piso térreo	60
Figura 21: Planta do 1º andar.....	61
Figura 22: Planta do sótão.....	62
Figura 23: Planta de cobertura.....	63
Figura 24: Alçado A, Rua da Moeda	64
Figura 25: (A) Vista geral da Rua da Moeda nas imediações do edifício em estudo; (B) Edifício em contacto com fracções vizinhas; (C) Porta de acesso às escadas do n.º121 na Rua da Moeda	65
Figura 26: Alçado B, Travessa da Bota	66

Figura 27: (A) Vista geral da Travessa da Bota nas imediações do edifício em estudo; (B) Fachada do edifício; (C) Pormenor de caixilharia do vão envidraçado e degradação do reboco exterior; (D) Porta do n.º9 com permeabilidade ao ar não controlada	67
Figura 28: Alçado C, Travessa das Contreyras	68
Figura 29: (A) Vista geral da Travessa das Contreyras nas imediações do edifício em estudo; (B) Fachada do edifício; (C) Pormenor de caixilharia do vão envidraçado e degradação do reboco exterior 1º andar; (D) Rés-do-chão caixilharias e degradação do reboco.	69
Figura 30: Fracções autónomas do rés-do-chão e espaço não-útil (armazém)	70
Figura 31: Fracções autónomas existentes no 1º andar	71
Figura 32: Tijolos maciços com argamassa tradicional de cal na fachada exterior, em contacto com o pavimento da rua e pedra de cantaria da porta (Travessa da Bota)	72
Figura 33: Degradação do reboco existente na parede exterior do edifício permite estabelecer uma espessura aproximada.	73
Figura 34: Pormenor da caixilharia de madeira existente na fachada do edifício com cortina interior e vidro simples.	77
Figura 35: Exemplo de caixilharia de madeira com vidro duplo	93
Figura 36: Portadas interiores em madeira	94
Figura 37: Painéis solares marca Baxiroca, modelo PS 2.4 STI.....	99
Figura 38: Sistema de fixação dos painéis solares para o caso de estudo	100

Índice de quadros

Quadro 1: Edifícios concluídos para habitação familiar, por tipo de obra, 2001-2009.....	13
Quadro 2: Indicadores energéticos entre 1990 e 2001, Europa e Portugal.....	15
Quadro 3: Consumo final de energia por sector de actividade, anual	16
Quadro 4: Número de edifícios por época construtiva e zona geográfica.....	17
Quadro 5: Edifícios segundo a época de construção por necessidades de reparação.....	18
Quadro 6: Classificação energética de edifícios, com DCR ou CE do Tipo A	26
Quadro 7: Resumo de soluções possíveis para reforço térmico de pavimentos	43
Quadro 8: Soluções de reforço do isolamento térmico em coberturas	46
Quadro 9: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 1.	81
Quadro 10: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 1.	81
Quadro 11: Resumo da determinação das necessidades nominais de energia para AQS da fracção autónoma 1.	82
Quadro 12: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 1.....	83
Quadro 13: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 2.	84
Quadro 14: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 2.	84
Quadro 15: Resumo da determinação das necessidades nominais de energia para AQS da fracção autónoma 2	85
Quadro 16: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 2.....	85
Quadro 17: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 3.	86
Quadro 18: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 3.	86
Quadro 19: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 3.....	87
Quadro 20: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 4.	88
Quadro 21: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 4.	88
Quadro 22: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 4.....	89

Quadro 23: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 5.	89
Quadro 24: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 5.	90
Quadro 25: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 5.	91
Quadro 26: Necessidades nominais de energia para aquecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 1.	102
Quadro 27: Necessidades nominais de energia para arrefecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 1.	103
Quadro 28: Evolução das necessidades globais de energia primária, referente ao conjunto de soluções de reabilitação 1.	103
Quadro 29: Necessidades de energia para aquecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 2.	105
Quadro 30: Necessidades nominais de energia para arrefecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 2.	105
Quadro 31: Evolução das necessidades globais de energia primária, referente ao conjunto de soluções de reabilitação 2.	106
Quadro 32: Necessidades de energia para aquecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 3.	107
Quadro 33: Necessidades Nominais de energia para arrefecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 3.	107
Quadro 34: Evolução das necessidades globais de energia primária, referente ao conjunto de soluções de reabilitação 3.	108
Quadro 35: Necessidades de energia para aquecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 4.	108
Quadro 36: Necessidades Nominais de energia para arrefecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 4.	109
Quadro 37: Evolução das necessidades globais de energia primária, referente ao conjunto de soluções de reabilitação 4.	109
Quadro 38: Resultados obtidos de necessidades de energia para preparação de AQS com colocação de painéis solares.	110
Quadro 39: Necessidades globais de energia primária do edifício, após colocação de sistemas solares activos.	111
Quadro 40: Aplicação conjunta de medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para aquecimento.	118

Quadro 41: Aplicação conjunta de medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para arrefecimento.	118
Quadro 42: Aplicação conjunta de medidas de reabilitação, necessidades de energia para preparação de AQS.	119
Quadro 43: Aplicação conjunta das medidas de reabilitação energética, necessidades globais de energia primária.	119
Quadro 44: Alterações provocadas nas necessidades de energia para preparação de AQS, melhoria da eficiência de conversão do sistema de preparação.	120
Quadro 45: Necessidades globais de energia primária, objectivo classe A+.	121

Índice de gráficos

Gráfico 1: Reabilitação do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2009	12
Gráfico 2: Intervenções de reabilitação no total do sector da construção, Junho 2005.....	13
Gráfico 3: Despesa total anual média por agregado e divisões da COICOP, Portugal, 2005/2006.....	19
Gráfico 4: Evolução da despesa total anual média por agregado e divisões da COICOP, Portugal, 1994/95 - 2005/2006	19
Gráfico 5: Eficiência energética por fracção autónoma - existente	91
Gráfico 6: Análise comparativa das diferentes medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para aquecimento.....	112
Gráfico 7: Análise comparativa das diferentes medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para arrefecimento.....	114
Gráfico 8: Análise comparativa das diferentes medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para preparação de AQS.....	115
Gráfico 9: Análise comparativa das diferentes medidas de reabilitação, necessidades globais de energia primária.....	116

1. Introdução

As questões relacionadas com a sustentabilidade e com o consumo de recursos constituem um dos mais importantes factores no quadro da nova economia mundial. Na União Europeia (UE), o parque habitacional apresenta uma baixa eficiência energética sendo responsável por 40% do consumo energético total e por um terço das emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera, segundo a Directiva Europeia 2002/91/CE.

Em Portugal, em 2001, por cada 100 edifícios construídos entre 1991 e 2001 existiam 99 edifícios construídos antes de 1945, e 81% dos edifícios construídos datam de antes de 1990, ou seja, antes da publicação do primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (INE, Censur 2001). Quanto ao mercado da energia português, 84,8% da energia é importada e o sector da habitação é o terceiro grande consumidor de energia final com 17,1% (INE, Estatísticas Anuais 2008).

Para inverter os resultados negativos da eficiência energética no sector da habitação, que se generalizam por toda a União Europeia, foi publicada a Directiva Comunitária 2002/91/CE, que foi transposta para a legislação nacional por diversos diplomas, dos quais importa salientar o Decreto-Lei n.º 80/2006.

O Decreto-Lei n.º 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (comumente designado pela sigla, RCCTE), estabelece, no seu Artigo 2.º Âmbito de Aplicação, que este regulamento também é aplicável *“às grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias dos edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização já existentes (...)”*, sendo que também se define como grande remodelação ou alteração *“as intervenções na envolvente ou nas instalações cujo custo seja superior a 25% do valor do edifício, calculado com base num valor de referência C_{Ref} (...)”*. Este valor está fixado em 741,48€ para Évora e para ano de 2010, segundo a Portaria n.º1379-B/2009.

Esta Dissertação de Mestrado elaborada no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil da Universidade de Évora, com o título *“Estratégias para a reabilitação de edifícios localizados na região de Évora, visando a eficiência energética classificada como A+”*, tem como objectivo o estudo e a análise das soluções técnicas aplicadas na reabilitação de edifícios com a finalidade de melhorar o desempenho energético destes.

Para a realização deste trabalho, centrámos a atenção no Centro Histórico da cidade de Évora, pelo facto de estar classificado como Património da Humanidade pela UNESCO, mas também porque as carências de reabilitação de edifícios que aí se verificam, associadas à relativa uniformidade das soluções construtivas e arquitectónicas, fornecem a este tema grande actualidade e possibilitam que este estudo venha a ter utilidade prática a curto prazo. O Centro Histórico da cidade de Évora é restritivo nas intervenções de conservação possíveis, com objectivo de que sejam preservadas as características fundamentais dos seus edifícios, evitando-se a descaracterização do parque edificado. Assim, foi tido em conta o Plano de Urbanização de Évora (PUE), que é o documento legal que estabelece as condições a verificar nas intervenções em edifícios pertencentes ao Centro Histórico. As soluções propostas para a reabilitação térmica cumprirão os requisitos exigidos pelo PUE, estabelecendo uma forma viável do ponto de vista legal para se atingir a eficiência energética classificada como A+ na localização definida.

Esta dissertação pretende assim contribuir para a reabilitação energética nos edifícios do centro histórico da cidade de Évora, estabelecendo soluções construtivas viáveis, com o objectivo de se obter um melhor desempenho energético dos edifícios aqui localizados. Inicialmente, no trabalho, é apresentada informação acerca da actual teoria da conservação de edifícios, para enquadrar o leitor na filosofia das tecnologias construtivas actualmente utilizadas para o efeito. Seguidamente, analisa-se a ratificação do Protocolo de Quioto por os países pertencentes à União Europeia, e como este acontecimento dá origem à realização de um conjunto de directivas comunitárias que são transpostas para a legislação nacional. Introduzidos os conceitos fundamentais, é então efectuada uma análise da situação actual da reabilitação energética, com base em dados estatísticos recolhidos, estabelecendo uma comparação entre Portugal e os restantes países pertencentes à União Europeia.

Antes da apresentação das soluções construtivas disponíveis para as intervenções de reabilitação energética, são esclarecidos os principais conceitos presentes no RCCTE e no PUE. Esta análise mais detalhada permitirá identificar quais as soluções construtivas, enquadradas no conceito de reabilitação energética, que são exequíveis para a localização definida. As soluções viáveis serão apresentadas em capítulo próprio, onde se efectua uma análise detalhada de cada uma.

Como concretização da pesquisa realizada no trabalho, efectua-se um caso de estudo num edifício de habitação do Centro Histórico, de onde será possível retirar conclusões para cada solução de intervenção. O edifício seleccionado é real, e foi escolhido com o objectivo de se assemelhar o mais possível com a forma de construir existente neste local.

A primeira acção realizada no caso de estudo é a análise da eficiência energética que se verifica no edifício existente, permitindo assim saber qual a classificação da eficiência energética

deste, tal como se encontra actualmente. Caracterizado o estado actual do edifício, são definidos seis conjuntos de soluções construtivas para a reabilitação energética. Os conjuntos de soluções de intervenção foram definidos com o objectivo de entender qual a forma mais eficaz de melhorar o desempenho energético do edifício. A criação destes visa igualmente evitar que se actue simultaneamente sobre diferentes elementos construtivos (p.e. reforço do isolamento de paredes exteriores e reforço do isolamento térmico da cobertura realizados simultaneamente), o que acabaria por criar resultados ambíguos, onde não seria perceptível qual a solução construtiva que contribui maioritariamente para a melhoria do desempenho energético do edifício. As soluções construtivas serão então agrupadas da seguinte forma: caixilharias e portas, paredes, pavimentos, cobertura, sistemas solares activos e ventilação. Depois dos cálculos efectuados para cada um dos conjuntos de soluções construtivas serão analisados detalhadamente os resultados obtidos.

Por fim, serão aplicadas simultaneamente as soluções construtivas que foram anteriormente analisadas de forma separada, com o objectivo de obter a classificação A+ para a eficiência energética, objectivo que este trabalho se propõe atingir.

Os resultados obtidos no caso de estudo poderão constituir uma aproximação para outros edifícios dentro da mesma localização, embora se deva salvaguardar, que cada intervenção de reabilitação é única e por isso a escolha das soluções de reabilitação energética deverá ser feita de acordo com as necessidades e especificidades de cada edifício.

2. Terminologia e evolução do conceito de conservação de edifícios

Antes de desenvolver o trabalho em estratégias de reabilitação energética de edifícios, importa clarificar a terminologia e o conceito de conservação de edifícios existente actualmente. A realização deste capítulo da dissertação de mestrado foi baseada na Memória nº775 do LNEC (informação completa na bibliografia).

2.1. Terminologia

Na área da conservação de edifícios surgem muitas vezes equívocos relacionados com a terminologia aplicada nesta actividade. As terminologias utilizadas são consideradas correntemente, com falta de conhecimento, sinónimos, pelo que importa estabelecer desde o início uma terminologia correcta. Assim no primeiro anexo deste trabalho encontra-se um resumo da terminologia actualmente utilizada (q.v. 11.1), com objectivo de evitar possíveis equívocos.

2.1. Teoria da conservação

A conservação das edificações é uma actividade tão antiga como a própria construção de edifícios (Henriques, 2005). Sintetizando a evolução histórica, podemos diferenciar ao longo dos séculos diferentes teorias de intervenção e de compreensão do património edificado (Paiva, 2006).

Até ao século XVIII, entendia-se como “restauro” qualquer intervenção que tivesse por objectivo a reutilização de uma dada construção que se encontrasse disponível, sendo que as metodologias aplicadas e normas construtivas eram as conhecidas das diferentes épocas. Neste período as edificações antigas eram um bem do qual se retirava o melhor usufruto possível.

Durante o século XIX, procura-se pela primeira vez ampliar os conceitos de património e da sua conservação, após enumeras discussões em torno das metodologias a aplicar. A visão romântica deste século produz atitudes puristas e redutoras, tentando fazer com que os edifícios históricos recuassem até aos pressupostos momentos áureos da sua história, acabando por tornar-se estes edifícios “peças de museu”, surgindo por vezes propostas de destruição de toda a envolvente destes edifícios para que o edifício histórico não perdesse o seu protagonismo.

A partir do final do século XIX surgiu uma nova corrente de teoria de conservação do património que procurava fundamentos rigorosos, sob uma óptica histórica, estética e da ciência, para justificar as intervenções feitas. Esta nova corrente teórica surge da escola italiana, onde Camillo Boito em 1883 escreve “*Risoluzione*”, que se considera a primeira das cartas italianas da conservação de edifícios.

O período pós 2ª Guerra Mundial, é uma época da história, na perspectiva da conservação de edifícios, marcante. Após o final do conflito surge uma maior consciência sobre a importância do património histórico, levando ao debate de como os problemas emergentes, após o conflito, deveriam ser abordados. A enorme quantidade de especialistas presentes em debate originou diferentes posições na definição das metodologias de intervenção. Ainda hoje as diferenças que caracterizam as intervenções de conservação em vários países europeus são visíveis. No seguimento destes debates, surge em 1964 em Veneza, uma reunião internacional de especialistas, da qual resultou um documento que representa, ainda hoje, uma referência para as intervenções de conservação, a Carta de Veneza¹ (Henriques, 2005).

A Carta de Veneza não é um documento exaustivo, deixando muitas questões em aberto, derivado quer a lacunas do documento quer à evolução do próprio sector. Este carácter genérico da Carta de Veneza deriva do facto de tentar encontrar consensos entre as diferentes tradições e culturas do mundo. A Carta de Veneza já foi posta em causa em diversas reuniões internacionais de especialistas, mas até à data presente os seus princípios são considerados válidos (Henriques, 2005). A actual teoria da conservação de edifícios assenta nos princípios e linhas orientadoras estabelecidas pela Carta de Veneza, pelo que se aconselha a sua leitura (q.v. 11.2).

¹ – A *Carta de Veneza* encontra-se em anexo a este trabalho.

3. Eficiência energética

3.1. Protocolo de Quioto e a alteração das políticas nacionais

Nas últimas décadas tem existido uma preocupação crescente com o estado em que se encontra o planeta Terra, de onde, entre muitas convenções, se tem a destacar o Protocolo de Quioto. As grandes quantidades de gases com efeito de estufa, libertadas para a atmosfera a nível planetário, originaram um processo de aquecimento global acelerado que tem vindo a preocupar especialistas ao longo das últimas décadas. Constituindo um problema à escala planetária, a reversibilidade do processo de aquecimento global encontra-se entregue a todos países, e seus habitantes.

O Protocolo de Quioto tem por objectivo estabelecer metas ao nível das emissões de gases, nas quais os países que ratificaram o protocolo, onde se inclui Portugal e os restantes países pertencentes à União Europeia (pois pela directiva 2002/358/CE da União Europeia, os estados membros garantem a sua adesão ao Protocolo de Quioto), se comprometem a reduzir as suas emissões de gases com efeito de estufa em pelo menos 5%, valor relacionado com os níveis de 1990, durante o período de 2008-2012.

Para a realização destes compromissos, são sugeridos aos países, alguns meios de actuação, tais como:

- Reforço ou criação de políticas de redução das emissões de gases com efeito de estufa, sugerindo-se as seguintes:
 - Aumento da eficiência energética;
 - Promoção de formas sustentáveis de agricultura;
 - Aumento do aproveitamento de energia proveniente de fontes renováveis;
- Cooperação com os restantes países que ratificaram o Protocolo de Quioto, através da troca de experiências e de informação, com objectivo de coordenar as políticas nacionais e garantir a eficácia das medidas aplicadas para cumprir o estabelecido no protocolo.

Em Portugal, o Protocolo de Quioto foi aprovado a 25 de Março de 2002, através do Decreto-Lei nº7/2002, onde é reconhecido que as alterações do clima da Terra e os seus efeitos negativos são um problema da Humanidade.

Tendo por base os pressupostos e o cumprimento do Protocolo de Quioto, a União Europeia elaborou um conjunto de directivas que visam sobretudo a aplicação de políticas ao nível dos estados membros.

Deste conjunto de directivas importa salientar a directiva 2006/32/CE, que revoga a directiva 93/76/CEE, sendo esta relativa à eficiência na utilização final da energia e aos serviços energéticos, tendo por objectivo promover a oferta de serviços energéticos com maior eficiência e criar incentivos para aumentar a sua procura, cabendo ao sector público lançar projectos-piloto em matéria de eficiência energética.

A Directiva Europeia 2002/91/CE, que foi revogada recentemente pela directiva 2010/31/EU (estando esta ainda por transpor para a legislação nacional), que é relativa ao desempenho energético dos edifícios, refere que os edifícios são responsáveis por 40% do consumo final de energia da União Europeia, com tendência para o valor aumentar. Esta directiva tem assim como objectivo estabelecer e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as condições externas e condicionantes locais que possam eventualmente existir, bem como exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade económica.

Na transposição para a legislação nacional das Directivas Europeias, surgem um conjunto de diplomas que pretendem concretizar as medidas previstas. Importantes de salientar são as Resoluções de Conselho de Ministros nº 104/2006 e nº 169/2005, onde foram aprovados o Programa Nacional para as Alterações Climáticas e a Estratégia Nacional para a Energia, respectivamente. Na resolução do Conselho de Ministros nº80/2008 é aprovado Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015.

3.2. Eficiência energética de edifícios

A Directiva Europeia 2002/91/CE define assim os seguintes parâmetros a atingir, no sector da construção, relativos à eficiência energética dos edifícios:

- Requisitos mínimos para novos edifícios;
- Requisitos mínimos para intervenções de reabilitação de edifícios;
- Certificação energética obrigatória de edifícios;
- Qualificação profissional adequada dos técnicos para certificação e auditorias;

Da transposição desta Directiva Europeia para a legislação nacional surgem regulamentos com medidas concretas sobre o sector residencial. O Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril define o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE). O SCE

tem como objectivo assegurar a aplicação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), certificar o desempenho energético e qualidade do ar interior dos edifícios, identificar possíveis medidas de melhoria ou correcção de desempenho aplicadas aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado.

Estes dois regulamentos que surgem da transposição da directiva, para a ordem jurídica portuguesa, que visam a definição e a implementação das medidas necessárias à melhoria do desempenho energético dos edifícios têm os seguintes objectivos:

- O RCCTE, publicado no Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril que revogou o anterior Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro (primeiro documento português que visava que as exigências de conforto térmico no interior dos edifícios pudessem ser asseguradas sem dispêndio excessivo de energia), estabeleceu as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que as exigências de conforto térmico, de ventilação para garantia da qualidade do ar e necessidades de água quente sanitária sejam satisfeitas sem dispêndios excessivos de energia e sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas.
- O RSECE, aprovado no Decreto-lei nº 79/2006, estabeleceu nos novos projectos de climatização a implementar requisitos em termos de conforto térmico, da qualidade do ar interior e requisitos mínimos de renovação e tratamento de ar que devem ser assegurados em condições de eficiência energética. Através deste documento são estabelecidos limites aos consumos máximos de energia nos grandes edifícios de serviços existentes.

Estes dois regulamentos são, na actual legislação, os que contribuem para melhorar o desempenho energético nos edifícios novos e existentes. Na continuação deste trabalho passará a considerar-se apenas o RCCTE, visto ser este o regulamento que abrange o edifício escolhido como caso de estudo.

Na sequência do SCE, surgiu um outro diploma importante, e que importa igualmente referir, o Despacho nº 10250/2008, que estabelece a classificação da eficiência energética dos edifícios. Esta classificação é composta por 9 classes, no topo da classificação está a classe A+ (maior eficiência

energética) e na base a classe G (menor eficiência energética). Esta classificação depende do valor R, razão entre as necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) e o limite regulamentar para as necessidades anuais globais para climatização e preparação de águas quentes sanitárias (N_t). Adiante analisaremos com maior detalhe a classificação energética dos edifícios.

4. Reabilitação energética de edifícios

A reabilitação constitui em termos culturais e sociais, alternativa à construção de novos edifícios, garantindo a memória do espaço urbano e das relações sociais instaladas em lugares que possuem características próprias, dentro de um espaço global circundante que é a própria cidade. (Cruz et. al., 2009)

Dada a necessidade mundial de cada país em melhorar o seu desempenho energético, e existindo, naturalmente, património construído ao longo dos anos, que não possuía aquando da sua construção as exigências de eficiência energética que as actuais novas construções possuem, surge a disciplina de reabilitação energética de edifícios. Torna-se então necessário efectuar uma caracterização do património construído para analisar como este pode influenciar o desempenho energético de um país.

Em Portugal a reabilitação energética de edifícios tem sido considerada como muito dispendiosa ou ineficiente, resultando assim uma grande discrepância entre as habitações novas e as existentes, no que respeita à sua eficiência energética (Cruz et. al., 2009).

4.1. Reabilitação energética – situação actual

Considerando que, e como refere a Directiva Europeia 2002/91/CE, o parque habitacional europeu apresenta actualmente, uma baixa eficiência energética, a União Europeia tem por objectivo estratégico melhorar o desempenho dos edifícios. A reabilitação terá assim que ocupar necessariamente um espaço importante neste processo, dado naturalmente o elevado número de edifícios já existentes (Silva et. al., 2009).

Actualmente todos os países pertencentes à União Europeia possuem iniciativas para melhorar o desempenho energético dos seus edifícios impondo limites aos consumos energéticos, por exemplo, na Alemanha existe o rótulo “*Passivhaus*” que é atribuído a habitações novas que consomem menos de 15 kWh/m².ano. Mas no espaço Europeu existem outros países que perceberam o peso do edificado já existente, a França por exemplo, possui a iniciativa “*Négawatt*” (watts negativos, ou seja, electricidade que foi economizada) que tem como objectivo renovar até 2050 os edifícios cuja data de construção é anterior a 1975 para atingir consumos de aquecimento de 50 kWh/m².ano. Esta iniciativa, possui como estratégia de redução dos consumos energéticos o princípio da sobriedade (redução de consumos onerosos), eficiência energética (redução das perdas de energia) e energias renováveis. Na figura 1 é apresentado esquematicamente o objectivo desta iniciativa.

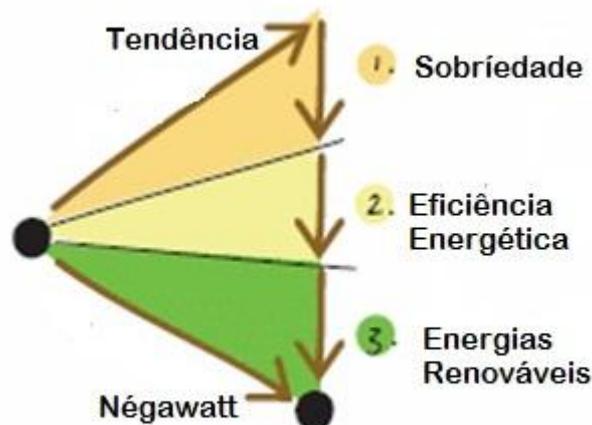


Figura 1: Esquema "Négawatt"

(Fonte: www.negawatt.org)

Em Espanha também foram criadas medidas para melhoria do desempenho energético, com a entrada em vigor do “Código Técnico de la Edificación” em 2006 e do “Real Decreto 47/2007”, este último com o objectivo de estabelecer a classificação energética dos novos edifícios. Para a reabilitação energética dos edifícios existentes, aguarda-se em Espanha a publicação de um novo regulamento que contenha medidas e soluções construtivas possíveis para melhorar o desempenho energético do edificado existente (Huelva, 2009).

Assim, dada a actual globalidade das preocupações energéticas, tem cada vez mais importância a elaboração de propostas de reabilitação que contenham critérios de sustentabilidade e eficiência energética, considerando soluções construtivas adequadas para conseguir melhor desempenho dos edifícios existentes (Huelva, 2009).

Em seguida, realiza-se uma análise dos dados estatísticos relativos a Portugal com objectivo de caracterizar a actual situação do sector da construção, confrontando este com a realidade energética do país e caracterizando o parque habitacional e as necessidades dos seus habitantes.

4.2. Caracterização do sector da construção em Portugal

Em Portugal no ano de 2009, 22,1% dos edifícios concluídos diziam respeito a obras de reabilitação, representando um acréscimo de 1,4% em relação ao ano de 2008 (20,7%). Entre 2003 e 2009 os edifícios licenciados em construções novas para habitação diminuiu 12,8%. Importa referir que intervenções de reabilitação em habitação representam 30% do total, sendo que é nos sectores do comércio e industria onde o peso das reabilitações é mais significativo (Estatísticas da Construção e Habitação 2009, INE).

Segundo a mesma fonte, apesar da grande predominância de construções novas (77,9%), denota-se que a reabilitação de edifícios está a ganhar importância no mercado da construção, onde se dá especial destaque às regiões do Alentejo, Açores, Lisboa e Centro onde a reabilitação de edifícios obteve valores superiores a 22%.

A evolução da construção, gráfico 1, denota que o mais considerável nos últimos anos tem sido a diminuição no sector das novas construções, sendo que o sector da reabilitação tem variado pouco ao longo dos anos.

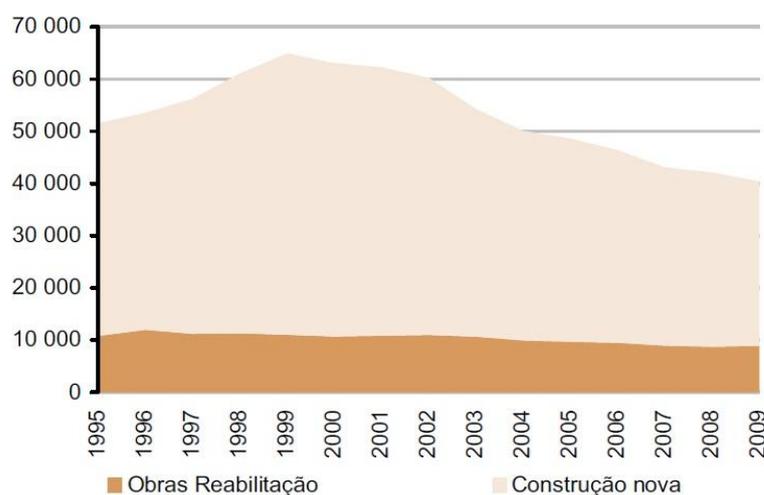


Gráfico 1: Reabilitação do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2009
(Fonte: Estatísticas da Construção e Habitação 2009, INE, 2010)

Da análise do gráfico 1, podemos concluir que, a construção nova atingiu o seu pico em 1999, sendo que na mesma data a quantidade de obras de reabilitação possuía valores muito próximos dos actuais. Em 2009, verifica-se um número de construções novas inferior a todos os anteriores registos até 1995, mas as obras de reabilitação mantêm valores próximos aos registados nos anos anteriores, de onde podemos concluir que face ao número de obras existentes as intervenções de reabilitação ocupam agora uma parte mais significativa do mercado de construção do que há 10 anos atrás.

No quadro 1, em seguida apresentado, podemos apreender que os edifícios reabilitados para habitação têm sofrido um decréscimo nos anos de 2001 a 2006, tendo nos anos 2007 a 2009 sido registada uma ligeira subida, o que poderá indicar que existe um reconhecimento por parte do mercado de que a construção de novas habitações se encontra saturada, centrando-se agora as empresas de construção nas intervenções de reabilitação (Estatísticas da Construção e Habitação 2009, INE).

																			Unidade: Nº
	2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		
	Construção Nova	Reabilitação																	
Portugal	43248	8077	46528	7845	40643	7538	32659	6636	33894	6695	29958	6476	28404	6203	27624	6365	26147	6569	
Norte	16999	2480	17657	2785	15443	2597	11706	2207	11671	2052	9968	1945	9560	1850	9727	1983	9716	2334	
Centro	12381	2810	13707	2743	12029	2461	9725	2036	9755	2034	8472	1920	8085	1740	7851	1865	7561	1923	
Lisboa	5286	242	5993	285	4691	393	4164	485	4322	695	4373	846	4343	1000	3907	894	3503	854	
Alentejo	3701	1119	3832	988	3490	957	2932	905	3078	892	2813	775	2661	716	2410	792	2162	646	
Algarve	2829	406	3024	475	2705	506	2234	458	2872	460	2314	465	2008	459	1885	432	1800	409	
Reg. Aut. Açores	848	381	1070	291	1128	329	908	304	1096	311	1040	283	864	253	997	223	639	212	
Reg. Aut. Madeira	1204	279	1245	278	1167	295	990	241	1100	251	978	242	883	185	847	176	766	191	

Quadro 1: Edifícios concluídos para habitação familiar, por tipo de obra, 2001-2009

(Fonte: Estatísticas da Construção e Habitação 2009, INE, 2010)

Quando comparada a percentagem de obras de reabilitação realizadas em Portugal, com os restantes países da União Europeia (gráfico 2), verificamos que Portugal se encontra abaixo da média europeia. Na Europa, o valor médio, da reabilitação de edifícios é de 44,8%, dos quais 50,8% dizem respeito a reabilitação de edifícios de habitação (Euroconstruct, Junho 2005). Através da análise do gráfico 2 podemos ver que apenas três países se encontram com valores inferiores aos de Portugal, sendo eles a Eslováquia (21,9%), Irlanda (18,6%) e República Checa (13,4%).

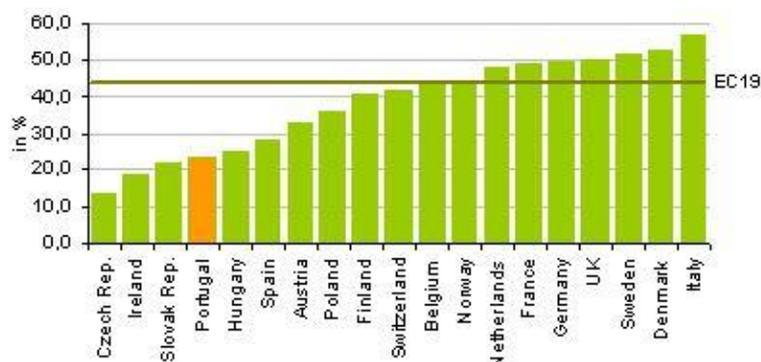


Gráfico 2: Intervenções de reabilitação no total do sector da construção, Junho 2005 (Fonte: Euroconstruct).

Em três países, Suécia, Dinamarca e Itália, a reabilitação já representa mais de 50% do sector da construção (Euroconstruct, 2005). Da análise estatística apresentada podemos concluir que Portugal se encontra distante da média europeia, existindo países na Europa onde as obras de

reabilitação já são mais numerosas que as novas construções. Estes índices poderão ser reveladores das tendências que o mercado da construção poderá vir a seguir em Portugal.

4.3. Estatísticas de consumo energético

A análise do consumo de energia final permitirá identificar qual o peso do sector residencial no desempenho energético do nosso país. Portugal depende em grande parte da importação de energia, embora na última década tenha existido um aumento do investimento nacional no aproveitamento de fontes de energia renováveis (e.g. hidroelétrica, fotovoltaica, eólica, etc.).

Em Portugal, no ano de 2007, foram importados 2.909.866 tep de carvão, 3.773.160 tep de gás natural, 829.126 tep de electricidade e 12.480.389 tep de petróleo bruto, sendo que o total de petróleo importado com fins energéticos foi de 16.752.901 tep. No balanço energético divulgado para o ano de 2006 foram importados 3.497.905 tep de carvão, 3.674.256 tep de gás natural, 741.664 tep de electricidade e 13.633.062 tep de petróleo bruto, com o total de 17.967.058 tep de petróleo com fins energéticos (Balanço Energético, DGEG).

A importação de fontes de energia, poderá depender de múltiplos factores económicos, inclusive do próprio crescimento do país, mas é possível verificar o aumento da importação de electricidade e de gás natural. Muito embora as necessidades de importação de petróleo e de carvão tenham diminuído, a dependência de Portugal de fontes de energia externas continua a possuir valores significativos. Segundo o balanço energético de 2007, da Direcção Geral da Energia e Geologia (DGEG), analisando o total de energia importado e produzido, chegamos à conclusão de que em Portugal, cerca de 84,8% da energia é importada, valor bastante significativo, que se irá repercutir em outros sectores, sendo que a Economia será um dos principais. Utilizando os restantes países da União Europeia como comparação, quadro 2, justificamos a afirmação anteriormente feita, Portugal encontra-se com elevada dependência energética comparativamente aos restantes países da União Europeia.

Consumo Per Capita (tep/per capita)	1990	1995	2001
EU-15	3,617	3,6693	3,925
Portugal	1,707	1,9776	2,369

Dependência de Importações (%)	1990	1995	2001
EU-15	47,47	46,54	50,07
Portugal	86,66	88,98	87,19

Intensidade Energética (tep/10⁶ Euros 95)	1990	1995	2001
EU-15	215,35	207,07	195,19
Portugal	222,42	237,33	239,33

CO₂ toneladas/per capita	1990	1995	2001
EU-15	8,436	8,2088	8,383
Portugal	3,945	4,8708	5,745

Quadro 2: Indicadores energéticos entre 1990 e 2001, Europa e Portugal (Fonte: Eurostat, 2003a)

Na análise comparativa entre Portugal e a União Europeia, com 15 países, verificamos o rápido crescimento *per capita* do consumo energético e da emissão de CO₂ de Portugal. Estes valores que inicialmente eram consideravelmente inferiores à média da União Europeia sofreram um crescimento acelerado na última década, podendo algumas das causas a apontar, ser o desenvolvimento do país bem como a melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes, sendo que a tendência é igualar a média da união europeia. No que respeita à dependência energética verificamos que os valores apresentados confirmam as estatísticas apresentadas pela DGEG, a dependência energética de Portugal é consideravelmente superior à da União Europeia, o mesmo se verifica com a intensidade energética, onde a tendência apresentada por Portugal é de crescimento, enquanto na União Europeia o valor tende a diminuir.

No que se refere ao ano de 2009 a dependência energética da União Europeia, a 27 países, é de 54,7%, prevendo-se que a dependência de Portugal seja de 84,4%, e embora existam mais países na União Europeia, apenas 4 se encontram com uma dependência energética superior à de Portugal. (Eurostat, 2010)

Verificamos então, através dos resultados estatísticos apresentados, que Portugal se encontra numa posição aquém da média europeia no que à dependência energética do exterior diz respeito.

Para compreendermos melhor de que forma a eficiência energética dos edifícios pode influenciar o desempenho energético nacional, em seguida, apresentam-se os dados estatísticos do consumo de energia final por sector de actividade.

Quota do consumo final de energia por Sector de actividade económica; Anual						
		Localização geográfica				
		Portugal				
		%				
		Período de Referência dos dados	2004	2005	2006	2007
	Total		100	100	100	100
	Agricultura		1,6	1,6	1,5	1,4
	Pescas		0,5	0,4	0,4	0,4
Sector de actividade económica	Industria Extractiva		0,6	0,6	0,6	0,8
	Industria Transformadora		28,3	27,8	28,6	28,3
	Construção e Obras Publicas		4,4	4,7	3,7	3,4
	Transportes		35,5	35,4	36,6	36,4
	Sector Doméstico		16,2	16,5	16,8	17,1
	Serviços		12,9	13,1	11,9	12,3

Quadro 3: Consumo final de energia por sector de actividade, anual (Fonte: INE, Estatísticas Anuais)

Pela análise do quadro 3, podemos verificar que o consumo doméstico tem apresentado uma tendência de crescimento ao longo dos últimos anos, e devido às melhorias na qualidade de vida dos habitantes, este valor terá tendência a aumentar. O consumo doméstico revela-se assim como o terceiro principal consumidor de energia em Portugal, somente superado pela indústria transformadora e os transportes.

Tendo o sector doméstico um peso tão elevado nos consumos energéticos nacionais, importa caracterizar o edificado para nos apercebermos da quantidade de edifícios construídos nas muitas décadas em que não existiam exigências ao nível da eficiência energética dos edifícios, para compreendermos em que medida é que a reabilitação energética poderá constituir uma intervenção que contribua para a melhoria do desempenho energético de Portugal.

4.4. Caracterização do edificado

A caracterização do edificado constitui uma forma bastante esclarecedora das possíveis necessidades de reabilitação de edifícios, e poderá demonstrar também de que forma os edifícios existentes podem influenciar o desempenho energético nacional.

Em Portugal, em 2001, por cada 100 edifícios construídos entre 1991 e 2001 existiam 99 edifícios construídos antes de 1945 (INE, Census 2001). No quadro 4, são apresentados o número de edifícios existentes em Portugal por época de construção e zona geográfica.

Zona Geográfica	Época de Construção									
	Antes de 1919	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2001	Total
Portugal	253.880	344.936	357.042	395.262	553.349	359.579	289.351	279.146	327.498	3.160.043
Continente	240.528	325.394	338.583	379.370	532.127	338.005	273.770	262.690	307.192	2.997.659
Alentejo	43.429	54.282	45.000	39.775	47.440	30.078	27.104	27.841	34.997	349.946

Unidade: Nº

Quadro 4: Número de edifícios por época construtiva e zona geográfica (Fonte: INE, Census 2001)

Da análise do quadro 4 podemos concluir que a década em que foram construídos maior número de edifícios foi entre 1981 e 1990, representando este valor 20,5% do total de edifícios existentes. Outra importante conclusão que se retira deste quadro é que cerca de 81% da construção existente a nível nacional é anterior ao ano de 1990. Temos então que aproximadamente 81% dos edifícios existentes em Portugal são anteriores à publicação do Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro que foi o primeiro documento português que visava salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nos edifícios sem necessidades excessivas de energia, ou seja, para esses edifícios não existiu à data da sua construção, exigências de eficiência energética. Não possuindo dados estatísticos acerca do Distrito de Évora, consideramos os dados para a região do Alentejo para que exista uma caracterização aproximada do edificado. Verificamos que a maior época construtiva do Alentejo foi entre 1981 e 1990, e que 82,1% dos edifícios construídos são anteriores a 1990.

Possuindo uma distribuição por época temporal dos edifícios existentes em Portugal, apresenta-se em seguida, o quadro 5, onde constam os edifícios segundo a época de construção por necessidades de reparação.

ZONA GEOGRAFICA Necessidades de reparação	Epoca de Construção									
	Total	Antes de 1919	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2001
Portugal										
Na estrutura	3 160 043	253 880	344 936	357 042	395 262	553 349	359 579	289 351	279 146	327 498
Nenhumas	1 889 502	55 493	100 305	141 195	203 481	362 178	263 452	230 285	236 386	296 727
Nec. Reparação	1 270 541	198 387	244 631	215 847	191 781	191 171	96 127	59 066	42 760	30 771
Na cobertura	3 160 043	253 880	344 936	357 042	395 262	553 349	359 579	289 351	279 146	327 498
Nenhumas	1 737 389	42 981	83 052	117 820	177 322	325 697	245 670	220 147	230 362	294 338
Nec. Reparação	1 422 654	210 899	261 884	239 222	217 940	227 652	113 909	69 204	48 784	33 160
Nas paredes e caixilharia exteriores	3 160 043	253 880	344 936	357 042	395 262	553 349	359 579	289 351	279 146	327 498
Nenhumas	1 671 342	44 550	83 311	115 174	170 805	312 272	232 515	208 554	219 690	284 471
Nec. Reparação	1 488 701	209 330	261 625	241 868	224 457	241 077	127 064	80 797	59 456	43 027
Alentejo										
Na estrutura	349 946	43 429	54 282	45 000	39 775	47 440	30 078	27 104	27 841	34 997
Nenhumas	220 983	13 784	21 056	22 324	24 451	35 189	24 158	22 856	24 830	32 335
Nec. Reparação	128 963	29 645	33 226	22 676	15 324	12 251	5 920	4 248	3 011	2 662
Na cobertura	349 946	43 429	54 282	45 000	39 775	47 440	30 078	27 104	27 841	34 997
Nenhumas	199 890	10 346	16 956	18 376	21 118	32 228	22 945	21 900	24 101	31 920
Nec. Reparação	150 056	33 083	37 326	26 624	18 657	15 212	7 133	5 204	3 740	3 077
Nas paredes e caixilharia exteriores	349 946	43 429	54 282	45 000	39 775	47 440	30 078	27 104	27 841	34 997
Nenhumas	204 560	11 861	18 737	19 784	22 145	32 361	22 748	21 438	23 828	31 658
Nec. Reparação	145 386	31 568	35 545	25 216	17 630	15 079	7 330	5 666	4 013	3 339

Unidade: Nº

Quadro 5: Edifícios segundo a época de construção por necessidades de reparação (Fonte: INE, Census 2001)

Por simplificação, no quadro 5 apresentam-se somente os dados referentes aos edifícios segundo a época construtiva que não necessitam de reparação e aqueles que apresentam necessidades de reparação (não distinguindo o nível de intervenção necessária).

Analisando o quadro 5, verificamos que para Portugal, do total dos edifícios construídos, 40,2% necessitam de reparação nas estruturas, 45% necessitam de reparação na cobertura e 47,1% necessitam de reparação nas paredes e caixilharias exteriores. Os edifícios com maiores necessidades de reparação são os construídos entre 1981 e 1985.

No que respeita à Região do Alentejo verificamos que do total dos edifícios construídos, 36,9% necessitam de reparação ao nível das estruturas, 43% de reparação na cobertura e 41,5% de reparação nas paredes e caixilharias exteriores. A época construtiva que necessita de maior número de intervenções de reparação é entre 1946 e 1960.

4.5. Estatísticas das despesas das famílias

As despesas médias anuais dos agregados familiares são um parâmetro importante para compreendermos de que forma a eficiência energética dos edifícios poderá influenciar a economia familiar. No gráfico 3 apresenta-se a despesa anual total média por agregado familiar, onde se revelam as despesas em euros dos diferentes sectores.

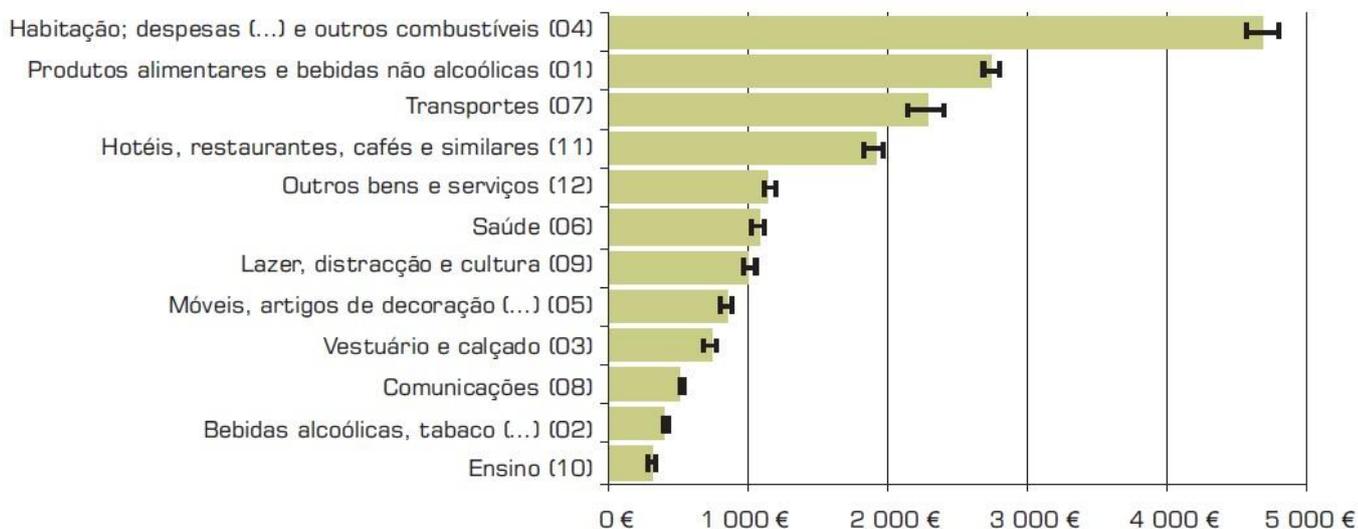


Gráfico 3: Despesa total anual média por agregado e divisões da COICOP, Portugal, 2005/2006

(Fonte: INE, Inquérito às despesas das famílias, 2005-2006)

Do total das despesas representadas no gráfico 3, as despesas com a habitação (água, electricidade, gás e outros combustíveis) possuem um valor de 4691€, e representam 26,6% do total das despesas anuais médias das famílias. Para estabelecermos um valor comparativo, apresenta-se o gráfico 4, onde podemos averiguar a evolução das despesas médias anuais das famílias pelos diferentes sectores.

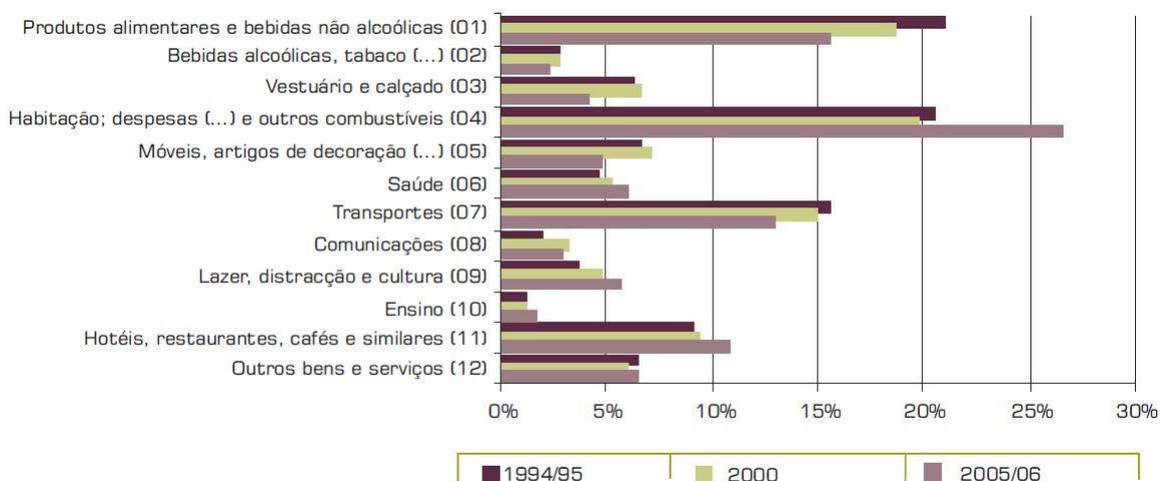


Gráfico 4: Evolução da despesa total anual média por agregado e divisões da COICOP, Portugal, 1994/95 - 2005/2006 (Fonte: INE, Inquérito às despesas das famílias, 2005-2006)

Através do gráfico 4 podemos constatar que o sector da habitação apresentou sempre a maior percentagem das despesas totais médias anuais das famílias desde 1994. Podemos também concluir que as despesas com a habitação foram a parcela que apresentou maior crescimento entre 1994/95 e 2005/06.

Estas estatísticas indicam que as despesas com a habitação representam o maior peso nas economias familiares, contabilizando estas despesas fundamentalmente os gastos com electricidade, água, gás e outras formas de energia (o principal gasto das famílias relacionado com as habitações é o arrendamento que corresponde a 77% do total, o valor dos gastos energéticos é de 16%, representando estas duas parcelas quase a totalidade dos gastos), a melhoria da eficiência energética dos edifícios poderia atenuar estas despesas reduzindo os encargos familiares com as despesas da habitação.

4.6. Reabilitação energética – Portugal

Nos capítulos anteriores analisou-se a actual situação em Portugal de diferentes sectores, com o objectivo de se ficar a saber em que medida é que existe a necessidade de reabilitar energeticamente, no sentido de melhorar os níveis de conforto dos edifícios mas também de cumprir as metas internacionais estabelecidas e relativamente às quais Portugal se comprometeu.

Na análise do sector da construção verificamos que em Portugal somente 22,1% das obras realizadas representam intervenções de reabilitação, e que deste valor somente 30% diz respeito a intervenções de reabilitação em edifícios de habitação, enquanto a média europeia de intervenções de reabilitação é de 44,8%, dos quais 50,8% dizem respeito a reabilitação de edifícios de habitação. Neste sector Portugal encontra-se entre os países da União Europeia que menos reabilita os seus edifícios de habitação.

Quanto à caracterização do edificado, constatou-se que 81% dos edifícios foram construídos antes de 1990, ou seja, anteriormente à primeira publicação nacional que visava a eficiência energética dos edifícios (Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro). Do total dos edifícios construídos, 40,2% necessitam de reparação nas estruturas, 45% necessita de reparação na cobertura e 47,1% necessita de reparação nas paredes e caixilharias exteriores.

Ao nível do consumo energético verificamos que para 2009 a dependência energética (energia importada) da União Europeia é de 54,7%, e a dependência de Portugal é de 84,4%. Na distribuição da energia por sectores apurou-se que o consumo doméstico revela-se como o terceiro principal consumidor de energia em Portugal.

Por fim, nos inquéritos às despesas anuais médias das famílias, verificou-se que as despesas com a habitação representam 26,6% do total.

Desta pesquisa estatística, para tentar apurar a actual situação portuguesa, podemos concluir que existe uma necessidade de reabilitar energeticamente. O edificado existente é antigo e necessita de reparações, o sector da habitação representa um dos principais consumidores de energia nacional e leva a que as principais despesas das famílias sejam com a energia da habitação. Reabilitar energeticamente os edifícios existentes poderá representar uma necessidade, melhorando o desempenho energético nacional, e diminuindo a dependência energética, representando também um factor bastante benéfico quer para a economia nacional quer para a economia das famílias.

5. Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)

O objectivo desta dissertação é o estudo das estratégias de reabilitação de edifícios, localizados na região de Évora, visando a eficiência energética classificada como A+. Além disso, serão objecto de estudo edifícios sem sistema centralizado de climatização. Assim, o estudo é feito com base no RCCTE e não será considerado o RSECE.

O RCCTE, Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, é aplicável a cada uma das fracções autónomas de novos edifícios de habitação e de todos os novos edifícios de serviços desde que estes não possuam sistemas de climatização centralizados. Entende-se como fracção autónoma, à luz do presente regulamento, cada uma das partes do edifício dotadas de contador individual de consumo de energia, separada do resto do edifício por uma barreira física contínua, e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente. Tem também como âmbito de aplicação as grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações, considerando, o regulamento, como grande remodelação ou alteração, as intervenções cujo custo associado seja superior a 25% do valor do edifício, calculado com base no valor de referência fixado pela portaria n.º 1379-B/2009 de 30 de Outubro para o ano de 2010, em 741,48€ por metro quadrado para Évora.

O regulamento fixa assim, para os edifícios residenciais, condições ambientais de referência para o cálculo dos consumos energéticos nominais, seguindo-se este por padrões admitidos como médios prováveis, quer em termos de temperatura como de ventilação. O RCCTE tem a sua aplicação na fase de licenciamento, garantindo que os projectos licenciados ou autorizados satisfaçam integralmente os requisitos regulamentares, e uma confirmação aquando da conclusão da obra.

Para efeitos do RCCTE, a caracterização do comportamento térmico de edifícios é efectuada através da quantificação de índices e parâmetros. Os índices térmicos fundamentais que têm que ser quantificados são:

- N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento;
- N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento;
- N_{ac} – Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias;
- N_{tc} – Necessidades globais de energia primária;

No que respeita aos parâmetros complementares que terão que ser quantificados sob condições específicas do presente regulamento, temos:

- Coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares;
- Inércia térmica interior do edifício;
- Factor solar dos vãos envidraçados;
- Taxa de Renovação do Ar;

É através do cálculo dos índices térmicos enunciados e dos seus parâmetros complementares, que o regulamento estabelece os valores máximos para cada índice, que nos será possível classificar e quantificar a eficiência energética dos edifícios.

Em seguida, apresenta-se de forma mais detalhada o cálculo e relações estabelecidas dos índices térmicos que definem os requisitos energéticos dos edifícios, bem como a explicação dos diferentes parâmetros a quantificar.

5.1. Índices térmicos

O regulamento estabelece quatro índices, de determinação obrigatória, e é pela sua importância no processo que importa explicitar do que depende a sua determinação.

5.1.1. Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

De forma a cumprir o regulamento, a condição $N_{ic} < N_i$ tem que ser verificada, em que N_i representa o valor limite das necessidades nominais de energia útil de aquecimento. A determinação do valor limite é calculada através da expressão prevista no regulamento, esta depende do factor de forma da fracção autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local. A limitação às necessidades de energia útil para aquecimento será portanto estabelecida pela compactidade do edifício e pelas condições climáticas da região onde este se insere.

Quanto às necessidades nominais de energia útil do edifício para aquecimento (N_{ic}) estas são calculadas através de balanço térmico, onde se contabilizam as perdas existentes no edifício, quer por condução através da envolvente (Q_t) quer por renovação do ar (Q_v), e os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento (Q_{gu}).

Através da verificação ($N_{ic} < N_i$) garante-se o equilíbrio entre as necessidades reais de aquecimento do edifício, não deixando que estas necessidades ultrapassem os valores considerados aceitáveis para a forma do edifício bem como para o clima onde este se insere.

5.1.2. Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

Para que sejam verificadas regulamentarmente as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, a condição $N_{vc} < N_v$ tem que ser respeitada, onde N_v representa o valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento. Este valor limite é determinado em função da zona climática de Verão (definida no regulamento - o zonamento climático divide o país em 3 regiões de Inverno e 3 de Verão) e da sua localização: Norte, Sul, Açores ou Madeira. A limitação é estabelecida em função do aquecimento provocado, no Verão, pelo clima onde está inserido o edifício.

As necessidades nominais de energia útil do edifício para arrefecimento são dependentes dos ganhos totais brutos do edifício (Q_g), onde se contabilizam os ganhos pela envolvente opaca, os ganhos através dos vãos envidraçados e as perdas pela renovação do ar.

5.1.3. Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (AQS)

Como já foi referido, o regulamento prevê a limitação dos gastos energéticos também ao nível da preparação de águas quentes sanitárias. À semelhança das restantes condições impõe que $N_{ac} < N_a$, onde N_a representa o valor máximo admissível de necessidade de energia para produção de águas quentes sanitárias. Este valor máximo é determinado em função do consumo médio de referência do edifício, considerando-se um consumo de 40l por cada ocupante convencional do edifício considerando o número de dias de consumo para os edifícios de habitação de 365 dias de consumo.

No que respeita às necessidades nominais de energia para a preparação de AQS, a sua determinação depende da energia útil que é despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (Q_a), e neste índice são também contabilizados contribuições de sistemas colectores solares para aquecimento de água (E_{solar}) e de quaisquer outras formas de energia renovável (E_{ren}). Neste índice o regulamento beneficia os edifícios possuidores de sistemas alternativos para preparação de AQS, ao invés, dos tradicionais meios, incentivando a existência de sistemas colectores solares e o investimento no aproveitamento de fontes de energia renováveis.

5.1.4. Necessidades nominais globais de energia primária de um edifício

Do cálculo dos índices anteriormente referidos, quer os índices de máximo admissível, quer os que representam as necessidades nominais do edifício, resulta a limitação das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício.

Assim, após, a verificação de todos os índices anteriormente apresentados, temos que verificar uma última condição, $N_{tc} < N_t$, em que N_t representa o valor máximo admissível de energia primária do edifício, e é calculado através de uma ponderação dos anteriores índices N_i , N_v e N_t , determinando assim em função dos restantes máximos, qual o máximo admissível para a energia primária gasta pelo edifício em condições e padrões de utilização nominais.

Quanto ao valor de N_{tc} este é determinado através da ponderação das necessidades nominais de energia do edifício: N_{ic} , N_{vc} e N_{ac} , afectados de factores de ponderação, de coeficientes de eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e de arrefecimento e de factores de conversão de energia útil em energia primária.

É do resultado obtido para as necessidades nominais globais de energia primária do edifício que será possível a sua classificação energética. Em seguida, apresenta-se como é efectuada a classificação da eficiência energética do edifício segundo a actual legislação.

5.2. Classificação energética – Despacho nº 10250/2008

Na sequência do Decreto-Lei nº78/2006 (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios – SCE), surge o Despacho nº10250/2008 com objectivo de estabelecer a classificação energética dos edifícios e o modelo de certificados de desempenho energético e da qualidade do ar interior.

O Despacho nº10250/2008 estabelece os diferentes tipos e modelos de certificados por categorias, sendo a classificação energética função da categoria estabelecida. Assim a classe energética para os edifícios ou fracções autónomas, objecto de Declarações de Conformidade Regulamentar (DCR) ou Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE), é determinada através da razão $R = N_{tc}/N_t$. Quanto à metodologia para a determinação da classificação energética de um edifício é a que o RCCTE apresentada, onde os diferentes índices já explicados farão parte integrante.

Para a classificação energética dos edifícios é estabelecida uma escala, quadro 6, com 9 classes, correspondendo a cada uma das classes um intervalo de valores de R.

Classe Energética	Valores de R
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,25 < R \leq 0,50$
B	$0,50 < R \leq 0,75$
B-	$0,75 < R \leq 1,00$
C	$1,00 < R \leq 1,50$
D	$1,50 < R \leq 2,00$
E	$2,00 < R \leq 2,50$
F	$2,50 < R \leq 3,00$
G	$R > 3,00$

Quadro 6: Classificação energética de edifícios, com DCR ou CE do Tipo A (Fonte: Despacho n.º 10250/2008)

Sendo a metodologia de cálculo a referida pelo RCCTE, com a condição $N_{tc} < N_t$, concluímos que o valor de R nunca poderá ser superior a 1, o que indica que para um edifício novo a classificação mínima regulamentar é B-.

5.3. Método de cálculo simplificado para a certificação energética de edifícios existentes – Despacho nº 11020/2009

No seguimento do RCCTE foi publicado o Despacho nº 11020/2009 que define o Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes. Este documento é bastante importante quando se realiza o estudo do desempenho energético de edifícios existentes, uma vez que o método de cálculo previsto no RCCTE é de simples aplicação em edifícios novos, mas nos existentes, poderá, em situações pontuais, ser de difícil aplicação.

Não sendo objectivo dissecar o conteúdo deste despacho, importa referir, que o levantamento dimensional, a inércia térmica, pontes térmicas, entre muitos outros factores importantes do método de cálculo preconizado no RCCTE, têm neste despacho uma forma de cálculo bastante mais expedita e que permite facilitar o cálculo do desempenho energético dos edifícios existentes.

6. Enquadramento com a região de estudo – Évora

6.1. Cidade de Évora

Évora é, historicamente, uma das principais cidades do país e o maior centro urbano da região Alentejo. Actualmente com 41.000 habitantes, é uma cidade em crescimento, centrada nos seus valores históricos e patrimoniais. De reconhecida importância é a sua localização pelo Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), e no conjunto de grandes investimentos públicos anunciados. Adjectivada como *cidade-museu*, Évora é uma cidade viva e crescentemente activa, constituindo um museu vivo e em permanente transformação (Parque Expo 98 SA, 2008).

6.2. Centro Histórico cidade de Évora

6.2.1. Caracterização

O conceito de Centro Histórico de uma cidade é de difícil definição. No caso de Évora considera-se que este engloba toda a cidade que se encontra intra-muros (figura 2). Para caracterizar o centro histórico da cidade de Évora é necessário ter percepção que o início da sua ocupação data ainda de períodos anteriores aos romanos. Quem hoje por ele passar dificilmente se aperceberá das profundas intervenções urbanísticas que a cidade intra-muros sofreu ao longo dos últimos sete séculos (Parque Expo 98 SA, 2008).

A política urbanística existente referente a medidas e acções de intervenção, conservação e reabilitação do património levou a que em Novembro de 1986 o Centro Histórico da cidade de Évora fosse considerado Património da Humanidade pela UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (www.cm-evora.pt).



Figura 2: Centro Histórico da cidade de Évora (Fonte: Recuperar o Processo Histórico - Évora, 2008)

Actualmente, o Centro Histórico da cidade de Évora continua a ser alvo de políticas que pretendem defender a sua identidade e as características que lhe valeram a classificação como Património da Humanidade e como melhor exemplo de cidade da idade de ouro portuguesa pelo ICOMOS (Internacional Council on Monuments and Sites). O Plano de Urbanização de Évora (PUE), publicado no Decreto-Lei nº74/2000 de 28 de Março, é o regulamento actual que define as políticas de urbanização da cidade e em particular do seu Centro Histórico, e onde podemos encontrar as regras e condicionamentos para intervenções de construção, o que condiciona a reabilitação energética, pelo que posteriormente se apresentará, detalhadamente, as principais restrições colocadas por este regulamento a estas intervenções.

É no Centro Histórico que se encontram muitos dos edifícios de serviços e atracções turísticas da cidade, mas também têm especial relevo os edifícios de habitação. Em 2008 residiam no Centro Histórico cerca de 6000 pessoas, correspondendo a menos de 12% da população total da cidade, quando em 1940 a percentagem de habitantes que residiam no centro histórico representava 84% da população da cidade. Importa também referir que deste total de pessoas que residem no Centro Histórico, grande parte não reside em permanência. Em 2001, 39% da população do Centro Histórico não era permanente (Parque Expo 98 SA, 2008).

O Centro Histórico tem sido objecto de estudos e análises com o objectivo de reabilitar e revitalizar o mesmo, para que possa fazer frente aos novos desafios, nomeadamente à desertificação que se tem verificado e à construção de um sistema urbano nacional coerente e sustentável (Agenda 21 Local de Évora, 2010).

6.2.2. Caracterização do edificado

Importa perceber de que forma os edifícios são construídos no Centro Histórico da cidade para melhor adequar as medidas de reabilitação energética a aplicar. Os séculos de evolução a que esteve sujeito, e as inúmeras alterações a que os edifícios foram sujeitos, dificultam a generalização de uma tipologia construtiva para o Centro Histórico. Dada a inexistência de bibliografia coerente acerca deste assunto, foi considerada como opção válida a recolha de informação junto de técnicos da Câmara Municipal de Évora e de empresas de construção que actuam predominantemente nesta localização.

Os edifícios do centro histórico possuem maioritariamente como estrutura de suporte paredes resistentes, realizadas com tijolos cerâmicos maciços e argamassas de cal. Devido à utilização desta estrutura de suporte encontram-se com frequência paredes de elevadas espessuras para garantia da estabilidade do edifício.

Os rebocos e argamassas utilizadas são fundamentalmente de cal aérea, podendo existir, em situações pontuais, argamassas bastardas.

Nos pavimentos em contacto com o solo é frequente encontrar-se a solução de pedras como camada resistente (enrocamento), revestidas de uma camada de argamassa à vista (betonilha), sem outro tipo de acabamentos. Os pavimentos intermédios são normalmente em abobadilha de tijolo maciço com a face inferior à vista; em altura é igualmente comum a utilização de pavimentos com barrotes e soalho de madeira.

Nas coberturas horizontais o acabamento do pavimento é em tijoleira. Nas coberturas inclinadas é utilizada a telha de canudo com estrutura de suporte com varas e ripas de madeira.

Os acabamentos exteriores são de reboco de argamassa de cal aérea pintada ou caiada de branco, com caixilharias em madeira de diversas cores, com predominância do verde e do castanho, e com envidraçados simples.

6.3. Plano de Urbanização de Évora - regulamento Centro Histórico da cidade

O Plano de Urbanização de Évora (PUE) é o documento legal que tem por objectivo estabelecer as regras de ocupação, uso e transformação do solo de toda a cidade de Évora, e em particular estabelece as regras de urbanização do centro histórico da cidade.

Publicado na Resolução do Conselho de Ministros nº13/2000 de 28 de Março, o PUE, define o Centro Histórico como sendo o elemento primordial de construção, caracterização e identificação da cidade, definindo-o como a área delimitada: a norte e a poente, pela cerca medieval e, a sul e nascente, pela muralha do século XVII/XVIII, sendo toda a sua área coincidente com o espaço classificado Património da Humanidade. Nos seus artigos 59º a 76º o Plano de Urbanização define as regras urbanísticas específicas a que está sujeito o Centro Histórico.

6.3.1. Definições do PUE

Fazem parte do Plano de Urbanização de Évora um conjunto de definições que são importantes referir para que se entenda mais adiante as condicionantes existentes a cada tipo de intervenção. Muitas destas definições foram igualmente apresentadas no início deste trabalho com objectivo de esclarecer desde logo potenciais equívocos existentes, mas importa esclarecer que para a aplicação do Plano de Urbanização de Évora são estas as terminologias válidas que permitem a compreensão e cumprimento do regulamento. Assim no anexo a este trabalhos apresentam-se as definições constantes do PUE (q.v. 11.3.).

6.3.2. Disposições gerais do PUE no Centro Histórico

O PUE defende o princípio de que a cidade intramuros deverá manter a sua plurifuncionalidade, com a presença de todos os sectores (habitação, terciário, equipamento, comércio e serviços, hotelaria e indústria artesanal). Com o objectivo de garantir este princípio, e devido às tendências de decréscimo populacional verificado no Centro Histórico da cidade de Évora, o PUE, refere no seu artigo nº63, que não será permitida a alteração do uso aos edifícios de habitação para quaisquer outros fins. Admite excepção a este princípio: os edifícios de habitação que, inseridos numa rua comercial e possuindo mais de um piso, tenham rés-do-chão com fins comerciais, desde que se continue a verificar a utilização de habitação nos pisos superiores. Para garantir boas condições ao sector da habitação, o PUE interdita a instalação de comércio grossista e de indústria incompatível com a habitação e não permite a alteração ao uso de garagens para outros fins, com o objectivo de garantir um número suficiente de lugares para estacionamento aos residentes.

Aos edifícios de maior dimensão existentes (considera o PUE edifícios de maior dimensão aqueles que possuam mais de 300 m² de superfície total de pavimento, consistindo esta na soma das superfícies brutas de todos os pisos) com utilização habitacional, o PUE propõe que se aumente o número de fogos existentes ou se instalem funções terciárias no rés-do-chão. Aos edifícios de maior dimensão utilizados pela indústria não artesanal ou como armazém, propões que o seu uso seja alterado para equipamento, habitação, misto de terciário/habitação ou estacionamento.

Estas condicionantes impostas no centro histórico com o objectivo de reverter o processo de desertificação que se tem verificado, reforça a necessidade de melhoria das condições habitabilidade e de conforto térmico nos edifícios, garantindo um melhor nível de satisfação dos seus ocupantes e evitando que estes prefiram as construções novas existentes na cidade e localizadas fora do Centro Histórico.

6.3.3. Classificação do património histórico edificado

O PUE, com o objectivo de defender o valor patrimonial do edificado existente no Centro Histórico da cidade de Évora, estabelece uma classificação de edifícios, dependendo desta classificação o nível de intervenção a que se poderá sujeitar em caso de necessidade. Esta classificação constitui a principal regra do PUE para defesa do património do Centro Histórico da cidade.

6.3.3.1. Imóveis classificados

Imóveis classificados, subdivididos em Monumentos Nacionais classificados por decreto (MN), Imóveis de Interesse Público classificados por decreto (IIP) e Imóveis de Valor Concelhio classificados por decreto (IVC).

Nos imóveis classificados serão permitidas obras de conservação, restauro e, eventualmente, reabilitação.

6.3.3.2. Edificações de valor patrimonial

As edificações que possuem valor patrimonial são classificadas como E₁, E₂ e E₃ de acordo com a sua importância.

Nas edificações classificadas como E₁ e E₂ são autorizadas obras de conservação, restauro e reabilitação, com a condicionante da preservação integral da fachada.

Nas edificações classificadas como E₃ são autorizadas também obras de conservação, restauro e reabilitação, podendo as intervenções estender-se também à fachada.

O mesmo regulamento estabelece que as regras para as edificações com valor patrimonial poderão não ser aplicadas caso se mostre indispensável o seu não cumprimento para dotar o edifício das condições mínimas de habitabilidade, prolongar vãos existentes em estabelecimentos comerciais até à cota do espaço público ou se detectem novos elementos arquitectónicos e ou arqueológicos que valorizem o imóvel.

O PUE considera que as intervenções para dotar os edifícios de condições habitabilidade mínimas, são: alteração do edifício quando indispensável para o dotar de iluminação e ventilação naturais, ampliação do edifício para o dotar de uma área mínima de habitabilidade (T0 previsto no Regulamento Geral das Edificações Urbanas) e abertura de vão em muro para permitir resolução de problemas de estacionamento privado.

6.3.3.3. Fachadas de valor patrimonial

As fachadas com valor patrimonial são subdivididas em F₁ e F₂.

As fachadas classificadas como F₁ deverão ser preservadas, enquanto as classificadas como F₂ poderão sofrer alterações controladas, não resultando da intervenção nestas, transformação significativa do traçado anterior nem sejam postos em causa os perfis do conjunto edificado.

No caso das fachadas, independentemente da sua classificação F₁ ou F₂, apresentarem condições de ruína, e que seja recomendável a sua demolição, estas devem ser reconstruídas,

procedendo-se ao desenho rigoroso do edifício existente e realização do projecto de construção respeitando as características exteriores da edificação a demolir.

6.3.3.4. Elementos pontuais de valor patrimonial

O PUE contempla também elementos pontuais de valor patrimonial, elementos que pelas suas características, são fundamentais na caracterização do centro histórico. Estes elementos, classificados com a letra P no inventário do património, deverão ser valorizados e conservados.

6.3.3.5. Zonas de vestígios arqueológicos

No que respeita a vestígios arqueológicos o PUE delimita uma zona do Centro Histórico que classifica como A, em que deverá ser assegurado o acompanhamento histórico/arqueológico sempre que haja intervenções no subsolo.

6.3.4. Condicionamentos à realização de obras

O PUE define como princípio para a realização de obras no Centro Histórico de Évora, a compatibilização entre uma atitude de salvaguarda e valorização do património com a capacidade de dotar todos os edifícios de boas condições de habitabilidade.

6.3.4.1. Condicionantes às obras de conservação

As intervenções que visem a manutenção do imóvel sem qualquer alteração dos seus elementos, acabamentos exteriores, compartimentação interna ou uso não estão sujeitas pelo PUE a qualquer tipo de condicionante.

6.3.4.2. Condicionantes às obras de alteração ou ampliação

As intervenções no Centro Histórico que pretendam alterar o edifício, independentemente do interesse em alterar a sua volumetria ou a superfície total de pavimento (STP), estarão sujeitas às seguintes condicionantes:

- Os alinhamentos deverão ser mantidos;
- O volume total do edifício não deverá aumentar e o espaço do logradouro não deverá diminuir, salvo excepções restritas previstas no regulamento;
- Deverão ser previstos lugares de estacionamento privados das habitações, sempre que seja possível;
- Em caso de necessidade de demolição esta deve ser parcial;
- Em caso do edifício não ser classificado por o PUE, ou outro de valor legal, deve sempre existir uma atitude de respeito com os volumes preexistentes e de preservação dos elementos estruturais e decorativos;

6.3.4.3. Condicionantes às obras de reconstrução

Nos edifícios que, devido à sua situação de conservação, seja necessária a demolição da sua maior parte ou da sua totalidade e se proceda a construção nova, devem ser respeitadas as seguintes regras:

- Os alinhamentos deverão ser mantidos.
- O volume total do edifício não deverá aumentar e o espaço do logradouro não deverá diminuir, salvo exceções restritas previstas no regulamento;
- Deverá ser previsto estacionamento privado no projecto de reconstrução, com excepção para os edifícios, em que se revele do ponto de vista técnico impossível ou incompatível com as regras da defesa do património;
- Os edifícios a reconstruir deverão cumprir toda a legislação em vigor para as construções novas, salvo se tal se verificar incompatível com as regras de defesa do património.

6.3.4.4. Condicionantes às obras de reabilitação

No PUE não existe nenhum artigo referente às condicionantes para obras de reabilitação. Tal facto deve-se sobretudo à definição atribuída ao conceito de reabilitação de edifícios estabelecida neste regulamento (q.v. 11.3.).

Para a conservação como já referimos, e visto estar inerente a este conceito a manutenção do imóvel sem qualquer modificação, o regulamento não coloca nenhuma restrição à sua realização.

Para a ampliação ou alteração, que poderão estar inerentes ao processo de reabilitação do edifício, as condicionantes a ter em conta são as supramencionadas neste capítulo.

6.3.5. Condicionantes relativas aos acabamentos exteriores

O PUE não define somente as condicionantes relativas ao tipo de intervenção a realizar e as regras para defesa do património do Centro Histórico, define também as regras dos acabamentos exteriores que se devem verificar nos edifícios do centro histórico.

6.3.5.1. Acabamentos nas coberturas

Relativamente às coberturas dos edifícios as condicionantes a considerar aquando da sua intervenção, são as seguintes:

- A cobertura deverá ser em telha cerâmica vermelha de canudo (figura 3 (A)), com preferência para as de fabrico artesanal, ou romana em canal com cobrideira, (figura 3 (B)) e beirado em canudo;



Figura 3: (A) Telha Canudo (Fonte: <http://www.carrica.pt>); (B) Telha Romana (Fonte: <http://www.sotelha.com/pt/>)

- Nos casos em que se coloque subtelha, deverá utilizar-se telha de canudo tanto em canal como em cobrideira.
- As coberturas em terraço são permitidas desde que revestidas com tijoleiras (figura 4), bem como a manutenção do tipo de telha existente desde que em situação legal.



Figura 4: Exemplo de diferentes tipos de tijoleira (Fonte: <http://www.azulima.pt/>)

6.3.5.2. Revestimentos para acabamentos exteriores

Na realização dos revestimentos exteriores dos edifícios do centro histórico da cidade de Évora são permitidos somente rebocos afagados de argamassas de cimento, cal e areia, devendo estes ser preferencialmente recobertos de caiação.

Não é permitida a utilização, de rebocos de imitação de tijolo ou cantaria, de tipo tirolês ou carapinha, de revestimento de materiais cerâmicos vidrados ou azulejados e de marmorites, e ainda rebocos ou tintas areadas ou esponjadas. Todos os elementos pétreos que se encontrem nas fachadas não poderão ser polidos.

Quanto à cor os revestimentos exteriores deverão conservar as cores tradicionais, ou seja, dominância do branco, conjugado com cinzentos, ocres e verdes em tons claros.

6.3.5.3. Caixilharias

As condicionantes referentes às caixilharias, previstas no PUE, são referentes ao material constituinte destas e à sua cor.

As caixilharias deverão ser preferencialmente em madeira, pintada a branco conjugado com verde ou castanho em tons escuros e sangue-de-boi.

As caixilharias em alumínio anodizado não são permitidas.

Segundo informação recolhida junto dos Técnicos da Câmara Municipal de Évora, as caixilharias em PVC e alumínio não anodizado poderão ser permitidas em edifícios que não possuam fachada classificada (classificação F₂), desde que o aumento do conforto térmico do edifício justifique a sua aplicação.

6.3.5.4. Equipamentos técnicos

Os equipamentos técnicos a colocar nos edifícios são permitidos pelo PUE, embora se deva dar especial atenção à forma como estes serão colocados, tentando retirar quaisquer impactos visuais que possam criar.

Os painéis de energia solar só serão admitidos se encostados aos telhados (ou seja complanares com a cobertura) expostos ao quadrante sul e com os topos pintados de cor telha e cinza, ou em terraços. Não é permitido que os painéis de energia solar sejam vistos da via pública, o que implica que estes deverão ser colocados na vertente da cobertura que está virada para a traseira do edifício. O regulamento exclui assim a possibilidade de instalação de estrutura metálica para melhor aproveitamento solar por parte dos painéis e coloca uma dificuldade na colocação de painéis

visto a fachada virada para o quadrante sul ter que ser simultaneamente a mesma que não se encontra virada para a via pública.

Os equipamentos de ar condicionado deverão ser instalados de maneira a não serem visíveis da via pública.

6.3.5.5. Elementos pontuais de património

Com vista a preservar elementos característicos do património do Centro Histórico da cidade, o PUE, não permite que sejam demolidas ou deformadas chaminés, platibandas, reixas, grades de ferro decoradas em varandas, açoteias, mirantes e contramirantes ou quaisquer outros elementos que o plano possa não classificar, mas que são de interesse reconhecido pelo município.

6.4. Condicionamentos do clima

As variáveis do clima que mais influenciam as transferências de calor entre interior e exterior dos edifícios, são a temperatura e a radiação solar (Gonçalves, 2004). A necessidade de aquecer o espaço interior do edifício no Inverno advém das baixas temperaturas geradas pelo próprio clima e das consequentes perdas de calor para o exterior, através da envolvente do edifício. No Verão o processo é inverso, existindo ganhos de calor pela envolvente do edifício, devido às temperaturas altas geradas pelo clima, necessitando o edifício de ser arrefecido. A radiação solar constitui no Inverno uma importante fonte de calor contribuindo para o aumento da temperatura interior do edifício, enquanto, no Verão é uma fonte de calor a evitar, uma vez que irá provocar um aumento da temperatura interior que não é pretendida.

O clima é assim um factor importante para a determinação das necessidades energéticas do edifício e consequentemente para o desempenho energético do mesmo. Diferentes climas irão influenciar o comportamento térmico dos edifícios de diferentes formas, pelo que importa caracterizar o clima para o nosso caso de estudo.

A cidade de Évora situa-se numa região de clima tipicamente mediterrânico, com precipitação distribuída ao longo do ano de forma desigual, que atinge o pico no Inverno. Os Verões são quentes e secos, entre Junho e Setembro. O valor da temperatura média anual é de cerca de 16°C, com temperaturas médias mensais, no Verão, superiores a 20°C e, no Inverno, inferiores aos 10°C. Em resumo, os Verões são muito quentes (média anual de 128 dias com temperatura média superior a 25°C) aos quais se opõem Invernos frios (90 dias por ano com média inferior a 5°C) (<http://pt.allmetsat.com>).

A classificação climática segundo o RCCTE será apresentada mais adiante.

7. Soluções de reabilitação energética

Existem diferentes aproximações no que se refere a soluções de reabilitação térmica de edifícios. Segundo KRSTIC (1998), existem duas formas distintas de determinar quais as medidas a aplicar consoante o objectivo da reabilitação. As medidas irão então variar caso o objectivo da intervenção seja a produção de energia para tornar o edifício equilibrado energeticamente ou o objectivo seja a eficiência energética do edifício com recurso a sistemas solares passivos e activos.

Para a realidade económica e social portuguesa SANTOS (et. al. 2009) defende que deverá haver uma promoção das soluções e medidas passivas, em detrimento das soluções activas, embora reconheça que a estratégia mais fácil para a obtenção de uma melhor classe energética passe pela instalação efectiva de equipamentos com desempenhos energéticos nominais elevados.

Muitos dos problemas de eficiência energética nos edifícios existentes estão relacionados com as características construtivas do próprio edifício. Assim enumeram-se em seguida as características principais que condicionam o desempenho energético do edifício (Anselmo, 2004):

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos;
- Existência de pontes térmicas na envolvente;
- Presença de humidade;
- Falta de protecções solares adequadas nos vãos envidraçados;
- Ventilação não controlada, provocando maiores necessidades de aquecimento no período de Inverno.

São estes os principais aspectos relativos ao edifício que condicionam o seu desempenho energético e que importa desde logo analisar em caso de se pretender realizar a reabilitação do mesmo. Neste trabalho iremos considerar as medidas de reabilitação energética agrupadas em quatro grupos distintos (Paiva, 2003):

- Reforço da protecção térmica da envolvente dos edifícios;
- Controlo das infiltrações de ar;
- Recurso a tecnologias solares passivas e activas;
- Melhoria da eficiência dos sistemas e equipamentos energéticos.

As medidas previstas para estes quatro grupos, que mais adiante se enumeram e explicam, poderão ser combinadas trazendo sinergias, pois em alguns casos, só quando se adopta uma determinada medida, o efeito de outra é completamente assegurado.

Na enumeração das soluções construtivas de reabilitação energética realizada neste capítulo, ter-se-á em atenção o enquadramento do edifício com o Centro Histórico da cidade de Évora, visto o Plano de Urbanização tornar inviável algumas das soluções que são correntemente utilizadas em Portugal no processo de reabilitação térmica de edifícios.

7.1. Protecção térmica da envolvente dos edifícios

A distinção do tipo de medidas e soluções a adoptar nem sempre é de fácil explicitação. O reforço da protecção térmica da envolvente concretiza-se pelo reforço do isolamento térmico das partes opacas da envolvente, dos vãos envidraçados e pelo controlo dos ganhos solares e das infiltrações de ar nos envidraçados (Paiva, 2003).

7.1.1. Reabilitação térmica das paredes exteriores

No que respeita ao reforço do isolamento térmico das paredes exteriores existem três tipos de soluções (Paiva, 2003):

- Isolamento térmico pelo exterior;
- Isolamento térmico pelo interior;
- Isolamento térmico em caixa-de-ar.

As soluções de isolamento térmico pelo exterior constituem uma técnica comum em Portugal, sendo que representam o isolamento térmico para paredes exteriores mais eficiente, mas implicam uma alteração do aspecto exterior do edifício (Paiva, 2003).

O isolamento térmico pelo exterior não é uma solução viável para intervenções de reabilitação no centro histórico da cidade de Évora, pois o PUE considera que as fachadas classificadas como F_2 poderão ser alteradas de forma controlada, ou seja, da intervenção não poderá resultar a transformação do traçado anterior, nem postos em causa os perfis do conjunto edificado.

Quanto às soluções de isolamento pelo interior e de isolamento na caixa-de-ar apresenta-se em seguida a sua descrição.

7.1.1.1. Isolamento térmico pelo interior

As soluções de isolamento térmico pelo interior comumente utilizadas em reabilitação térmica são as seguintes (Paiva, 2003):

- Painéis isolantes (normalmente com altura de andar) fixados contra a fachada (figura 5);

- Contra-fachadas (figura 6 A e 6 B), que consistem num pano de alvenaria interior ou forro contínuo, constituídos normalmente por placas de gesso cartonado ou de outro material, em regra fixadas contra uma estrutura secundária. As Contra-fachadas podem ser:
 - Com caixa-de-ar simples;
 - Com interposição de um isolamento térmico e sem caixa-de-ar;
 - Com interposição de um isolamento térmico e com caixa-de-ar;
- Revestimentos reflectores, que são utilizados em zonas restritas das paredes, nomeadamente atrás de radiadores;

7.1.1.1.1. Painéis isolantes

No recurso a painéis isolantes a solução mais comum é a colocação de painéis isolantes pré-fabricados com a altura de andar normalmente associando também um paramento interior de gesso cartonado. Os painéis de isolamento são colados no tardo das placas de paramento. Os painéis poderão ser assim colados directamente na superfície interior da parede ou então colocados com recurso a uma estrutura de suporte em madeira que define uma caixa-de-ar. Em caso de utilização de estrutura de madeira, esta deverá ser devidamente tratada para que não se deteriore facilmente (Paiva, 2003).



Figura 5: Exemplos de painéis isolantes pré-fabricados (Fonte: Catálogo Knauf Insulation, 2010)

7.1.1.1.2. Contra-fachadas

Para a execução das Contra-fachadas têm sido utilizadas fundamentalmente duas soluções: execução de pano de alvenaria com pequena espessura ou então placas de gesso cartonado com a respectiva estrutura de apoio. Em ambos os casos a área útil dos compartimentos será afectada, mas a solução com recurso a gesso cartonado é a que menos influencia esta área pelo que tem sido a mais utilizada (Paiva, 2003).

Para a execução das Contra-fachadas em alvenaria a metodologia a seguir deverá ser a seguinte (Paiva et. al., 2006):

- Colagem, de placas de isolamento térmico contra o paramento interior da parede;
- Execução de um pano interior de alvenaria de tijolo furado 30 x 20 x 7, separado da face das placas de isolamento em cerca de 30mm. A base da caixa-de-ar deverá ser conformada de forma a definir uma caleira para eliminação para o exterior de possíveis águas acumuladas. Note-se que em caso de não ser possível realizar furação na fachada, para eliminação de águas acumuladas, a caixa-de-ar não deverá ser realizada;
- Aplicação, no paramento interior do pano de tijolo, de um revestimento tradicional de ligantes hidráulicos e de uma pintura com tinta de emulsão aquosa.

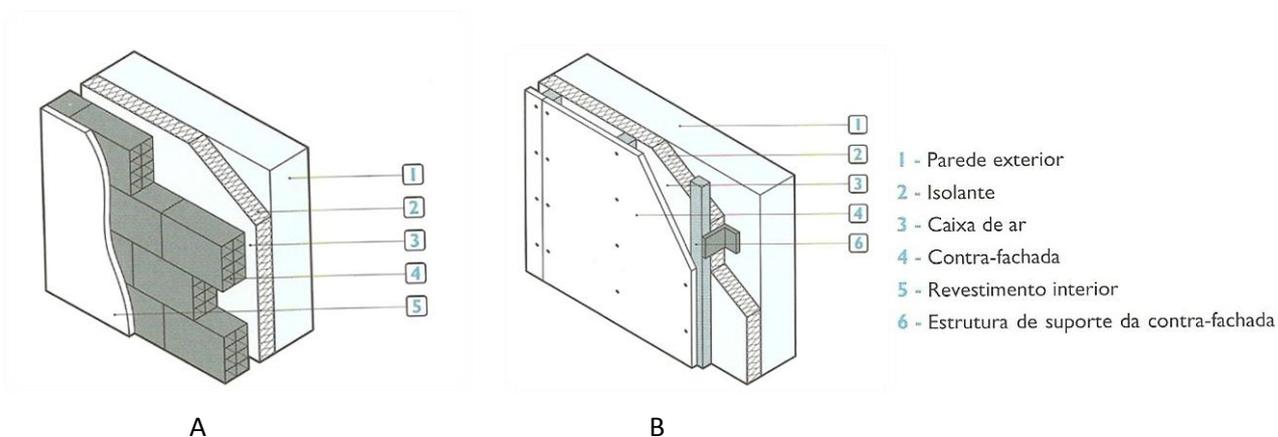


Figura 6: Pormenor construtivo de Contra-fachada, (A) com recurso a alvenaria de tijolo, (B) com recurso a gesso cartonado. (Fonte: Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 2006)

Com a realização da Contra-fachada, deverá ser dada especial atenção às singularidades que ocorrem especialmente nas zonas dos remates com os vãos de janelas e portas, nomeadamente na zona dos peitoris que deverão ser prolongados face ao aumento da espessura da parede.

Na execução de Contra-fachadas com recurso a placas de gesso cartonado a metodologia a seguir deverá ser a seguinte (Paiva et. al., 2006):

- Colagem das placas de isolamento contra o paramento interior da parede existente;
- Fixação à parede exterior de uma estrutura de madeira;
- Fixação, por aparafusamento, das placas de gesso cartonado (com espessura não inferior a 12,5mm) e altura do pé-direito à estrutura de madeira;

- Refechamento das juntas entre as placas segundo a técnica apropriada a este tipo de materiais.

7.1.1.2. Isolamento térmico na caixa-de-ar

Em caso de no edifício existirem paredes duplas - o que provavelmente não ocorrerá no centro histórico da cidade de Évora devido à tipologia dos edifícios existentes - mas deixa-se essa situação como uma eventualidade - existe a possibilidade de se fazer o reforço térmico por preenchimento da caixa-de-ar.

O preenchimento da caixa-de-ar com material isolante tem a vantagem de se manter o aspecto exterior e interior das paredes e reduzir ao mínimo as operações de reposição dos respectivos paramentos. Possui, no entanto, alguns inconvenientes. Muitos dos isolantes térmicos injectados têm características hidrófilas pelo que deverá ser impedido o acesso de humidade ao isolante. Outro dos inconvenientes desta prática está em garantir o preenchimento completo da caixa-de-ar com o material isolante, evitando possíveis assentamentos do material a injectar, para evitar o aparecimento de pontes térmicas. Convém referir também que um dos materiais isolantes mais utilizados nesta técnica construtiva, espuma de ureia-formaldeído, coloca alguns problemas em virtude de apresentar frequentemente deficiente comportamento do ponto de vista higroscópico (absorve água com facilidade o que afecta a sua condutibilidade térmica), da estabilidade dimensional (a variação de dimensão poderá provocar a fendilhação do material facilitando a penetração de água) e da própria estabilidade química (poderá libertar formaldeído, substância nociva para a saúde) (Paiva, 2003).

7.1.2. Reabilitação térmica dos pavimentos

As soluções possíveis para a reabilitação térmica de pavimentos, quando estes se encontram em contacto directo com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos, são as seguintes (Paiva, 2003):

- Isolamento térmico inferior (figura 7 A)
- Isolamento térmico intermédio, no caso de pavimentos com vazios (figura 7 B)
- Isolamento térmico superior (figura 7 C)

Em caso de o espaço subjacente ao pavimento ser acessível, a solução de isolamento térmico inferior é preferível, pois é de maior eficiência térmica (homogeneização da camada isolante) e de mais fácil aplicação. O isolamento térmico inferior poderá ser aplicado mesmo nos edifícios do Centro Histórico desde que o espaço subjacente não seja espaço exterior. O inconveniente do

isolamento térmico inferior é a diminuição do pé-direito da zona subjacente. Quanto ao isolamento térmico superior tem, também, o inconveniente de reduzir o pé-direito do espaço subjacente.

O isolamento térmico intermédio é uma solução adoptada correntemente quando o pavimento é em madeira. A colocação do revestimento poderá ser efectuada através do preenchimento dos espaços entre régua de madeira, ou então através da criação de uma camada intermédia no pavimento de madeira.

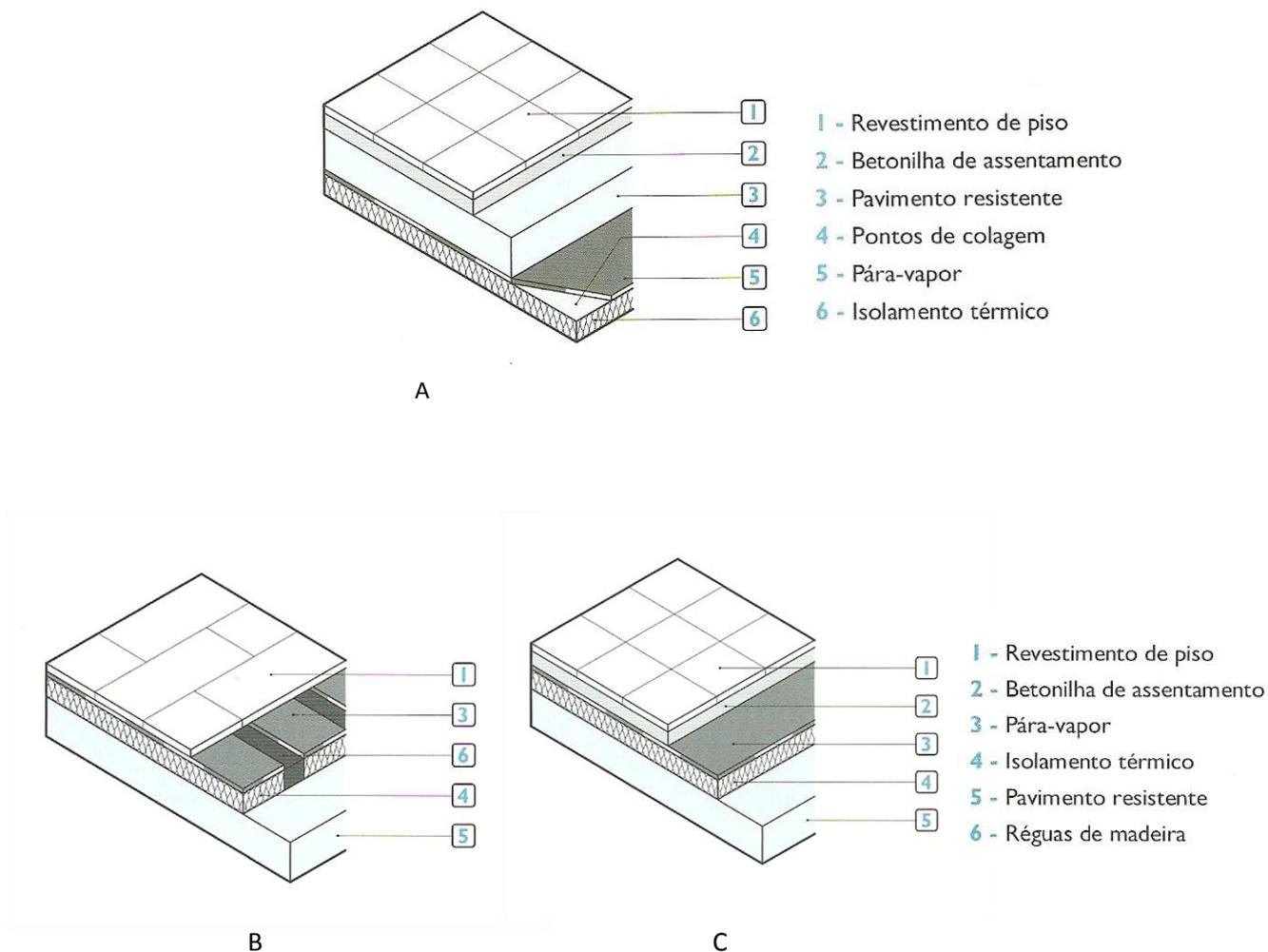


Figura 7: Isolamento térmico em pavimentos, (A) Posição inferior, (B) Posição intermédia, (C) Posição Superior (Fonte: Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 2006)

Na figura 8, é apresentado um corte esquemático do reforço de isolamento térmico de pavimento em madeira, com a colocação do isolamento em posição intermédia. Neste exemplo executa-se uma camada para colocação do isolamento, ao contrário do exemplo anteriormente apresentado, em que se aproveitava o preenchimento dos espaços vazios existentes.

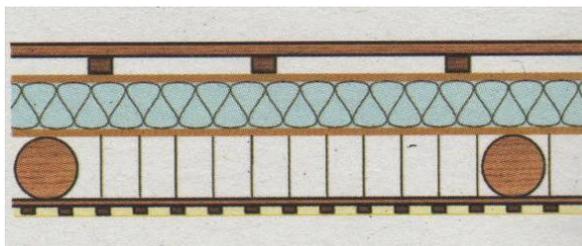


Figura 8: Reforço de isolamento térmico na camada intermédia de pavimento em madeira (Fonte: Edifícios Existentes – Medidas de Melhoria de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar interior, 2011)

Em seguida apresenta-se o quadro 7, resumindo todas as soluções de reforço térmico possíveis para pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos.

Localização do Isolamento Térmico		Tipo de Solução
Inferior	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento isolante (ETICS)	Revestimentos espessos de ligantes minerais, armados sobre isolante
		Revestimentos delgados de ligantes sintéticos, ou misto, armados sobre isolante
	Revestimento Isolante	Vetures (Revestimentos pré-fabricados isolantes descontínuos)
		Rebocos Isolantes
		Revestimento de espuma isolante projectada
	Tectos-Falsos	Tectos-falsos isolantes
Tectos-falsos como suporte de camada de isolante térmico		
Superior	Camada isolante de betão leve entre o pavimento resistente e o revestimento de piso	
	Camada de isolante térmico entre o pavimento resistente e um piso flutuante	
Intermédio	Preenchimento dos vazios entre vigotas de pavimentos de madeira com um isolante térmico (mantas de lã mineral ou isolante a granel)	

Quadro 7: Resumo de soluções possíveis para reforço térmico de pavimentos (Fonte: Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 2006)

7.1.3. Reabilitação térmica das coberturas

Para a reabilitação térmica das coberturas consideramos dois grupos distintos: as soluções de reforço de isolamento para coberturas inclinadas e as soluções de reforço de isolamento para as coberturas horizontais.

7.1.3.1. Coberturas inclinadas

No reforço do isolamento térmico das coberturas inclinadas temos quatro tipos de solução (Paiva et. al., 2006):

- Isolamento térmico nas vertentes em posição superior;
- Isolamento térmico nas vertentes em posição inferior (figura 9);
- Isolamento térmico na esteira do tecto em posição superior, se o desvão não for habitável (figura 10);

- Isolamento térmico aplicado na esteira do tecto em posição inferior, se o desvão não for habitável;

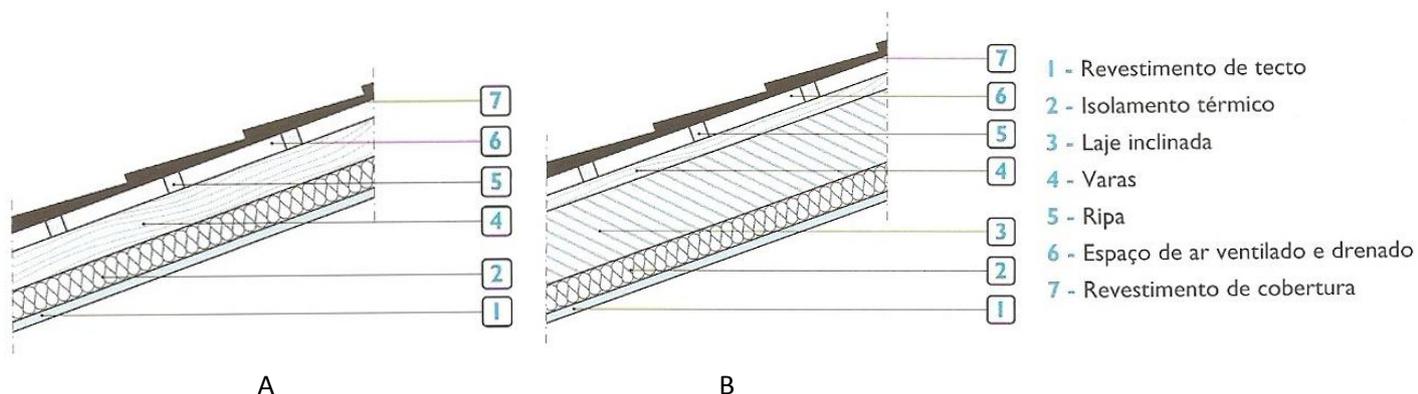
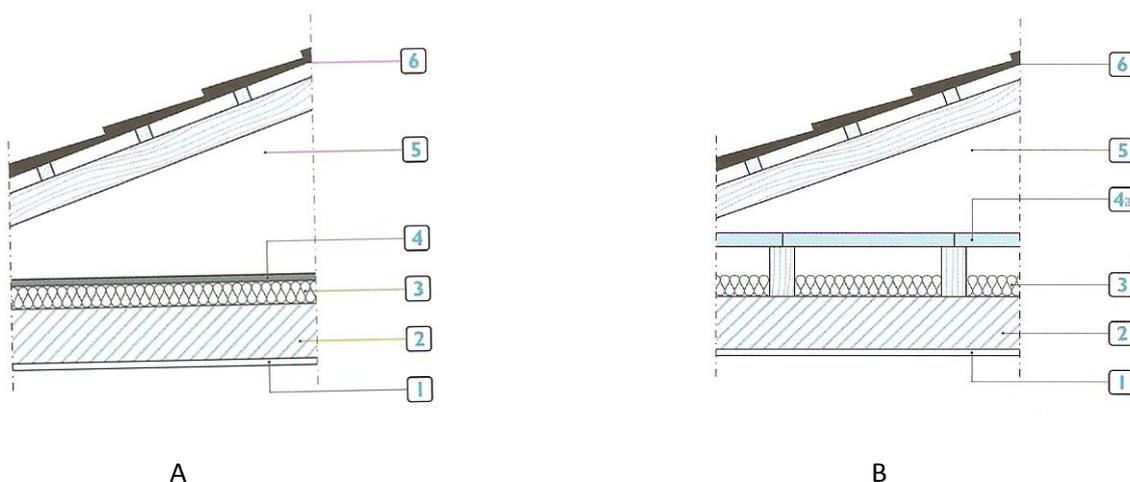


Figura 9: Pormenores da colocação do isolamento térmico nas vertentes da cobertura

(Fonte: Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 2006)

As soluções em que o isolamento térmico é aplicado nas vertentes devem ser reservadas para o caso de desvão habitável. O isolamento térmico colocado nas vertentes sob o revestimento descontínuo da cobertura poderá ter problemas devido à infiltração de águas, pela acção da chuva e do vento, pelo que é recomendável a aplicação de uma camada que impeça a passagem da água, mas sem que esta constitua uma barreira pára-vapor (p.e. membranas de plástico microperfuradas). Sempre que o desvão não seja habitável é preferível aplicar a camada de isolante sobre a esteira horizontal, podendo ser protegida se o desvão for acessível, sendo também, promovida a ventilação do desvão (Paiva, 2003).



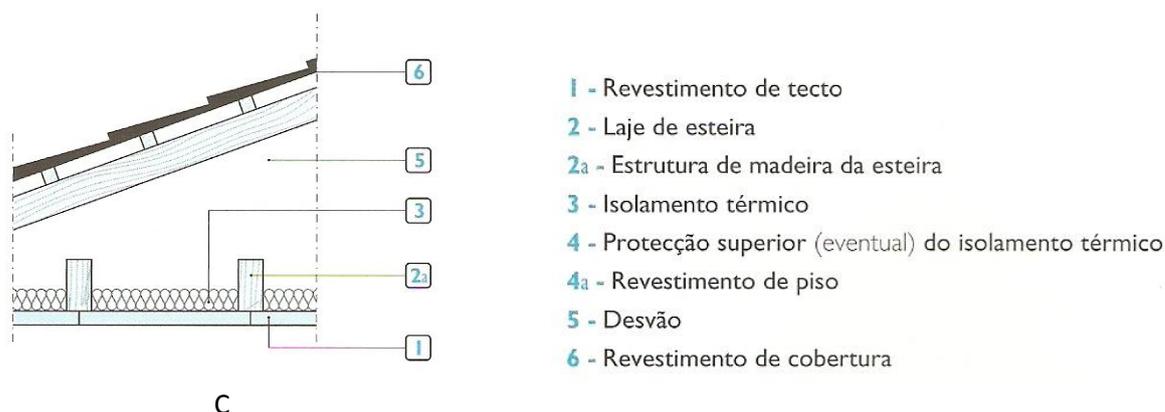


Figura 10: Diferentes soluções de colocação do isolamento térmico na laje de esteira
(Fonte: Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 2006)

7.1.3.2. Coberturas horizontais

Para o reforço do isolamento térmico em coberturas horizontais temos as seguintes soluções (Paiva et. al., 2006):

- Isolamento térmico superior;
- Isolamento térmico intermédio;
- Isolamento térmico inferior.

A solução de isolamento térmico superior poderá ainda subdividir-se em duas: camada de isolamento como suporte da impermeabilização (figura 11 A) e cobertura invertida (camada de isolamento sobre impermeabilização, figura 11 B). A colocação do isolamento térmico sobre a impermeabilização, quando o isolamento se encontra em posição superior, é a mais recomendável e mais comum também, pois o isolamento térmico irá proteger a impermeabilização das amplitudes térmicas e da acção directa do Sol, o que contribuirá para o aumento da sua vida útil. Além disso, em obras de reabilitação de coberturas horizontais, cuja impermeabilização se encontre em bom estado, a colocação da camada de isolamento sobre a impermeabilização dispensa que esta tenha que ser refeita (Paiva et. al., 2006).

Na solução com isolamento térmico intermédio, este fica situado entre a laje de esteira e a camada de forma, o que traz alguns problemas, pois exige o prévio levantamento de toda a camada de forma e é preciso especial cuidado para que não ocorram fenómenos de choque térmico nas camadas sobrejacentes ao isolante. A aplicação do isolante térmico numa posição inferior à esteira, e sendo esta uma laje, só será admissível se for integrado num tecto falso desligado da esteira, tendo o inconveniente de não proteger termicamente a estrutura (Paiva, 2003).

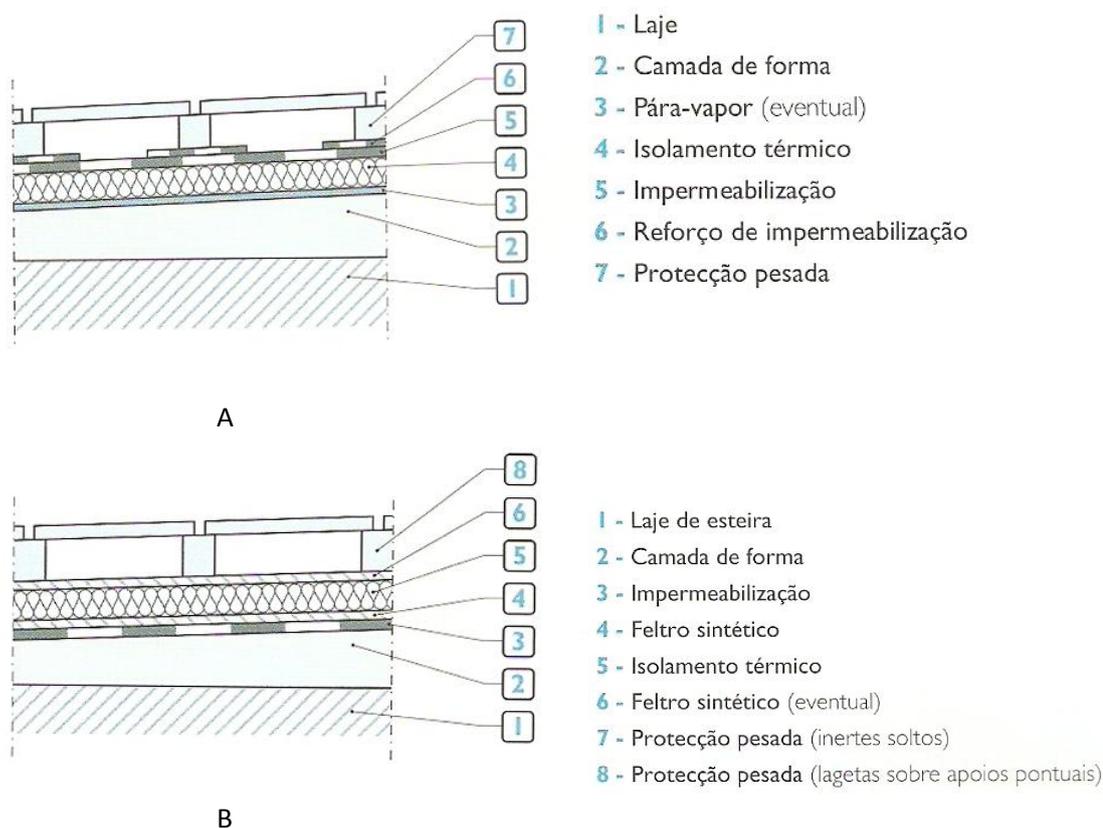


Figura 11: Isolamento térmico de coberturas horizontais, (A) Isolante como suporte da impermeabilização, (B) Cobertura invertida (Fonte: Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 2006)

Para a reabilitação térmica das coberturas horizontais é importante lembrar que a protecção pesada do isolante térmico deverá ser tijoleira, exigido no PUE.

7.1.4. Reabilitação térmica dos vãos envidraçados

Os vãos envidraçados possuem uma influência significativa no comportamento térmico dos edifícios, podendo ser responsáveis por cerca de 35% a 40% das perdas térmicas totais do edifício na estação fria (Paiva, 2003).

Assim a reabilitação energética dos vãos envidraçados deve visar (Paiva, et. al. 2006):

- Reforço do isolamento térmico e redução das infiltrações de ar não controladas;
- Reforço da protecção contra a penetração indesejável da radiação solar na estação quente;

Na reabilitação térmica dos vãos envidraçados nos edifícios do centro histórico da cidade de Évora deverá ter-se em atenção que a caixilharia a utilizar deverá ser de madeira, para as fachadas classificadas como F₁. Nas fachadas classificadas como F₂, para além das caixilhari­as de madeira, é permitido caixilhari­as de PVC ou alumínio lacado. As caixilhari­as em alumínio anodizado não são permitidas.

7.1.4.1. Reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados e redução das infiltrações de ar não controladas

O reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados poderá ser conseguido mediante as seguintes opções (Paiva et. al., 2006):

- Substituição dos componentes dos vãos por outros com desempenho térmico melhorado (por exemplo, caixilharia com corte térmico com vidro duplo);
- Utilização de envidraçados de elevado desempenho energético (por exemplo, vidros de baixa emissividade);
- Criação de janelas duplas;
- Substituição de vidros simples por duplos;

O controlo da permeabilidade ao ar poderá ser assegurado com a substituição da caixilharia, caso as existentes não apresentem viabilidade de reparação. Quando a intervenção nos vãos envidraçados não preveja a substituição das caixilhari­as, o controlo das infiltrações de ar, poderá ser efectuado da seguinte forma (Paiva, 2003):

- Afinação dos caixilhos, com eventual ajustamento das suas posições;
- Interposição de perfis vedantes nas juntas;
- Substituição de materiais vedantes envelhecidos;

Com o reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados e a diminuição da permeabilidade ao ar dos mesmos, poderão surgir problemas relacionados com a ventilação, para satisfazer as exigências de salubridade do edifício. Assim deverão ser previstas aberturas junto dos vãos envidraçados que permitam a entrada controlada de ar fresco (ver figura 12).

Se não for possível realizar aberturas na própria fachada do edifício por restrições do PUE, deverá optar-se pelo controlo de ar na caixilharia.

Com o objectivo de diminuir o coeficiente de transmissão térmica global dos vãos envidraçados poderão ser previstas também as seguintes medidas de reabilitação (Paiva et.al. 2006):

- Protecções solares permitindo a oclusão nocturna;
- Isolamento térmico das caixas de estore.

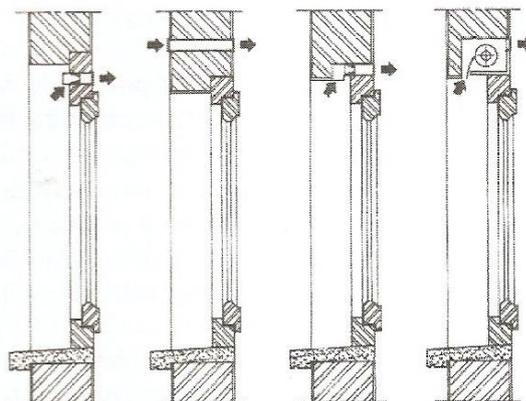


Figura 12: Possibilidades de aberturas nos vãos envidraçados para controlo de ar (Fonte: Medidas de Reabilitação Energética em Edifícios, 2003)

Na figura 13 pode ver-se de forma resumida como os diferentes factores podem influenciar o coeficiente de transmissão térmica global do vão envidraçado. Como foi referido anteriormente (q.v. 6.3.5.3.) a utilização do PVC e alumínio não anodizado como materiais constituintes dos caixilhos, desde que não estejamos num edifício com fachada classificada F_1 , é uma solução a considerar, embora, como se pode observar na figura 13, os caixilhos em PVC e em madeira possuem coeficientes de transmissão térmica aproximadamente iguais. Em termos de manutenção as caixilharias de madeira poderão exigir mais cuidados, comparativamente com as de PVC, no entanto a madeira constitui um material renovável, totalmente reciclável e bio-degradável, constituindo assim um material de construção sustentável. As caixilharias de PVC apresentam gastos de energia superiores aos da madeira na fase de fabricação, no entanto os perfis de PVC constituintes das caixilharias também são recicláveis, 97% é reciclável e 3% constituem resíduos não recicláveis.

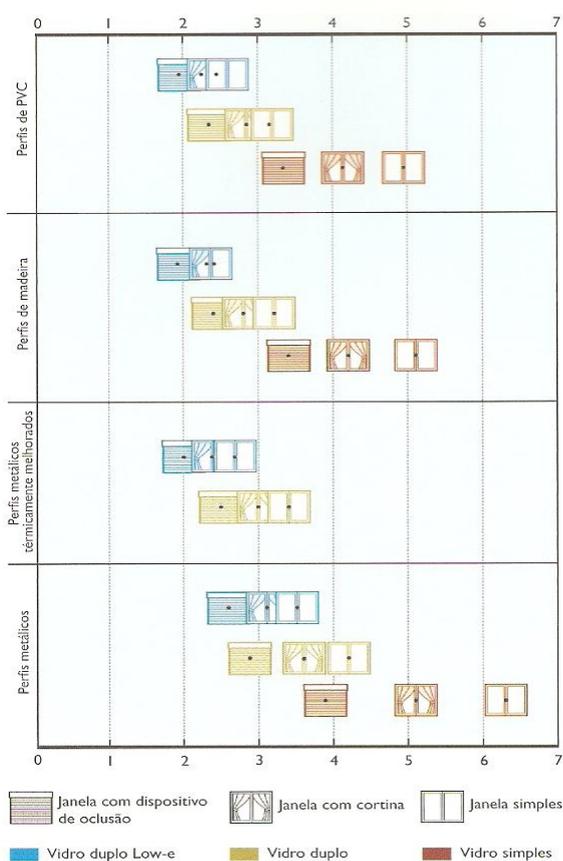


Figura 13: Coeficientes globais de transmissão térmica dos vãos envidraçados (Fonte: Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 2006)

7.1.4.2. Controlo dos ganhos solares nos vãos envidraçados

Nas regiões com Verões longos e quentes, onde podemos englobar Évora, o controlo dos ganhos solares dos vãos envidraçados assume uma grande importância. Para evitar o sobreaquecimento da habitação ou o consumo excessivo de energia para arrefecimento durante a estação quente, é muito importante que se controlem os ganhos solares dos vãos envidraçados (Paiva et. al., 2006).

Como principais soluções de controlo dos ganhos solares, e segundo o mesmo autor, para os vãos envidraçados temos:

- Diminuição da área de envidraçados;
- Controlo das propriedades dos envidraçados (transmitância luminosa, factor solar e índice de selectividade espectral);
- Dispositivos de sombreamento (preferencialmente exteriores) eficazes;

7.1.4.2.1. Diminuição da área dos envidraçados

A diminuição da área dos envidraçados implica alterações ao nível da fachada do edifício, o que poderá constituir um problema na reabilitação de um edifício no Centro Histórico de Évora, pelo que se considera como inviável esta solução.

7.1.4.2.2. Controlo das propriedades dos envidraçados

Quanto à quantificação dos ganhos solares de um envidraçado, esta considera-se através do parâmetro g_{\perp} (factor solar). Este factor solar não caracteriza somente o envidraçado, mas a combinação de envidraçado com dispositivo de sombreamento. A escolha do tipo de envidraçados e respectivo sombreamento deverá ser correctamente ponderada, pois deverá existir uma conciliação entre o isolamento térmico durante a estação fria com o controlo dos ganhos solares na estação quente. Deste modo, segundo PAIVA et. al. (2006), as soluções mais eficazes compatibilizando as duas necessidades, são:

- Aplicação de envidraçados de alto desempenho térmico, que combinem transmitâncias luminosas elevadas e baixos factores solares;
- Aplicação de envidraçados com bom isolamento térmico com dispositivos de protecção solar exteriores eficientes;

No que respeita às características dos envidraçados, o PUE não estabelece qualquer restrição, pelo que se considera possível a utilização dos diferentes tipos de envidraçados disponíveis no mercado, desde que não origine problemas estéticos da fachada, ou seja, desde que se mantenha os envidraçados incolores.

7.1.4.2.3. Dispositivos de sombreamento exteriores

No que se refere a dispositivos de protecção solar exteriores o Plano de Urbanização de Évora nada refere acerca da sua utilização no centro histórico. Assim poderá considerar-se a sua utilização desde que não provoque alteração na fachada do edifício ou descaracterização da mesma. Segundo informação dos técnicos da Câmara Municipal de Évora, em edifícios classificados como E_1 ou E_2 não será possível a sua utilização, para E_3 já será possível utilizar estes dispositivos.

Os estores ajustáveis (figura 14 A) e as protecções totais ajustáveis (figura 14 B) constituem dois sistemas de sombreamento exterior que não provocam impacto visual nas fachadas, e que são comumente encontrados em edifícios do centro histórico de Évora.

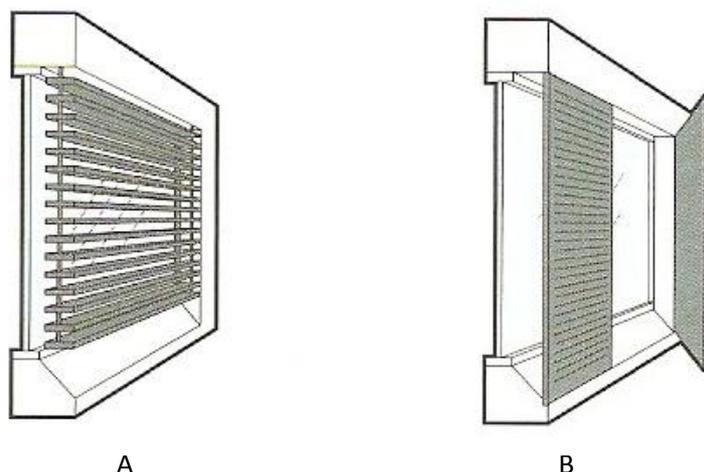


Figura 14: Protecções solares exteriores, (A) Estores ajustáveis, (B) Protecções totais ajustáveis
(Fonte: Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 2006)

Em caso de impossibilidade de colocação de dispositivos de sombreamento exterior deve ter-se em atenção que a eficácia relativa difere consideravelmente, 5 a 10% da radiação solar entra no interior do edifício com dispositivos de sombreamento exteriores enquanto 30 a 40% da radiação entra no edifício com dispositivos de sombreamento interiores (Paiva et. al., 2006).

7.2. Controlo das infiltrações de ar

O controlo das infiltrações de ar nos edifícios a reabilitar é garantido sobretudo na reabilitação térmica dos vãos envidraçados (q.v. 7.1.4.). São sobretudo estes elementos que provocam a entrada de ar não controlada no edifício, mas outros, quando apresentem deterioração elevada também poderão ser responsáveis, tal como, os vãos das portas. Estes elementos deverão ser reparados ou substituídos consoante o nível de deterioração verificado, com o objectivo de garantir o controlo do ar interior do edifício.

As perdas de calor devido às infiltrações de ar, no Inverno, representam cerca de 30% a 50% do consumo de energia dos edifícios. Numa perspectiva meramente energética, seria desejável uma taxa de renovação de ar por hora (R_{ph}) que fosse muito reduzida, no entanto, por condições de conforto higrotérmico, de saúde e qualidade do ar interior, teremos que garantir um valor mínimo da taxa horária de renovação de ar (conforme previsto no RCCTE, ponto 3.2 do anexo IV). Assim para garantir os valores mínimos de a renovação do ar dos edifícios temos as seguintes recomendações, que devem ser verificadas cumulativamente (Freitas, 2011):

- Dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis (figura 12);
- Permeabilidade ao ar das caixilharias deve ser reduzida;
- Prever dispositivos de passagem do ar entre compartimentos (figura 15);

- Garantir secções adequadas da extracção natural do ar nas instalações sanitárias;
- Instalação de ventiladores individuais nas cozinhas;

Estas recomendações serão válidas para a ventilação natural, no que se refere a ventilação mecânica, deverá garantir-se o controlo das infiltrações de ar e os sistemas mecânicos deverão ser projectados de maneira a que a extracção seja efectuada nos compartimentos de serviço, sendo aconselhável também a instalação de um permutador de calor (Freitas, 2011).

7.3. Sistemas solares passivos e activos

7.3.1. Sistemas solares passivos

Os sistemas solares passivos são constituídos por dispositivos construtivos integrados na construção que têm por objectivo o aquecimento ou arrefecimento natural do edifício (Gonçalves, 2006).

7.3.1.1. Sistema de arrefecimento natural dos edifícios

O arrefecimento natural consiste no aproveitamento das fontes frias (por exemplo o solo e o ar exterior durante o período nocturno) para reduzir a temperatura ambiente dos edifícios durante a estação quente. Para a concretização do sistema de arrefecimento natural do edifício existe um conjunto de soluções (Gonçalves, 2006):

- Ventilação natural;
- Arrefecimento pelo solo;
- Arrefecimento evaporativo;
- Arrefecimento radiativo;
- Promoção de inércia térmica forte (colocação do isolamento térmico pelo exterior, sempre que possível).

Das diferentes medidas possíveis para concretizar o sistema de arrefecimento natural considera-se como a mais importante a aplicação de sistemas de ventilação natural. As restantes poderão ou não ser aplicadas dependendo do próprio edifício e das restrições a alterações impostas pelo PUE.

7.3.1.1.1. Ventilação natural

A ventilação natural como meio de arrefecimento do edifício consiste no aproveitamento da diferença de temperatura existente entre o interior e o exterior do edifício durante certos períodos do dia (fundamentalmente durante a noite). As diferenças de pressão originadas, através do posicionamento das aberturas, irão fazer circular o ar pelo interior do edifício arrefecendo-o durante

o período nocturno. A ventilação poderá ser conseguida através dos vãos envidraçados, colocados em faces opostas do edifício, ou por efeito de impulsão térmica (aberturas na parte superior e inferior do edifício), que quando abertos promovem a circulação do ar a temperaturas inferiores por todo o edifício (Gonçalves, 2006).

Para uma correcta implementação de um sistema de ventilação natural de um edifício deverão ser adoptadas as seguintes medidas (Anselmo et. al., 2004):

- Aberturas de admissão de ar nos compartimentos principais;
- Passagem de ar dos compartimentos principais para os de serviço;
- Aberturas de evacuação de ar nos compartimentos de serviço;
- Limitação da permeabilidade ao ar da envolvente exterior (nomeadamente janelas e caixas de estore).

Importa também referir que a passagem do ar dos compartimentos principais para os de serviço poderá ser efectuada através de um aumento das folgas na parte inferior ou lateral das portas ou através de grelhas incorporadas nas portas interiores. Nas cozinhas as aberturas de evacuação deverão localizar sobre o fogão, e nas instalações sanitárias as aberturas de evacuação devem localizar-se pelo menos dois metros acima do pavimento e tão distantes quanto possível da porta, permitindo que o ar que entra pela porta faça o varrimento de todo o compartimento. Na figura 15 apresenta-se um exemplo de sistema de ventilação natural.

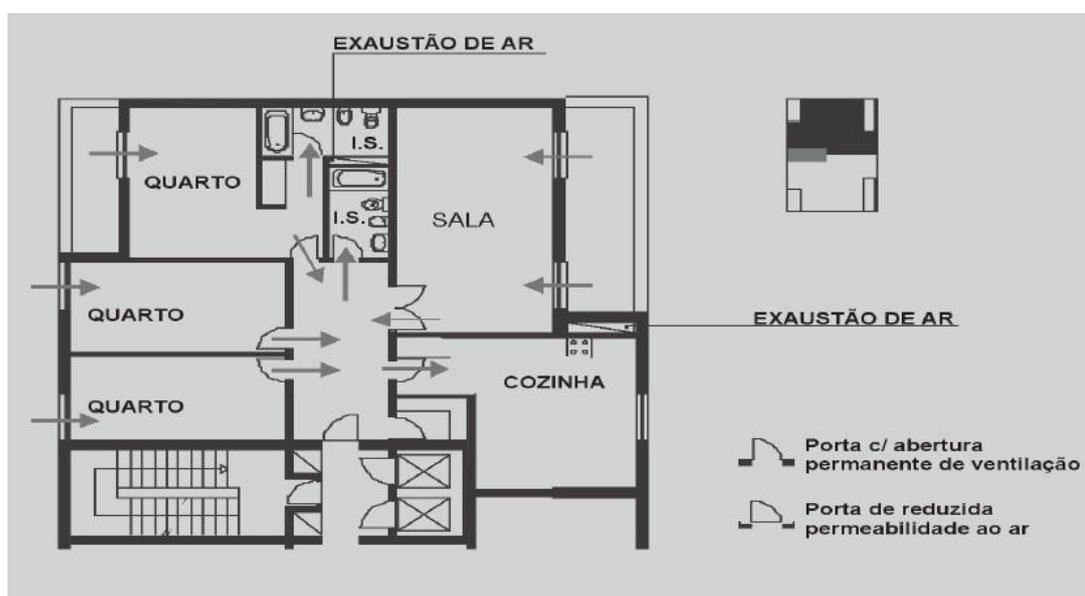


Figura 15: Exemplo de funcionamento de sistemas de ventilação natural (Fonte: Reabilitação energética da envolvente dos edifícios residenciais, 2004)

7.3.1.2. Sistemas de aquecimento natural

Os sistemas de aquecimento passivo fazem parte integrante da estrutura construtiva, desempenham o papel de colectores solares e acumuladores da energia solar neles incidentes e têm também como função a distribuição do calor pelo edifício por processos naturais. Os principais sistemas de aquecimento natural são os seguintes (Gonçalves, 2004):

- Ganhos directos;
- Ganhos indirectos (Paredes de trombe, parede massiva e colunas de água);
- Ganhos isolados (Espaço estufa ou colector de ar).

Das soluções possíveis apenas os sistemas de ganhos directos poderão ser considerados, visto que, quer os sistemas de ganhos isolados quer os sistemas de ganhos indirectos implicam alterações no edifício que não respeitam os princípios da preservação do património edificado do Centro Histórico.

7.3.1.2.1. Ganhos directos

No sistema de ganhos directos, o espaço a aquecer dispõe de vãos envidraçados bem orientados (para o hemisfério Norte os vãos envidraçados deverão estar orientados a Sul) para possibilitar a incidência da radiação solar no espaço interior e nas massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos). Na figura 16 exemplifica-se o sistema de aquecimento por ganhos directos. As massas térmicas terão a função bastante importante de estabilizar as amplitudes térmicas no interior do edifício (Gonçalves, 2004).

Para garantir o aquecimento natural do edifício a área de vãos envidraçados orientados a Sul deverá ser aumentada, devendo ter-se em atenção o assunto abordado no capítulo 7.1.4.2., para evitar o sobreaquecimento do interior do edifício durante o Verão. Para os edifícios do Centro Histórico nem sempre será possível por em prática estas medidas devido às condicionantes do PUE relativas às fachadas dos edifícios.

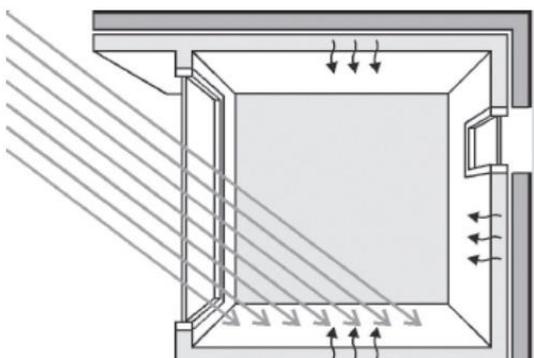


Figura 16: Esquema exemplificativo de sistema de ganhos solares directos (Fonte: Conceitos Bioclimáticos para os edifícios em Portugal, 2004)

7.3.2. Sistemas solares activos

Os sistemas solares activos integram equipamentos que transformam a energia solar em energia utilizável no edifício. Os equipamentos mais correntemente utilizados são os painéis solares para aquecimento de águas sanitárias (figura 17 A), e os painéis fotovoltaicos (figura 17 B) para produção de energia eléctrica.



(A)



(B)

Figura 17: (A) Painel solar de AQS (Fonte: Catálogo Junkers 2010);(B) Painel Fotovoltaico (Fonte: Catálogo Enersie 2010)

A instalação destes equipamentos está condicionada no centro histórico de Évora (q.v. 6.3.5.4.).

7.4. Melhoria da eficiência dos sistemas e equipamentos energéticos

Nos edifícios existem outros equipamentos que podem influenciar o seu desempenho energético e onde se pode intervir para aumentar a eficiência energética do edifício. São, nomeadamente (Paiva et. al., 2006):

- Melhoria da eficiência da iluminação, com recurso a soluções de iluminação natural e a equipamentos de iluminação energeticamente eficientes;
- Melhoria da eficiência dos sistemas de aquecimento existente (por exemplo, instalação de recuperadores de calor);
- Melhoria dos sistemas de climatização ajustando a sua potência às necessidades reais do edifício.

8. Caso de estudo

Justificada que foi a necessidade de se aumentar a eficiência energética dos edifícios, apresentados os dados estatísticos que revelam a dimensão que as carências em reabilitação assumem, equacionadas as condicionantes à reabilitação dos edifícios do Centro Histórico da cidade de Évora e apresentadas as principais soluções de intervenção, concretizamos neste capítulo a aplicação da teoria a um caso de estudo.

O edifício seleccionado para o estudo da eficiência energética, seguindo o RCCTE, está localizado no Centro Histórico da cidade de Évora, e foi escolhido, conjuntamente com os serviços da Câmara Municipal de Évora como edifício representativo da forma e tipologia construtiva das habitações aí localizadas.

Neste capítulo, aplicaremos soluções de reabilitação energética ao edifício, devendo considerar o leitor, que constituem um exemplo, e uma forma regulamentar de realizar a intervenção no edifício em causa, não devendo ser generalizado, pois cada obra de reabilitação energética deverá ser adequada ao edifício específico para o qual se realiza o projecto.

8.1. Caracterização do edifício

Previamente à análise da eficiência energética, importa caracterizar o edifício, com objectivo de perceber quais as condicionantes existentes no caso de estudo. A localização do edifício e respectivo enquadramento urbanístico, as condicionantes impostas pelo PUE e própria construção do edifício irão definir quais as medidas de reabilitação possíveis de aplicar.

8.1.1. Enquadramento urbanístico e localização do edifício

O edifício seleccionado como caso de estudo neste trabalho localiza-se no Centro Histórico da cidade de Évora e irá estar sujeito a todas as condicionantes que o PUE prevê e que já foram referidas (q.v. 6.3.).

Através da figura 18, seguidamente apresentada, podemos observar a posição do edifício na malha urbana do Centro Histórico, tendo-se inserido na referida figura duas referências, a Praça do Giraldo que constitui o núcleo central, cultural e social do Centro Histórico, e as Portas de Alconchel.



Figura 18: Localização do edifício em estudo no centro histórico da cidade de Évora (Fonte: Google Earth)

Na figura 19, planta de localização do edifício (note-se que por questões de dimensão a planta de localização se encontra em anexo ao presente trabalho, com as dimensões e escala correcta), podemos ver mais em pormenor o enquadramento do edifício na malha urbana do centro histórico.

Verificamos através desta figura que o edifício possui três fachadas distintas:

- Fachada Norte, pertencente à Rua da Moeda, constituindo esta uma das principais ruas transversais à Praça do Giraldo;
- Fachada Nordeste, virada para a Travessa das Contreyras, que faz a ligação entre a Rua da Moeda e outra importante transversal à Praça do Giraldo, a Rua dos Mercadores;
- Fachada Sudoeste, em contacto com a Travessa da Bota que está ligada ao amplo espaço exterior defronte da unidade hoteleira aí existente.

Com a determinação da classificação regulamentar do edifício podemos estipular uma primeira restrição, a impossibilidade de qualquer intervenção de reabilitação energética no exterior da fachada do edifício. Diga-se que através da classificação e artigos previstos no regulamento a intervenção no exterior das fachadas será muito difícil de conseguir, estando previstas raras exceções, devendo na maioria dos casos ponderar-se somente as intervenções de reabilitação energética que não recorram a soluções que alterem a fachada exterior dos edifícios.

8.1.3. Alçados e plantas

Analisado o enquadramento do edifício no Centro Histórico e a sua classificação regulamentar, examinamos agora o edifício em particular, através de peças desenhadas e fotografias. Os desenhos aqui apresentados representam um excerto dos desenhos originais, pois por questões de dimensão os desenhos com escala e orientação encontram-se em anexo.

Na figura 20 temos a planta do piso térreo do edifício. Podemos identificar aqui as três fachadas anteriormente referidas. No rés-do-chão o edifício possui duas habitações com fachada para a Travessa das Contreyras, o nº25 e o nº23 R/C sendo um T2 e um T1, respectivamente. Na fachada em contacto com a Travessa da Bota existe no piso térreo um armazém, representando este os nºs 9 e 11. Na fachada em contacto com a Rua da Moeda existe apenas uma porta com escadas para acesso à habitação do 1º andar com o nº121.

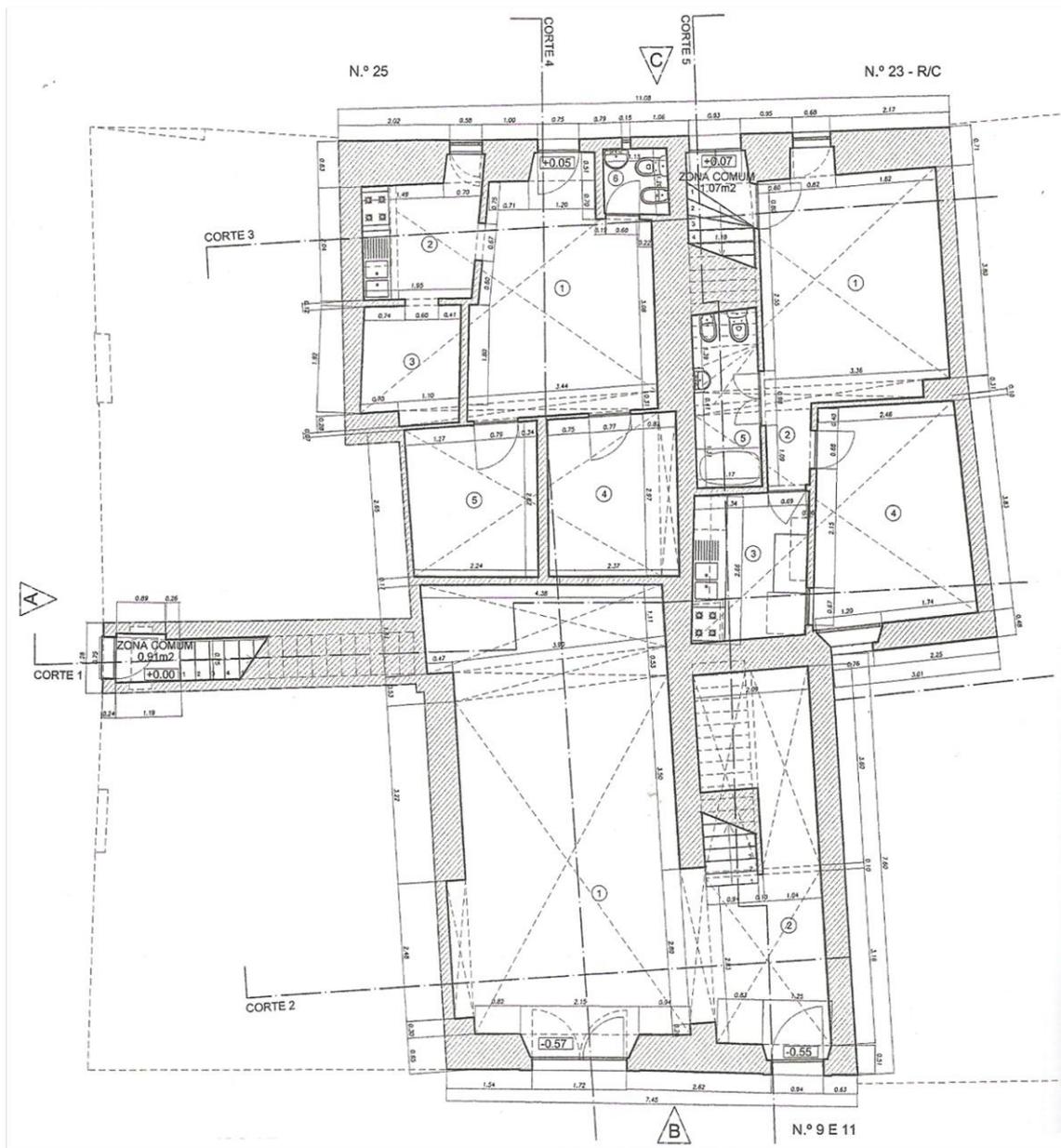


Figura 20: Planta do piso térreo

Na zona de armazém existe também uma escada que permite acesso à habitação existente no 1º andar.

Na figura 21, apresenta-se a planta do 1º andar do edifício. Podemos identificar aqui 3 habitações distintas: as com nº 121 Esquerdo e Direito, que possuem acesso pela escada virada para a Rua da Moeda, e o nº 23 1º piso, que possui acesso pelas escadas presentes na zona comum com o nº23 R/C, estando assim direccionada para a Travessa das Contreyras. Todas as habitações identificadas na planta do 1º andar são T2.

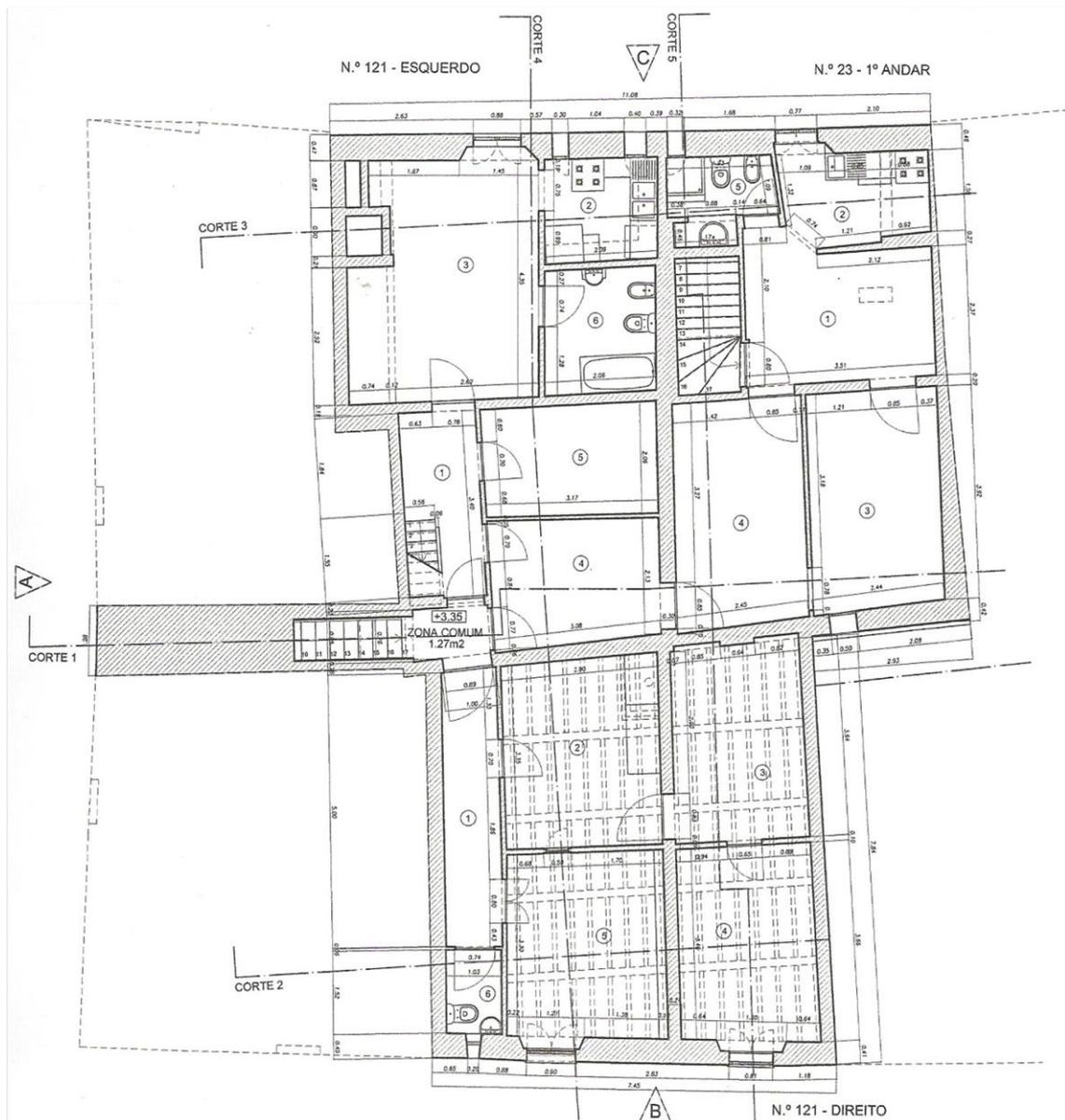


Figura 21: Planta do 1º andar

As escadas interiores à fracção nº121 Esquerdo dão acesso ao desvão não habitável existente no edifício que serve como zona de arrumos que se pode ver em pormenor na figura 22. Ao nível do sótão existe também um pequeno terraço que é possível ver na planta, superior às escadas de acesso às habitações do nº 121. Este terraço não irá influenciar a eficiência energética das habitações existente pois não contacta de forma directa com estas.



Figura 24: Alçado A, Rua da Moeda

Na figura 25 apresentam-se fotografias do alçado A. Na figura 24 (C) podemos ver uma abertura de ventilação, sendo que esta será considerada no cálculo do coeficiente τ (coeficiente que representa o quociente entre a diferença entre a temperatura do ar no interior do edifício e no local não aquecido e a diferença entre do ar no interior e no ambiente exterior), tal como previsto no RCCTE, quadro IV.1 do anexo IV.



(A)



(B)



(C)

Figura 25: (A) Vista geral da Rua da Moeda nas imediações do edifício em estudo; (B) Edifício em contacto com fracções vizinhas; (C) Porta de acesso às escadas do n.º121 na Rua da Moeda

O Alçado B do edifício corresponde à fachada em contacto com a Travessa da Bota, com orientação Sudoeste, figura 26. Neste alçado existe os nº 9 e 11 que correspondem ao armazém, que constitui um espaço não-útil, não possuindo quaisquer requisitos energéticos regulamentares. São também visíveis neste alçado dois vãos envidraçados correspondentes à habitação existente no primeiro andar com o nº 121 direito.

Através das fotografias apresentadas na figura 26 podemos verificar o mau estado em que se encontra a fachada, rebocos com elevado estado de degradação, portas e caixilharias com elevada permeabilidade ao ar e presença de vegetação na fachada proveniente do quintal vizinho, entre outras. Estas condições de conservação não são favoráveis à eficiência energética do edifício, a elevada permeabilidade ao ar derivada da escassa estanquidade das caixilharias, bem como a possibilidade de maior infiltração de água proveniente do mau estado dos rebocos exteriores provocam um conforto térmico deficiente do edifício, estando também associadas ao aparecimento de outras patologias no edifício.



Figura 26: Alçado B, Travessa da Bota



(A)



(B)



Figura 27: (A) Vista geral da Travessa da Bota nas imediações do edifício em estudo; (B) Fachada do edifício; (C) Pormenor de caixilharia do vão envidraçado e degradação do reboco exterior; (D) Porta do n.º9 com permeabilidade ao ar não controlada

Quanto ao Alçado C do edifício este corresponde à fachada em contacto com a Travessa das Contreyras com orientação Nordeste (figura 28). De todas as fachadas do edifício esta é aquela que apresenta maior área envidraçada visto ser a que contacta com maior área de habitação.

Nesta fachada, tal como na anterior, existe um avançado estado de degradação dos elementos, fundamentalmente caixilharias e rebocos. Não sendo possível a intervenção de reabilitação energética nas fachadas devido à classificação do edifício em estudo, deverão ser tomadas outras medidas que permitam conservar a fachada, especialmente ao nível dos rebocos, pois para além de esteticamente desagradável, a degradação destes elementos poderá ser a causa de outras patologias que poderão aparecer no edifício. Este assunto sai do âmbito deste trabalho, mas deixa-se aqui a nota, pois embora se realize um trabalho de reabilitação térmica, a fachada exterior deveria ser alvo igualmente de intervenção, ficando este assunto à responsabilidade de especialistas e entidades responsáveis pela conservação do Centro Histórico da cidade de Évora.

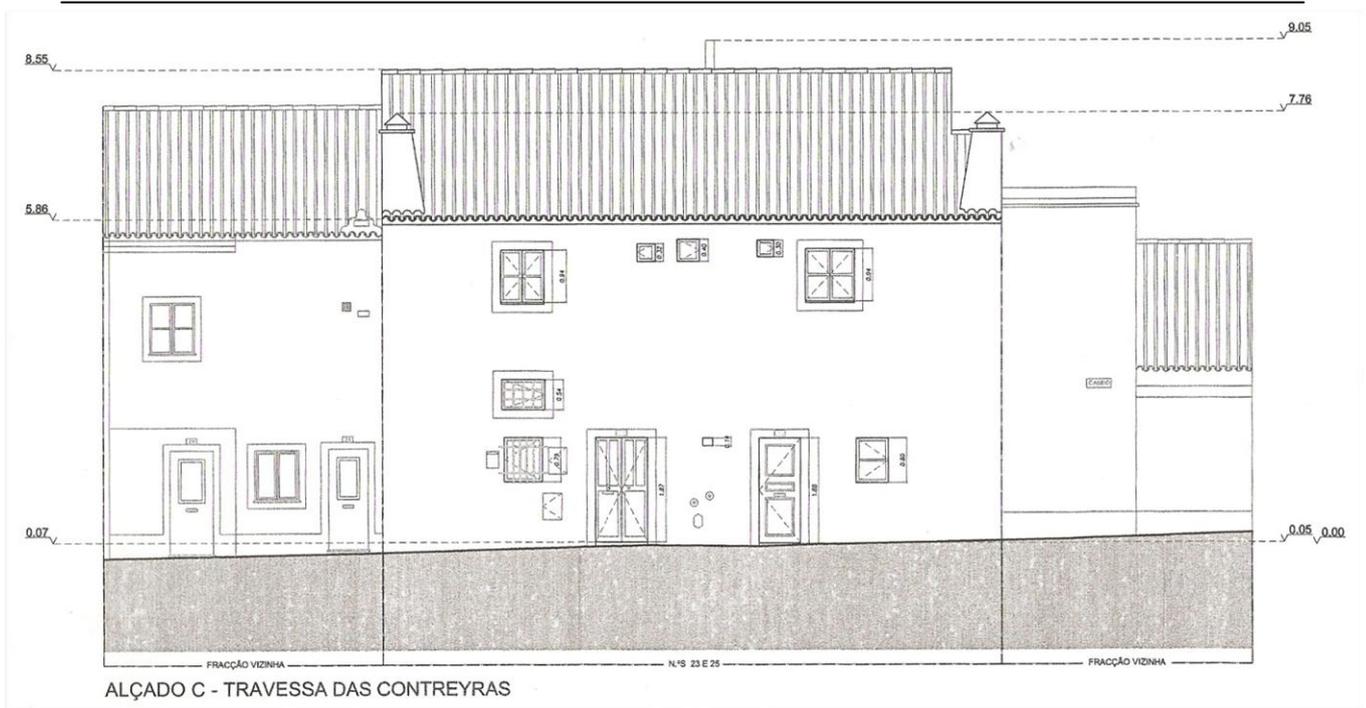


Figura 28: Alçado C, Travessa das Contreyras



(A)



(B)



Figura 29: (A) Vista geral da Travessa das Contreyras nas imediações do edifício em estudo; (B) Fachada do edifício; (C) Pormenor de caixilharia do vão envidraçado e degradação do reboco exterior 1º andar; (D) Rés-do-chão caixilharias e degradação do reboco.

8.1.4. Fracções autónomas do edifício

As exigências previstas no regulamento não são aplicadas ao edifício como um conjunto, mas sim a cada uma das fracções autónomas que constituem o edifício, tal como é referido no Artigo 2º ponto 8 do RCCTE.

Estando então introduzido o conceito, e apresentadas as plantas do edifício, importa estabelecer o fraccionamento do edifício em estudo para posterior aplicação do RCCTE.

No Rés-do-Chão, existem duas fracções autónomas, o nº 25 e o nº 23 R/C, podendo também observar-se nesta planta um espaço não-útil de dimensões consideráveis: o armazém (figura 30). Ao nível do Rés-do-Chão teremos então que realizar duas análises térmicas distintas, para a fracção autónoma 1 (que representa a habitação com a porta nº25 e que tem tipologia T2) e para a fracção autónoma 2 (correspondente ao nº 23 R/C com tipologia T1).

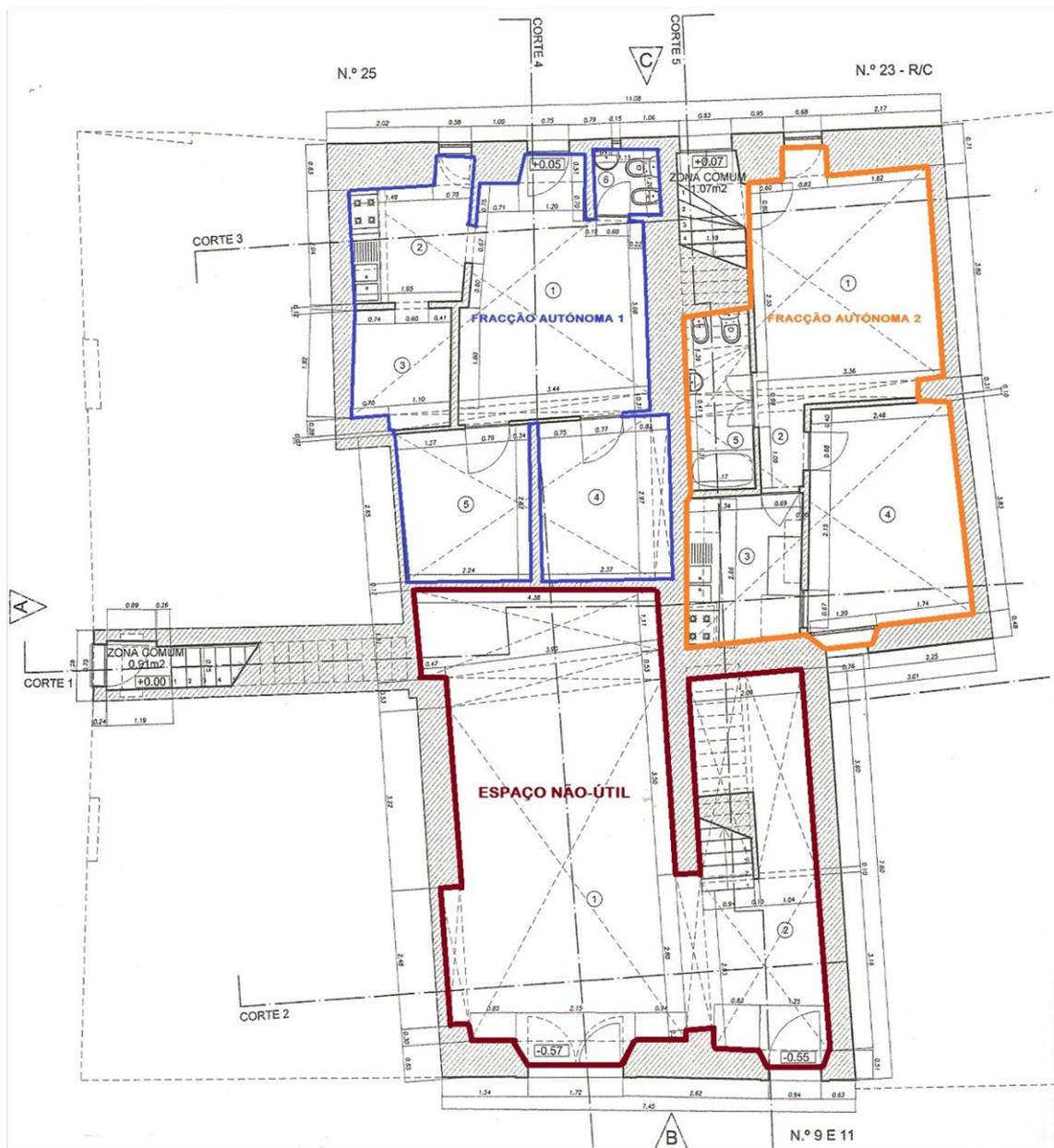


Figura 30: Fracções autónomas do rés-do-chão e espaço não-útil (armazém)

Ao nível do 1º andar as fracções autónomas identificadas são as que se apresentam na figura 31. Aqui possuímos três fracções, não existindo nenhum espaço não-útil de dimensões consideráveis em planta. Como espaços não-úteis existem neste piso as zonas de acesso comum. A fracção autónoma 5 é aquela que apresenta maior área de contacto com exterior pois possui, contacto directo com a cobertura não existindo laje de esteira.

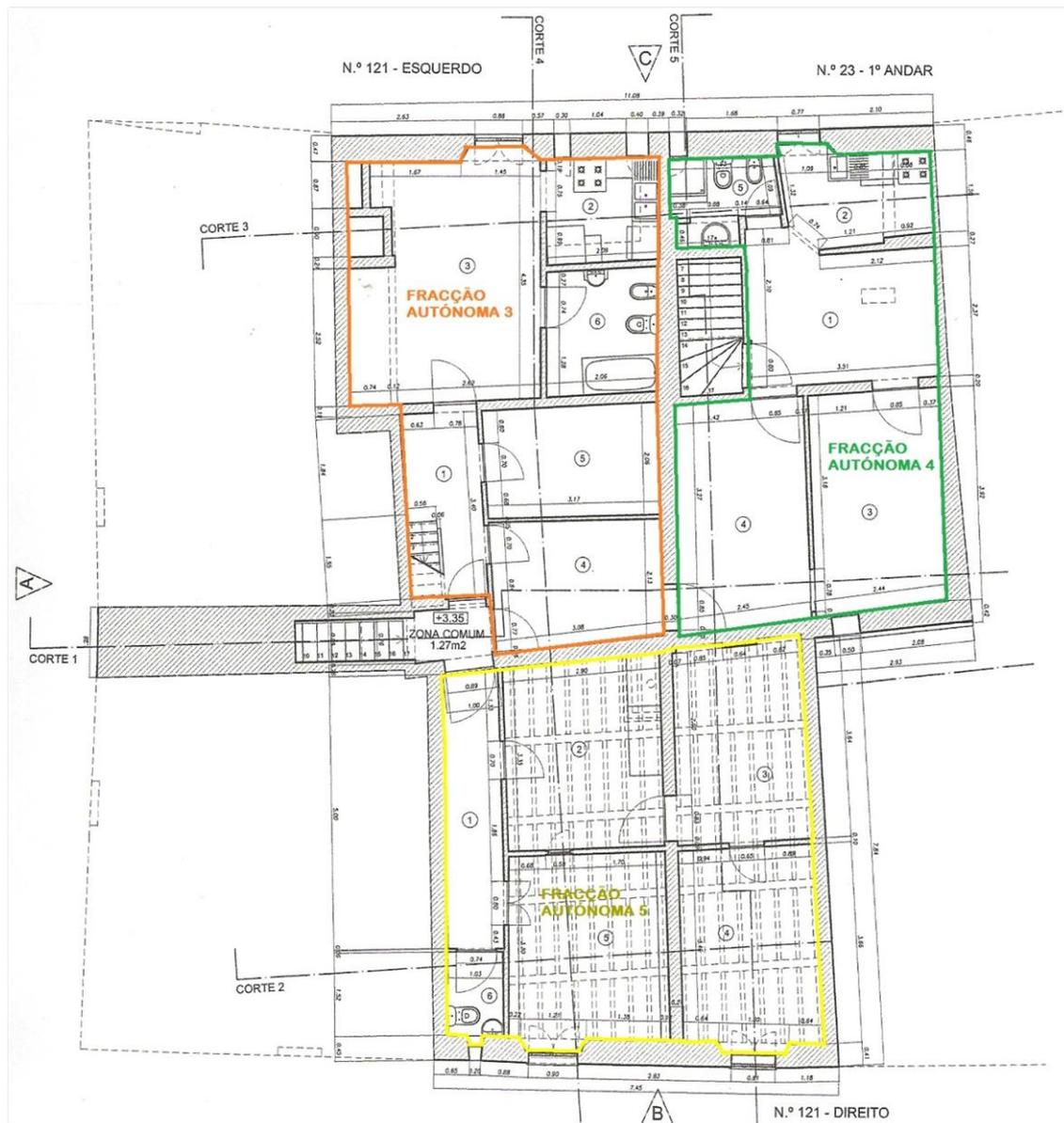


Figura 31: Fracções autónomas existentes no 1º andar

Para a reabilitação energética do edifício, de acordo com o RCCTE, temos 5 fracções autónomas para analisar e estabelecer a classificação energética. Alcançar uma eficiência energética classificada como A+ significa alcançar esta classificação em cada uma das fracções autónomas constituintes do edifício.

8.2. Tipologia construtiva – paredes, pavimentos, cobertura e caixilharias

Para realizar a análise da eficiência energética de cada uma das fracções autónomas do edifício precisamos de estabelecer, primeiramente, a constituição de cada um dos elementos existentes no edifício.

Paredes, pavimentos, cobertura e caixilharias serão aqui descritos quanto à sua constituição com o objectivo de determinar os coeficientes de transmissão térmica fundamentais ao projecto de térmica de cada fracção autónoma na situação existente. Dada a irregularidade dimensional de muitos dos elementos existentes não se estabelece aqui um valor fixo e tipificado de coeficiente de transmissão térmica para cada elemento, deixando-se este em algumas situações em função da espessura das camadas constituintes.

8.2.1. Paredes

As paredes dos edifícios do Centro Histórico de Évora são, na sua maioria, constituídas por tijolos maciços (figura 32) e desempenham funções estruturais. Resultado da elevada resistência que as paredes têm que possuir enquanto elementos estruturais surge a elevada largura destes elementos, que em muito contribui para o aumento da inércia térmica das fracções autónomas.



Figura 32: Tijolos maciços com argamassa tradicional de cal na fachada exterior, em contacto com o pavimento da rua e pedra de cantaria da porta (Travessa da Bota)

No edifício em estudo considera-se que as paredes interiores e exteriores possuem os mesmos elementos constituintes, tijolo maciço vermelho de 0,10m (desconhece-se a real espessura destes elementos, considerando-se este valor aproximado – resistência térmica de tijolos cerâmicos maciços de 0,10m disponível no ITE 50) de espessura e reboco interior e exterior de argamassa de cal

e areia com uma espessura de 0,04m em cada uma das faces da alvenaria (a espessura de reboco foi estabelecida através da análise no edifício das paredes, figura 33).



Figura 33: Degradação do reboco existente na parede exterior do edifício permite estabelecer uma espessura aproximada.

Como foi referido anteriormente, e dada a elevada irregularidade dimensional das paredes, torna-se difícil estabelecer um valor fixo para o coeficiente de transmissão térmica das paredes do edifício, pelo que ao invés se irá considerar a condutibilidade térmica (λ) dos elementos constituintes da parede. Assim deverá existir a determinação da espessura total da parede e considerar os seguintes constituintes:

- Resistências térmicas superficiais com sentido de fluxo de calor horizontal, interior (R_{si}) de $0,13 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ e exterior (R_{se}) de $0,04 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.
- Duas camadas de reboco, interior e exterior, com espessura de 0,04m mais 0,04m considerando uma condutibilidade térmica de $0,80 \text{ W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ correspondente a argamassas e rebocos de cal e areia com massa volúmica aparente seca (ρ) de $1600 \text{ kg}/\text{m}^3$.
- Considerando 0,08m de espessura para o total das camadas de reboco, a restante largura da parede deverá ser considerada como de tijolo cerâmico maciço. A resistência térmica da alvenaria com 0,10m de espessura de tijolo maciço é de $0,13 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, podendo ser estabelecida uma relação directa para a determinação da resistência térmica de alvenarias de tijolo maciço com diferentes espessuras a partir destes valores.

Note-se que na situação existente do edifício não se considera isolamento térmico, pois neste caso de estudo, e na maioria dos edifícios existentes no Centro Histórico de Évora que não sofreram alterações recentemente, o isolante térmico é inexistente.

8.2.2. Pavimentos

Relativamente aos pavimentos existentes nos edifícios do Centro Histórico estes variam de acordo com a sua posição ou função. Consideram-se três tipos de solução para os pavimentos, dependendo se estes estão em contacto com o terreno ou se no edifício têm uma posição intermédia.

8.2.2.1. Pavimentos térreos

Ao nível dos pavimentos em contacto com o terreno, a tipologia construtiva mais comum existente no Centro Histórico de Évora, e segundo informação disponibilizada por técnicos da Câmara Municipal de Évora e empresas construtoras, é aquela em que são construídos os pavimentos com recurso a pedras e argamassa. Para conferir resistência ao pavimento utiliza-se a camada de pedra e directamente sobre as pedras é aplicada a argamassa, com objectivo de regularizar a superfície do pavimento.

O pavimento térreo é considerado somente, segundo o RCCTE, para o cálculo das pontes térmicas lineares e para a classe de inércia térmica do edifício, não existindo interesse no cálculo do seu coeficiente de transmissão térmica. Embora esta situação, em seguida, apresentam-se os dados considerados na pormenorização do pavimento em contacto com o solo, tendo uma espessura total de 0,50m:

- Considerou-se uma camada de granito com espessura de 0,40m (esta espessura poderá variar, no entanto não terá qualquer influência no desempenho energético das fracções autónomas) em contacto directo com o terreno, com um peso volúmico de 17 kN/m^3 e condutibilidade térmica de $2,8 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Sobre a camada de granito considera-se a existência de 0,10 m de argamassa bastarda para regularização do pavimento com peso volúmico de 19 kN/m^3 e condutibilidade térmica de $0,80 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

8.2.2.2. Pavimentos intermédios – tectos em abobadilha

Os pavimentos que dividem os diferentes andares dos edifícios são, no Centro Histórico da cidade de Évora, comumente em abobadilha. Devido a utilizar-se paredes resistentes de tijolo maciço de elevada espessura como estrutura de suporte do edifício, a solução de suporte dos pisos superiores consistia na realização de abobadilhas e por vezes arcos para garantir a estabilidade do edifício.

Assim a constituição dos pavimentos intermédios entre fracções habitáveis consiste, regra geral, na colocação de mosaicos cerâmicos na face superior, assentes com argamassa sobre a

abobadilha, e na face inferior da abobadilha poderá existir, ou não, reboco de revestimento, sendo comum deixar os tijolos da abobadilha à vista. Para os pavimentos com abobadilha considera-se então os seguintes elementos constituintes (não especificando uma vez mais as espessuras devido à diversidade dimensional existente no caso de estudo):

- Mosaico cerâmico na face superior do pavimento com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica $1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ com massa volúmica aparente seca entre 1200 e 1400 kg/m^3 .
- Argamassa de assentamento dos mosaicos cerâmicos com espessura de 0,02 m, ao qual corresponde um coeficiente de condutibilidade térmica de $0,80 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.
- Desconhecida a espessura da camada de regularização em argamassa, considera-se que a camada adjacente à argamassa de assentamento dos mosaicos é constituída por tijolo cerâmico maciço. À semelhança das paredes exteriores a resistência térmica da alvenaria de tijolo maciço com 0,10m é de $0,13 \text{ m}^2\text{.}^\circ\text{C/W}$, pelo que bastará estabelecer uma relação de proporcionalidade directa para determinar as resistências térmicas dos elementos de tijolo maciço com outras espessuras.
- Nos elementos horizontais a resistência térmica superficial a considerar é a que corresponde ao fluxo de calor sentido vertical ascendente, pelo que teremos que R_{si} é $0,10 \text{ m}^2\text{.}^\circ\text{C/W}$ e R_{se} igual a $0,05 \text{ m}^2\text{.}^\circ\text{C/W}$.

8.2.2.3. Pavimentos intermédios – soalhos de madeira

Outra solução que é recorrente nos edifícios do Centro Histórico da cidade de Évora para a realização de pavimentos intermédios é constituída por soalhos de madeira. Esta solução surge normalmente nos pisos mais elevados para aligeirar o edifício, pois a espessura das paredes resistentes, como é compreensível do ponto de vista estrutural, diminui à medida que a altura aumenta, o que torna inviável ou de maior dificuldade a realização de abobadilhas. No caso de estudo existe pavimento em contacto com o sótão em soalho de madeira.

Como se demonstrou anteriormente, para estes espaços não-úteis o valor de τ é sempre superior a 0,7 devido à elevada área em contacto com o exterior nestes espaços. Assim consideram-se estes pavimentos de madeira como pertencendo à cobertura interior, constituindo elementos de separação entre o interior do edifício e zonas de desvão acessível ou não.

8.2.3. Cobertura

Pela análise da pormenorização construtiva da cobertura detectaram-se duas situações bastante distintas entre si.

Na fracção autónoma 5, importa saber a constituição da cobertura inclinada para a determinação do coeficiente de transmissão térmica, uma vez que nesta fracção a cobertura constitui o elemento de separação entre o espaço interior e o espaço exterior. Considera-se a cobertura constituída por telha cerâmica em canudo, varas de encaixe das telhas, estrutura de madeira para suporte das varas e traves de madeira longitudinais de suporte da cobertura. Assim pelo ITE 50 (2006), quadro II.17, determinamos que o coeficiente de transmissão térmica da cobertura inclinada leve é de $3,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Nas restantes fracções, teremos exigências equivalentes a elementos em contacto com o exterior, embora aqui haja a diferença de existir laje de esteira em madeira. No edifício em estudo toda a laje de esteira existente se considera em madeira, com a seguinte pormenorização:

- Pavimento superior de madeira leve com um coeficiente de condutibilidade térmica de $0,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ e massa volúmica aparente seca de 435 a 565 kg/m^3 .
- Estrutura de suporte do pavimento em madeira densa com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,23 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ e massa volúmica aparente seca de 750 a 870 kg/m^3 .
- Forro inferior em madeira constituído por painéis de aglomerados de madeira com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,14 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ e massa volúmica aparente seca de 600 kg/m^3 .
- Nos elementos horizontais a resistência térmica superficial, tal como referido anteriormente, é a que corresponde ao sentido de fluxo de calor vertical ascendente, pelo que teremos que R_{si} é $0,10 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ e R_{se} igual a $0,10$ quando a superfície superior da laje está em contacto com um espaço não aquecido.

Na descrição da constituição da laje de esteira, acima efectuada, não é referida a espessura dos constituintes porque no nosso caso de estudo existem diferentes espessuras. Temos na fracção autónoma 3 zona de pavimento em contacto com o sótão com espessura de $0,20 \text{ m}$ em que se considerou o revestimento superior com espessura de $0,04 \text{ m}$, a estrutura de madeira com $0,14 \text{ m}$ e o forro inferior de madeira com $0,02 \text{ m}$, o que origina um coeficiente de transmissão térmica (U) de $1,06 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Na mesma fracção existe cobertura interior em contacto com desvão não habitável com espessura de $0,20 \text{ m}$, onde se considera que não existe pavimento superior de madeira o que resulta num U de $1,90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Na fracção autónoma 4 existe cobertura interior, em contacto com o sótão, com espessura de $0,09 \text{ m}$ onde se considera o forro de madeira inferior e o pavimento superior com $0,02 \text{ m}$ de espessura cada e a estrutura de madeira com $0,05 \text{ m}$, do que resulta um U de $1,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Na mesma fracção existe cobertura interior em contacto com desvão não habitável

com espessura de 0,10 m, do que, considerando 0,01m de espessura adicionada à estrutura de madeira, resulta um U de 1,73 W/m².°C.

8.2.4. Caixilharias

As caixilharias existentes nos vãos envidraçados são constituídas por madeira. A degradação existente nestas (figura 34) influencia a eficiência energética do edifício e não permite o controlo da circulação do ar no interior do edifício. As janelas são então simples, com vidro simples não possuindo qualquer tipo de elementos para melhoria da eficiência energética à excepção de uma cortina interior opaca. Sendo edifício de habitação considera-se um coeficiente de transmissão térmico médio dia-noite, que para o caso, segundo o ITE 50 (2006), é de 4,3 W/m².°C.



Figura 34: Pormenor da caixilharia de madeira existente na fachada do edifício com cortina interior e vidro simples.

8.3. Caracterização dos espaços não-úteis existentes no edifício

Na análise da eficiência energética do edifício importa, para além do conhecimento dos pormenores construtivos, caracterizar os espaços não-úteis existentes. O RCCTE define espaço não-útil como o local fechado, fortemente ventilado ou não, que não se encontra destinado à ocupação humana em termos permanentes e, não é em regra climatizado. Os espaços não-úteis não estão assim sujeitos aos requisitos regulamentares do RCCTE, a separação entre espaços úteis e não-úteis

(envolvente interior) está sujeita a requisitos regulamentares e o RCCTE determina que sejam consideradas as perdas de calor para com espaços não-úteis.

No edifício em estudo existem os seguintes espaços não-úteis:

- Armazém no piso térreo;
- Zona comum de acesso no n.º23;
- Zona comum de acesso no n.º121;
- Desvão não ventilado (sótão sobre as fracções autónomas 3 e 4);
- Desvão ventilado (sobre as fracções autónomas 3 e 4).

A caracterização do espaço não-útil é feita, segundo o RCCTE, com a determinação do coeficiente τ . A determinação deste parâmetro é realizada através da expressão, $\tau = \frac{A_i}{A_u}$.

A_i representa a área dos elementos que separam o espaço útil interior do espaço não-útil, e A_u é a área dos elementos que separam o espaço não-útil do ambiente exterior. Através do quociente entre estas duas áreas e a tabela IV.1 do RCCTE podemos definir o valor de τ que caracteriza o espaço não-útil. Seguidamente apresenta-se o cálculo resumido do valor de τ para os espaços não-úteis existentes no edifício.

8.3.1. Armazém

O valor de A_u para o armazém existente no rés-do-chão do edifício é de $48,82\text{m}^2$ (área da parede em contacto com o exterior na fachada a SW), enquanto o valor de A_i é de $63,92\text{m}^2$. A divisão de A_i por A_u tem o resultado de 1,31, através da tabela IV.1 do RCCTE obtemos um valor de τ para o Armazém de 0,7.

8.3.2. Zona comum de acesso n.º23

Como é possível verificar nas peças desenhadas do edifício em estudo, a zona comum do n.º23 possui somente uma pequena parte da fachada NE como elemento de separação do espaço não-útil com o exterior, enquanto os elementos em contacto com espaço útil são mais numerosos. O que resulta que A_u é $3,12\text{ m}^2$, valor este bastante inferior ao de A_i , $41,8\text{ m}^2$, o que faz com que o quociente seja de 13,4, o que através da tabela IV.1 do RCCTE dá um valor de τ para a zona comum de acesso n.º23 nulo. Não são assim consideradas quaisquer perdas térmicas das fracções autónomas para a zona comum de acesso do n.º23.

8.3.3. Zona comum de acesso n.º121

Para este espaço não-útil poderíamos julgar que o valor de τ seria igual ao anteriormente calculado para a zona comum de acesso do n.º23, mas, e como é possível visualizar na imagem 28B (q.v. 9.1.3), a fachada orientada a Norte possui uma abertura de ventilação permanente, o que irá influenciar a determinação do coeficiente τ .

A área correspondente a A_i é $6,2 \text{ m}^2$ e A_u é $2,13 \text{ m}^2$ o que resulta num quociente de 2,9. Sendo a área da abertura permanente $0,03 \text{ m}^2$ e o volume $0,043 \text{ m}^3$, obtemos um valor de $0,70 \text{ m}^2/\text{m}^3$, o que faz com que o valor de τ para a zona comum de acesso do n.º121 seja de 0,7.

8.3.4. Sótão (sobre as fracções autónomas 3 e 4)

No que respeita aos sótãos existentes no edifício e em contacto com as fracções autónomas 3 e 4, o valor de A_u corresponde à área da cobertura sobre o desvão não habitável e das paredes em contacto com o exterior. A área do elemento que se contabiliza para o A_i será o pavimento do sótão. Podemos então concluir que nestas situações o valor de A_u será sempre superior ao de A_i o que resultará num quociente sempre inferior a 1. Por esta razão, o valor do coeficiente τ a considerar é de 0,8 (desvão não ventilado), valor este superior a 0,7, e que segundo o RCCTE, implica a verificação dos requisitos mínimos definidos no anexo IX do regulamento para os elementos da envolvente exterior e obriga à consideração de pontes térmicas lineares.

8.3.5. Desvão ventilado (sobre as fracções autónomas 3 e 4)

Devido ao tipo de cobertura existente (q.v. 8.2.3.) no edifício considera-se que o desvão existente é fortemente ventilado. Assim, e através da tabela IV.1, o valor de τ a adoptar é 1, independentemente das possíveis relações existentes entre A_i e A_u .

8.4. Zonamento climático

Para a realização da análise de eficiência energética importa definir um conjunto de factores estipulados pelo regulamento, relacionados com a localização do edifício, que podemos designar de zonamento climático do local de implantação do edifício.

Segundo o Quadro III.1 do RCCTE, o concelho de Évora situa-se numa zona climática de Inverno I1, numa zona climática de Verão V3 Sul, a duração da estação de aquecimento é de 5,7 meses, o número de Graus-Dias é 1390°C.dias , a temperatura externa do projecto é 35°C e a amplitude térmica é de 17°C . Pelo facto de estarmos na zona climática de Verão V3 Sul temos uma

temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento de 23°C. Não existe necessidade de efectuar alterações em função da altitude do local pois esta é inferior a 400m.

8.5. Análise da eficiência energética (RCCTE) – situação existente

Analisado o edifício e os pormenores construtivos importantes para a realização do projecto de térmica, apresenta-se em seguida a análise por fracção autónoma da eficiência energética com a respectiva classificação. Os resultados serão apresentados sob a forma de quadros resumo, estando as folhas de cálculo completas em anexo.

Em todas as fracções analisadas considera-se a inexistência de isolamento térmico nos diferentes elementos, pelo que para a determinação dos coeficientes de transmissão térmica linear (Ψ) considera-se o valor mais alto previsto no regulamento para cada situação. Igualmente se considera constante em todas as fracções autónomas, os ganhos internos médios por unidade de área útil de pavimento de 4 W/m², por se tratar de sector residencial. As chaminés existentes no edifício, e que devem ser mantidas de acordo com o PUE, são consideradas espaço exterior às respectivas fracções autónomas.

8.5.1. Situação existente – fracção autónoma 1

A fracção autónoma 1 corresponde a uma habitação com tipologia T2 (3 ocupantes convencionais), que se encontra com sua fachada principal virada a Nordeste. Possui parede em contacto com um edifício adjacente, com o armazém e zona comum de acesso (espaço não-útil). Temos pavimento em contacto com o solo e o pavimento intermédio encontra-se em contacto com outra fracção autónoma. A área útil de pavimento é de 32,61 m².

Iniciando a análise de eficiência energética do edifício pelo cálculo das necessidades nominais de aquecimento verificamos a primeira não conformidade regulamentar (quadro 9). O cálculo da inércia térmica é apresentado nas folhas de cálculo em anexo, para a fracção autónoma 1 o resultado obtido foi de inércia térmica forte.

Necessidades de aquecimento		
Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma	45,36	(W/°C)
Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma	41,78	(W/°C)
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	2,07	(W/°C)
Perdas associadas à renovação de ar	30,34	(W/°C)
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)	560,62	Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)
Necessidades nominais de aquecimento máximas - Ni	59,41	(kWh/m².ano)
Necessidades nominais de aquecimento - Nic	105,11	(kWh/m².ano)
Nic/Ni	176,93%	

Quadro 9: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 1.

A inexistência de isolamento nas paredes e pavimentos, bem como as infiltrações de ar existentes devidas a caixilharias e portas mal vedadas resulta em perdas de calor elevadas na fracção autónoma. Igualmente importante nas perdas é a parede em contacto com o armazém que apresenta um τ de 0,7 e as pontes térmicas lineares. O valor de τ para a zona comum de acesso ao nº23 1º andar é nulo devido à grande área de elementos em contacto com espaço útil quando comparado com os elementos em contacto com o exterior. As perdas por vãos envidraçados exteriores não assumem grande relevância devido à pequena área existente.

Prosseguindo a análise da eficiência energética da fracção autónoma determinamos as necessidades nominais de arrefecimento do edifício (quadro 10). A orientação da fachada em contacto com o exterior da fracção autónoma é Nordeste pelo que se considera a intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento de 330 kWh/m².

Necessidades de arrefecimento		
Perdas térmicas totais	313,78	(W/°C)
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	2,07	(W/°C)
Ganhos totais na estação de arrefecimento	539,8	(kWh)
Ganhos solares pela envolvente opaca	127,31	(kWh)
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	30,56	(kWh)
Ganhos internos totais	381,93	(kWh)
Relação ganhos-perdas	1,72	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	7,37	(kWh/m².ano)
Nec. nominais de arrefecimento máximas - Nv	32	(kWh/m².ano)
Nvc/Nv	23,03	%

Quadro 10: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 1.

Verificamos então, pela análise do quadro 10, que a fracção autónoma cumpre com o regulamento nas necessidades nominais de arrefecimento. Tal facto deve-se à relação ganhos-perdas, que não provoca o aquecimento excessivo do interior da fracção autónoma, ou seja, existem

muitos ganhos pela envolvente do edifício, mas as perdas térmicas totais também são elevadas, o que resulta num equilíbrio que satisfaz os requisitos regulamentares para as necessidades nominais de arrefecimento. As perdas totais possuem um valor relativo baixo sobretudo devido à pequena área envidraçada.

No que respeita às águas quentes sanitárias (AQS), as necessidades nominais de energia são as que se apresentam no quadro 11.

Necessidades de energia para AQS		
Nº de ocupantes convencionais	3	
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS})	40	litros/ocupante
Aumento de temperatura necessário (ΔT)	45	°C
Número anual de dias de consumo (n_d)	365	dias
Energia despendida com sistemas convencionais (Q_a)	764,13	(kWh/ano)
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a)	0,4	
E_{solar}	0	
E_{ren}	0	
Necessidades de energia para preparação de AQS, N_{ac}	58,58	(kWh/m².ano)
Valor máximo para as nec. energia para preparação de AQS, N_a	36,26	(kWh/m².ano)
N_{ac}/N_a	161,54	%

Quadro 11: Resumo da determinação das necessidades nominais de energia para AQS da fracção autónoma 1.

Na análise de energia para AQS relativa a edifícios de habitação considera-se o consumo médio diário de referência de 40 litros/ocupante e o número de dias anuais de consumo 365. A eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS considerado foi baseada no esquentador a gás com redes de distribuição de águas quentes internas sem isolamento térmico.

Da análise do quadro 11 concluímos que a fracção autónoma não cumpre os requisitos regulamentares no que diz respeito às necessidades nominais de energia para preparação de águas quentes sanitárias, devido sobretudo à não existência de qualquer contribuição de sistema solar ou outro sistema de aproveitamento de energia renovável. Para as fracções autónomas 3, 4 e 5 não serão apresentados os quadros referentes às necessidades de energia para preparação de AQS, uma vez, que estes serão iguais ao aqui apresentado.

Analisadas as necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de energia para preparação de AQS, resta quantificarmos as necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma, o que é apresentado no quadro 12. Considera-se aqui que a eficiência nominal do equipamento utilizado para aquecimento é de 1 (resistência eléctrica) e do equipamento de arrefecimento é 3 (máquina frigorífica).

Necessidades globais de energia primária			
Ni		59,41	kWh/m ² .ano
Nic		105,11	kWh/m ² .ano
Nv		32,00	kWh/m ² .ano
Nvc		7,37	kWh/m ² .ano
Na		36,26	kWh/m ² .ano
Nac		58,58	kWh/m ² .ano
Factores de conversão		Eficiência nominal equipamentos	
F_{pui} (kgep/kW.h)	0,290	Resistência eléctrica	$\eta_i = 1$
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,290	Máquina frigorífica (arrefecimento)	$\eta_v = 3$
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,086		
Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc}		8,16 (kgep/m ² .ano)	
Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N_t		5,718413 (kgep/m ² .ano)	
N_{tc}/N_t		1,43 Classe C	

Quadro 12: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 1.

Podemos concluir, então, do quadro 12 que a fracção autónoma não cumpre os requisitos mínimos regulamentares, sendo o valor de N_{tc} superior a N_t . A análise da eficiência energética da fracção autónoma 1 na situação existente conduz à classificação de classe C, segundo o Despacho n.º 10250/2008.

8.5.2. Situação existente – fracção autónoma 2

A fracção autónoma 2 corresponde a uma habitação de tipologia T1 (2 ocupantes convencionais) com a sua fachada exterior principal virada a Nordeste e com duas fachadas nas traseiras da fracção viradas a Sudoeste e a Sul. À semelhança da fracção autónoma anteriormente analisada, esta possui paredes em contacto com edifício adjacente, com o armazém e com a zona comum de acesso, sendo que a última não interfere com a eficiência energética do edifício visto possuir um valor de τ nulo. A área útil de pavimento desta fracção autónoma é de 33,27 m².

Iniciando a análise da eficiência energética pelas necessidades nominais de aquecimento, quadro 13, verificamos que, à semelhança da fracção anterior, não são cumpridos os requisitos regulamentares, com o valor de N_{ic} superior a N_i .

Necessidades de aquecimento		
Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma	55,17	(W/°C)
Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma	20,14	(W/°C)
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	5,93	(W/°C)
Perdas associadas à renovação de ar	26,37	(W/°C)
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)	629,37	Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)
Necessidades nominais de aquecimento máximas - Ni	59,41	(kWh/m2.ano)
Nec. nominais de aquecimento - Nic	88,99	(kWh/m2.ano)
Nic/Ni	149,80%	

Quadro 13: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 2.

As razões que levam a este resultado para as necessidades nominais de aquecimento são as mesmas que foram identificadas para a fracção autónoma 1. Como poderemos verificar pelas outras análises de eficiência energética das restantes fracções, os problemas são semelhantes entre fracções.

Quanto às necessidades nominais de energia para arrefecimento da fracção autónoma 2, os resultados obtidos são os apresentados no quadro 14.

Necessidades de arrefecimento		
Perdas térmicas totais	317,11	(W/°C)
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	5,93	(W/°C)
Ganhos totais na estação de arrefecimento	617,32	(kWh)
Ganhos solares pela envolvente opaca	144,20	(kWh)
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	83,46	(kWh)
Ganhos internos totais	389,66	(kWh)
Relação ganhos-perdas	1,95	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	9,32	(kWh/m2.ano)
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv	32,00	(kWh/m2.ano)
Nvc/Nv	29,11	%

Quadro 14: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 2.

Os requisitos regulamentares para as necessidades nominais de arrefecimento são verificados, embora a percentagem do quociente entre Nvc e Nv suba em relação à fracção autónoma 1, podendo uma das razões apontar ser o aumento da área envidraçada desta fracção quando comparada com a anterior.

Quanto à energia necessária à preparação de águas quentes sanitárias, devido à não existência de sistemas solares ou outros sistemas de energia renovável, o resultado será semelhante em todas as fracções autónomas em análise. No quadro 15 são apresentados os resultados para as necessidades de energia para AQS.

Necessidades de energia para AQS		
Nº de ocupantes convencionais	2,00	
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS})	40,00	litros/ocupante
Aumento de temperatura necessário (ΔT)	45,00	°C
Número anual de dias de consumo (n_d)	365,00	dias
Energia despendida com sistemas convencionais (Q_a)	764,13	(kWh/ano)
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a)	0,40	
Esolar	0,00	
Eren	0,00	
Necessidades de energia para preparação de AQS, N_{ac}	57,42	(kWh/m².ano)
Valor máximo nec. de energia para preparação de AQS, N_a	35,55	(kWh/m².ano)
N_{ac}/N_a	161,54	%

Quadro 15: Resumo da determinação das necessidades nominais de energia para AQS da fracção autónoma 2

Verificamos então o não cumprimento dos requisitos regulamentares relativamente às necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias.

O resultado de eficiência energética da fracção autónoma 2 é o apresentado no quadro 16.

Necessidades globais de energia primária			
Ni	59,41	kWh/m ² .ano	
Nic	88,99	kWh/m ² .ano	
Nv	32,00	kWh/m ² .ano	
Nvc	9,32	kWh/m ² .ano	
Na	35,55	kWh/m ² .ano	
Nac	57,42	kWh/m ² .ano	
Factores de conversão		Eficiência nominal equipamentos	
F_{pui} (kgep/kWh)	0,290	Resistência eléctrica	$\eta_i = 1$
F_{puv} (kgep/kWh)	0,290	Máquina frigorífica (arrefecimento)	$\eta_v = 3$
F_{pua} (kgep/kWh)	0,086		
Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc}	7,61	(kgep/m².ano)	
Valor máximo das nec. Nominais globais de energia primária, N_t	5,62129243	(kgep/m².ano)	
N_{tc}/N_t	1,35	Classe C	

Quadro 16: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 2

O resultado para a fracção autónoma 2 é o não cumprimento regulamentar relativamente às necessidades globais de energia primária, embora o valor seja mais reduzido que o verificado na fracção autónoma 1. A classificação energética segundo o Despacho n.º 10250/2008 é de classe C.

8.5.3. Situação existente – fracção autónoma 3

A fracção autónoma 3 é uma habitação situada no 1º andar com tipologia T2 (3 ocupantes convencionais) que tem o seu acesso pelo n.º121 da Rua da Moeda. Esta fracção possui a sua

fachada exterior com orientação Nordeste e, para além de paredes em contacto com o edifício adjacente e outras fracções autónomas, possui pavimento em contacto com o armazém (espaço não-útil). A área útil de pavimento desta fracção autónoma é de 39,92 m².

À semelhança dos procedimentos anteriormente seguidos, apresentam-se as necessidades de aquecimento do edifício, primeiramente, no quadro 17.

Necessidades de aquecimento		
Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma	24,08	(W/°C)
Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma	82,85	(W/°C)
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores	4,64	(W/°C)
Perdas associadas à renovação de ar	29,44	(W/°C)
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)	709,39	Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)
Necessidades nominais de aquecimento máximas - Ni	68,48	(kWh/m².ano)
Nec. nominais de aquecimento - Nic	100,07	(kWh/m².ano)
Nic/Ni	146,13%	

Quadro 17: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 3.

Verificamos que também aqui, como nas restantes fracções analisadas, não existe cumprimento regulamentar, mas está esta fracção mais próxima do cumprimento regulamentar que as duas anteriores. Para a fracção autónoma 3 as perdas pela envolvente interior são superiores às perdas pela envolvente exterior. Este facto deve-se, sobretudo, à existência de cobertura interior, com laje de esteira em madeira, que possui baixa resistência térmica.

No quadro 18 resume-se o resultado das necessidades de energia para arrefecimento da fracção autónoma.

Necessidades de arrefecimento		
Perdas térmicas totais	288,04	(W/°C)
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	4,64	(W/°C)
Ganhos totais na estação de arrefecimento	617,70	(kWh)
Ganhos solares pela envolvente opaca	79,75	(kWh)
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	70,40	(kWh)
Ganhos internos totais	467,54	(kWh)
Relação ganhos-perdas	2,14	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	8,82	(kWh/m ² .ano)
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv	32,00	(kWh/m ² .ano)
Nvc/Nv	27,58	%

Quadro 18: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 3.

As necessidades nominais de arrefecimento verificam os requisitos regulamentares. A pequena área de envidraçados constitui uma das principais razões da verificação regulamentar.

A energia necessária para preparação de AQS, pelas razões já apresentadas para as fracções anteriores, não cumpre os requisitos regulamentares.

Feitas todas as verificações regulamentares, apresentam-se em seguida os resultados da determinação de necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma (Quadro 19).

A fracção autónoma 3 não cumpre os requisitos regulamentares. A classificação energética, segundo o Despacho n.º 10250/2008, é Classe C.

Necessidades globais de energia primária			
Ni		68,48	kWh/m ² .ano
Nic		100,07	kWh/m ² .ano
Nv		32,00	kWh/m ² .ano
Nvc		8,82	kWh/m ² .ano
Na		29,62	kWh/m ² .ano
Nac		47,85	kWh/m ² .ano
Factores de conversão		Eficiência nominal equipamentos	
F_{pui} (kgep/kW.h)	0,290	Resistência eléctrica	$\eta_i = 1$
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,290	Máquina frigorífica (arrefecimento)	$\eta_v = 3$
F_{pua} (kgep/kW.h)	0,086		
Necessidades nominais globais de energia primária, Ntc		7,10	(kgep/m ² .ano)
Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, Nt		4,90	(kgep/m ² .ano)
		Ntc/Nt	1,45 Classe C

Quadro 19: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 3.

8.5.4. Situação existente – fracção autónoma 4

A fracção autónoma 4 corresponde a uma habitação no 1º andar de tipologia T2 (3 ocupantes convencionais), com acesso pelas escadas da zona comum no n.º23. Esta fracção possui fachadas exteriores orientadas Nordeste, Sudoeste e Sul. Possui parede em contacto com o edifício adjacente e com o espaço não-útil (zona comum – $\tau=0$) e tem cobertura interior. A área útil de pavimento é de 35,16 m².

Seguidamente, no quadro 20, podemos ver o resumo da análise das necessidades de aquecimento da fracção autónoma.

Necessidades de aquecimento		
Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma	38,63	(W/°C)
Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma	74,13	(W/°C)
Perdas Associadas aos vãos envidraçados exteriores	4,60	(W/°C)
Perdas associadas à renovação de ar	27,33	(W/°C)
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)	642,62	Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)
Necessidades nominais de aquecimento máximas - Ni	68,78	(kWh/m2.ano)
Nec. nominais de aquecimento - Nic	119,01	(kWh/m2.ano)
Nic/Ni	173,04%	

Quadro 20: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 4.

No quadro 20 podemos aferir que as perdas pela envolvente interior possuem um valor mais elevado que as perdas pela envolvente exterior, devendo-se este facto à laje de esteira em madeira com baixa resistência térmica, existindo área de cobertura interior em contacto com o sótão (τ de 0,9) e cobertura interior em contacto com o desvão (τ de 1). Uma vez mais os requisitos das necessidades nominais de aquecimento não verificam o regulamento.

As necessidades nominais de arrefecimento, quadro 21, são uma vez mais verificadas.

Necessidades de arrefecimento		
Perdas térmicas totais	338,41	(W/°C)
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	4,60	(W/°C)
Ganhos totais na estação de arrefecimento	642,12	(kWh)
Ganhos solares pela envolvente opaca	158,74	(kWh)
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	71,58	(kWh)
Ganhos internos totais	411,79	(kWh)
Relação ganhos-perdas	1,90	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	9,59	(kWh/m2.ano)
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv	32,00	(kWh/m2.ano)
Nvc/Nv	29,98	%

Quadro 21: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 4.

No que se refere à verificação das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias, a não verificação e as razões associadas são uma vez mais iguais às anteriormente referidas.

As necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 4 não verificam o regulamento (quadro 22), e ao contrário das restantes fracções a sua classificação energética segundo o Despacho n.º 10250/2008 não é a classe C. A classificação para esta fracção segundo o Despacho n.º 10250/2008 é classe D, visto que o valor de N_{tc}/N_t é maior que 1,50 e menor que 2,00.

Necessidades globais de energia primária			
Ni		68,78	kWh/m ² .ano
Nic		119,01	kWh/m ² .ano
Nv		32,00	kWh/m ² .ano
Nvc		9,59	kWh/m ² .ano
Na		33,63	kWh/m ² .ano
Nac		54,33	kWh/m ² .ano
Factores de conversão		Eficiência nominal equipamentos	
F_{pui} (kgep/kW.h)	0,290	Resistência eléctrica	$\eta_i = 1$
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,290	Máquina frigorífica (arrefecimento)	$\eta_v = 3$
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,086		
Necessidades nominais globais de energia primária, Ntc		8,22	(kgep/m ² .ano)
Valor máximo nec. Nominais globais de energia primária, Nt		5,45	(kgep/m ² .ano)
		Ntc/Nt	1,51 Classe D

Quadro 22: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 4.

8.5.5. Situação existente – fracção autónoma 5

A fracção autónoma 5 é uma habitação de tipologia T2 (3 ocupantes convencionais), o acesso é feito pelas escadas da zona comum do nº121 da Rua da Moeda. A fachada exterior da fracção é virada a Sudoeste. O pavimento desta fracção encontra-se na sua totalidade em contacto com espaço não-útil (armazém), e não existe laje de esteira estando a fracção em contacto com a cobertura do edifício. O pavimento e a cobertura exterior irão assim contribuir muito para as perdas térmicas da fracção. A área útil de pavimento é de 44,25 m².

As necessidades de aquecimento desta fracção autónoma são as apresentadas no quadro 23.

Necessidades de aquecimento		
Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma	235,66	(W/°C)
Perdas pela envolvente interior da fracção autónoma	80,25	(W/°C)
Perdas Associadas aos vãos envidraçados exteriores	8,60	(W/°C)
Perdas associadas à renovação de ar	50,78	(W/°C)
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)	887,28	Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)
Necessidades nominais de aquecimento máximas - Ni	78,24	(kWh/m².ano)
Nec. nominais de aquecimento - Nic	262,88	(kWh/m².ano)
	Nic/Ni	3,36

Quadro 23: Resumo da determinação das necessidades nominais de aquecimento para a fracção autónoma 5.

Podemos então verificar que a existência de cobertura exterior prejudica em muito a eficiência energética da fracção autónoma em estudo fazendo subir consideravelmente o valor das perdas térmicas pela envolvente exterior, comparativamente com as fracções autónomas

anteriormente analisadas. Não são verificados os requisitos regulamentares para as necessidades nominais de aquecimento.

As necessidades de arrefecimento da fracção, quadro 24, cumprem os requisitos regulamentares.

Necessidades de arrefecimento		
Perdas térmicas totais	1647,99	(W/°C)
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	8,60	(W/°C)
Ganhos totais na estação de arrefecimento	2572,76	(kWh)
Ganhos solares pela envolvente opaca	1937,73	(kWh)
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	116,77	(kWh)
Ganhos internos totais	518,26	(kWh)
Relação ganhos-perdas	1,56	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	23,19	(kWh/m2.ano)
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv	32,00	(kWh/m2.ano)
Nvc/Nv	72,46	%

Quadro 24: Resumo da determinação das necessidades nominais de arrefecimento para a fracção autónoma 5.

O aumento dos ganhos totais que se verifica nesta fracção autónoma, sobretudo devido aos ganhos pela envolvente opaca com a existência de cobertura exterior, faz subir consideravelmente as necessidades de energia para arrefecimento, tornando esta fracção na que possui maior relação Nvc/Nv.

Quanto às necessidades de energia para preparação de AQS, nesta fracção a situação é idêntica às anteriores. As necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 5 são as indicadas no quadro 25. As necessidades nominais de aquecimento prejudicam em muito a eficiência energética da fracção autónoma, sobretudo devido à existência da cobertura exterior, que como se referiu anteriormente, faz aumentar de forma significativa as perdas pela envolvente exterior.

Devido às elevadas perdas da fracção autónoma 5 pela envolvente exterior, a classificação energética segundo o Despacho n.º 10250/2008 é classe F. De todas as analisadas, é esta a fracção que apresenta pior eficiência energética.

Necessidades globais de energia primária			
Ni		78,24	kWh/m ² .ano
Nic		262,88	kWh/m ² .ano
Nv		32,00	kWh/m ² .ano
Nvc		23,19	kWh/m ² .ano
Na		26,73	kWh/m ² .ano
Nac		43,17	kWh/m ² .ano
Factores de conversão		Eficiência nominal equipamentos	
F_{pui} (kgep/kW.h)	0,290	Resistência eléctrica	$\eta_i = 1$
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,290	Máquina frigorífica (arrefecimento)	$\eta_v = 3$
F_{puv} (kgep/kW.h)	0,086		
Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc}		11,56	(kgep/m ² .ano)
Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N_t		4,60	(kgep/m ² .ano)
N_{tc}/N_t		2,51	Classe F

Quadro 25: Necessidades globais de energia primária para a fracção autónoma 5.

8.5.6. Resumo da análise da eficiência energética

Concluída a análise de cada uma das fracções autónomas existentes no edifício, verificamos que nenhuma cumpre os requisitos mínimos de eficiência energética previstos no RCCTE. No gráfico seguinte, apresenta-se o resumo da situação actual do edifício.

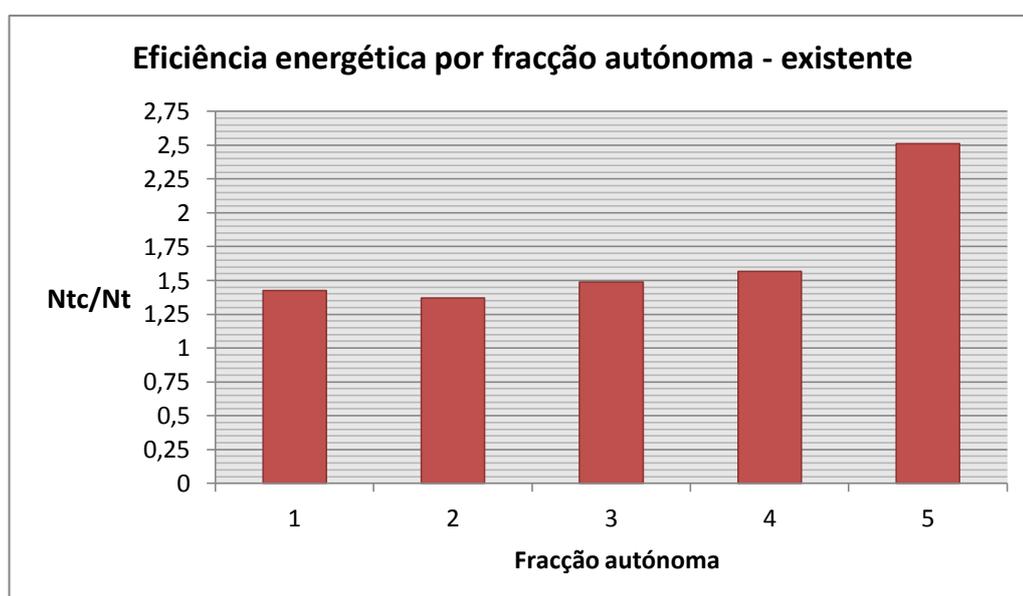


Gráfico 5: Eficiência energética por fracção autónoma - existente

Verificamos, através da análise do gráfico, que as fracções autónomas 1 a 3 possuem valores de N_{tc}/N_t compreendidos entre 1 e 1,5 a que corresponde uma classificação energética C, a fracção autónoma 4 possui um valor compreendido entre 1,5 e 2,0, correspondendo uma classificação

energética D e, por fim, a fracção autónoma 5, situação mais gravosa, possui um valor compreendido entre 2,5 e 3,0, ao qual corresponde a classificação energética F.

Para que os requisitos mínimos do RCCTE sejam cumpridos os valores de N_{tc}/N_t terão que estar abaixo de 1.

8.6. Conjunto de soluções de reabilitação energética

Analisada a eficiência energética de cada uma das fracções autónomas do edifício, e concluindo que nenhuma cumpre os requisitos regulamentares para as necessidades globais de energia primária, propõem-se em seguida medidas de reabilitação energética para melhorar o desempenho do edifício.

Decidiu-se agrupar as medidas de reabilitação energética com o objectivo de perceber de que forma estas influenciam o desempenho energético do edifício. As medidas estão agrupadas de forma que se julga coerente.

8.6.1. Conjunto 1: intervenção em caixilharias e portas

O primeiro conjunto de medidas que se propõe para o edifício em estudo corresponde à reabilitação de caixilharias e portas, com o objectivo de controlar os ganhos solares e de controlar as infiltrações de ar.

As caixilharias e portas existentes no edifício apresentam um elevado estado de degradação, o que influencia as perdas e os ganhos energéticos do edifício. O coeficiente de transmissão térmico médio dia-noite para o conjunto caixilharias e envidraçado considerado foi de $4,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, devido à existência de vidro simples e utilização de cortina interior opaca. No que se refere às portas considerou-se que estas possuem uma vedação insuficiente e o coeficiente de transmissão térmica considerado foi de $2,08 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (correspondente a uma espessura de 0,04m de painel de lamelas de madeira longas orientadas).

Com o objectivo de melhorar a eficiência energética do edifício efectuam-se as seguintes alterações nos vãos envidraçados e portas:

- Colocação de novas caixilharias em madeira com vidro duplo (exemplo de caixilharia a colocar na figura 35);



Figura 35: Exemplo de caixilharia de madeira com vidro duplo (Fonte: Catálogo JDM Caixilharias, Lda. [<http://www.jdm.pt/products>])

- A caixilharia a colocar deverá assegurar a classe 3 de permeabilidade ao ar;
- O vidro a colocar deverá ser de baixa emissividade incolor, com 5mm cada;
- O espaço de ar entre vidros deverá ser de 16 mm;
- Nos casos em que os vãos envidraçados possuam quadrícula a mesma será mantida, para evitar transtornos estéticos;
- Devido à impossibilidade de colocar dispositivo de protecção exterior, o edifício possui classificação E_2 colocaremos portadas interiores em madeira, como exemplificado na figura 36;
- As portas deverão ser substituídas com o objectivo de garantir uma maior estanquidade ao ar, embora se considere que o coeficiente de transmissão térmica se mantenha, pois as portas irão manter as suas características fundamentais;
- Visto que não se considera a colocação de isolamento térmico nas paredes exteriores, as pontes térmicas existentes entre fachada e padieira, peitoril ou ombreira irão manter-se, não existindo a alteração destes valores entre a situação existente e aplicação do conjunto de soluções de reabilitação 1.



Figura 36: Portadas interiores em madeira (Fonte: Catálogo JDM Caixilharias, Lda.)

Através das alterações propostas passamos a ter um coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados de $2,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$, o que representa uma redução em mais de 50% do valor anterior, a classificação da caixilharia em relação à permeabilidade ao ar, passa de “sem classificação” para “classificação 3”, e o factor solar do envidraçado, devido à utilização de portadas interiores de madeira, em situação de Verão é reduzido para 0,49. No que respeita às portas, a sua substituição irá originar uma maior estanquidade ao ar, devendo também ser colocada vedação em todo o contorno destas para reduzir as infiltrações de ar. Este conjunto de soluções de reabilitação não altera a inércia térmica das fracções autónomas.

8.6.2. Conjunto 2: reforço isolamento em paredes exteriores e paredes com espaços não - úteis ou edifícios adjacentes

Na situação existente, todas as paredes do edifício se encontram sem qualquer tipo de isolamento térmico, estando a sua constituição limitada somente aos tijolos cerâmicos maciços e à argamassa de cal. A espessura das paredes garante uma boa inércia térmica das fracções autónomas e atenua o que poderia ser uma situação mais gravosa de eficiência energética.

Para reforço do isolamento das paredes em contacto com o exterior ou com espaços não-úteis, a única solução viável, devido às restrições impostas pelo PUE, é a colocação do isolamento térmico pelo interior, através da realização de uma contra-fachada. Esta solução garante uma diminuição do coeficiente de transmissão térmica destes elementos, mas a inércia térmica das fracções será prejudicada.

As soluções possíveis para o reforço do isolamento térmico das paredes pelo interior a considerar são as contra-fachadas em alvenaria ou placas de gesso cartonado. O facto de colocarmos

o isolamento térmico pelo interior da parede, e podermos, desta forma, comprometer a inércia térmica, torna a solução da contra-fachada em alvenaria a menos desfavorável nesta óptica, embora esta também irá retirar maior área útil às fracções autónomas que a solução de placas de gesso cartonado. A principal desvantagem da utilização da contra-fachada em placas de gesso cartonado, além da perda de inércia térmica, é o facto de os tectos em muitos dos casos serem abobadados ou em arco, o que dificulta a colocação da estrutura de suporte das placas de gesso. Tendo em atenção os factores condicionantes de ambas as soluções, opta-se neste trabalho por a realização de contra-fachada em alvenaria, mas ficando a nota de que a contra-fachada em placas de gesso cartonado seria igualmente de possível execução.

Assim, nas paredes em contacto com o exterior ou com espaços não-úteis nas diferentes fracções autónomas será realizado o reforço térmico da seguinte forma (Paiva et. al., 2006):

- Colagem contra o paramento interior da parede de placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) com 40 mm de espessura;
- Execução de um pano interior de alvenaria com tijolo furado 30x20x7, separado das placas de isolante térmico em 30 mm;
- Na caixa-de-ar criada entre a alvenaria e o isolante, na base, será realizada uma caleira para recolher águas, com pendente mínima de 2%, e drenagem para o exterior;
- No paramento interior do pano de alvenaria será executado um revestimento tradicional de ligantes hidráulicos, e uma pintura com tinta de água.

Tal como foi referido nos pormenores construtivos para o cálculo da eficiência energética do edifício na sua situação existente, também aqui as diferentes espessuras de parede irão influenciar o cálculo do coeficiente de transmissão térmica. Com as alterações propostas podemos então contar com os seguintes elementos para a determinação do coeficiente de transmissão térmica das paredes:

- Resistências térmicas superficiais com sentido de fluxo de calor horizontal, interior (R_{si}) de $0,13 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ e exterior (R_{se}) de $0,04 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Camada de reboco exterior, com espessura de 0,04m considerando uma condutibilidade térmica de $0,80 \text{ W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ correspondente a argamassas e rebocos de cal e areia com massa volúmica aparente seca (ρ) de $1600 \text{ kg}/\text{m}^3$;
- Considerando 0,04m de espessura para o total de reboco, a restante largura da parede deverá ser considerada como de tijolo cerâmico maciço. A resistência

térmica da alvenaria com 0,10m de espessura de tijolo maciço é de 0,13 m².°C/W, podendo ser estabelecida uma relação directa para a determinação da resistência térmica de alvenarias de tijolo maciço com diferentes espessuras a partir destes valores;

- Isolamento térmico com XPS com 40mm de espessura e condutibilidade térmica de 0,037 W/m.°C;
- Espaço de ar não ventilado com 30mm de espessura e resistência térmica de 0,18 m².°C/W;
- Alvenaria de tijolo furado com espessura de 70mm e resistência térmica de 0,19 m².°C/W;
- Camada de reboco interior com espessura de 20mm de argamassa bastarda com condutibilidade térmica 0,80 W/m.°C.

Na aplicação desta solução de reabilitação térmica deve ser dada especial atenção às singularidades, especialmente aos encontros com os vãos, peitoris, ombreiras e padieiras, devendo estes ter em consideração o aumento da espessura da parede (Paiva et. al., 2006).

8.6.3. Conjunto 3: isolamento pavimentos

No edifício em estudo existem duas soluções construtivas distintas para os pavimentos (q.v. 8.2.2.), pelo que será necessário avaliar as soluções de reabilitação que melhor se enquadram com as características existentes. Temos no edifício os pavimentos térreos, os pavimentos intermédios em abobadilha e os pavimentos intermédios em soalho de madeira, que são considerados como cobertura interior.

Para efeitos da eficiência energética não se consideram os pavimentos que dividem fracções autónomas, visto os requisitos térmicos serem iguais entre estas, consideram-se somente os pavimentos que contactam com o exterior ou com espaços não-úteis. No edifício em estudo teremos então que considerar nas fracções autónomas 1 e 2 o pavimento em contacto com o solo, na fracção autónoma 3 uma área de pavimento sobre o armazém, e na fracção autónoma 5 todo o pavimento se encontra sobre o armazém.

Das soluções possíveis para o reforço do isolamento térmico, considera-se, devido aos valores elevados do pé-direito, que a solução mais viável será o reforço térmico superior, não sendo então necessária a demolição dos pavimentos existentes, evitando assim alterações nas abobadilhas. Esta solução é de possível aplicação quer para os pavimentos térreos quer para os pavimentos

intermédios sobre espaços não-úteis, pelo que irão ser aplicadas as seguintes medidas de reabilitação energética (Paiva, 2003):

- Colocação de régua de madeira com secção quadrangular de 50x50mm espaçadas de 150mm e fixadas ao pavimento existente, com condutibilidade térmica de 0,23 W/m.⁰C;
- Isolamento térmico com XPS com 50mm de espessura, entre as régua de madeira com condutibilidade térmica de 0,037 W/m.⁰C;
- Revestimento cerâmico de pavimento, cujo suporte devem ser as régua de madeira, com a espessura de 10mm e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/m.⁰C.

8.6.4. Conjunto 4: isolamento cobertura

No que respeita ao isolamento da cobertura, temos no edifício duas situações distintas, cobertura interior e cobertura exterior.

A fracção autónoma 5 possui cobertura exterior, que se considerou como leve, admitindo um coeficiente de transmissão térmica de 3,8 W/m².⁰C (q.v. 8.2.3.). Nesta situação, a solução construtiva que se considera de mais elevada eficiência, consiste na colocação de placas de isolamento térmico descontínuo nas vertentes, fixadas contra as varas da cobertura. O isolamento térmico a colocar é XPS com 60 mm e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/m.⁰C. Através desta medida de reabilitação térmica, segundo o quadro II.18 do ITE 50 (2006), o coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior leve da fracção autónoma 5 passa a ser de 0,63W/m².⁰C. Para esta solução de reabilitação deverá também ser colocada uma membrana de material plástico microperfurada como camada protectora do isolamento térmico, para impedimento da passagem de água no estado líquido que provoque a sua degradação.

Nas coberturas interiores, existentes nas fracções autónomas 3 e 4, a solução de reabilitação será a colocação de isolamento térmico na esteira horizontal. Quanto ao posicionamento do isolamento relativamente à esteira, é possível na situação existente ser superior ou inferior, ambas as soluções apresentam viabilidade, mas julga-se que a colocação em posição superior à esteira horizontal seja vantajosa, pois protege a estrutura contra as variações térmicas de origem climática, evitando também o aparecimento de condensações internas (Paiva et. al, 2006). A colocação em posição superior implica, contudo, alterações nos pavimentos dos sótãos e não irá existir continuidade do isolamento entre sótão e desvão não acessível.

A laje de esteira passará então a possuir a seguinte pormenorização:

- Forro inferior em madeira com espessura de 0,02m em painéis aglomerados de madeira com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,14 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$;
- Estrutura de suporte do pavimento em madeira densa com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,23 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$;
- Isolamento térmico com XPS com 60mm, com condutibilidade térmica $0,037 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, colocado entre a estrutura de suporte do pavimento no caso do sótão;
- Pavimento superior de madeira leve com um coeficiente de condutibilidade térmica de $0,15 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$;
- Nas zonas de cobertura interior em contacto com o desvão não acessível, considera-se a colocação do XPS directamente sobre a estrutura de madeira, de forma contínua, não existindo, nesta situação, intervalos, pois não existe estrutura de suporte do pavimento.

O reforço térmico irá permitir a diminuição dos coeficientes de transmissão térmica. Teremos então na fracção autónoma 3: zona de pavimento em contacto com o sótão com um coeficiente de transmissão térmica (U) de $0,64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Na mesma fracção a cobertura interior em contacto com o desvão não acessível, onde se considera que não existe pavimento superior de madeira, o que resulta num U de $0,44 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Na fracção autónoma 4, a cobertura interior em contacto com o sótão passa a ter U de $1,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Na mesma fracção a cobertura interior em contacto com o desvão não acessível, após a aplicação das medidas de reabilitação passa a um U de $0,45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Na fracção autónoma 5, existe uma área de cobertura interior em abobadilha em contacto com os desvãos não acessíveis, onde se considera a colocação de 60mm de XPS, passando o coeficiente de transmissão térmica a ser de $0,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

O isolamento colocado na esteira em contacto com o desvão não acessível possui uma melhor eficácia. Nos sótãos a eficácia é inferior pela descontinuidade gerada pelos elementos de suporte do pavimento.

8.6.5. Conjunto 5: sistemas solares activos

A contribuição, das tecnologias solares activas, é contabilizada na eficiência energética dos edifícios, segundo o RCCTE, através do parâmetro E_{REN} e E_{SOLAR} . Na situação existente do edifício não existem quaisquer tipos de sistemas para transformação de energia solar em energia para consumo no edifício. O parâmetro E_{REN} que contabiliza a contribuição de formas de energias renováveis, que não a solar, será considerado no nosso caso de estudo como nulo, pois não se julga que haja viabilidade na implementação de sistemas fotovoltaicos, eólicos, geotérmicos, etc., quando a colocação de painéis solares já se encontra bastante condicionada pelo PUE.

A contribuição de sistemas solares activos para a eficiência energética do edifício estará direccionada somente para os sistemas solares de preparação de AQS (E_{SOLAR}). A cobertura do edifício é inclinada de duas águas, com orientação a Nordeste e Sudoeste. Ambas as vertentes da cobertura estão viradas para a via publica, o que poderá constituir um problema. Analisando a largura das ruas, ambas com aproximadamente 3m, e comparando com a altura do edifício, 9,05m, concluímos que, o ângulo de visibilidade existente não permitirá verificar a existência de painéis solares.

Iremos então colocar painéis solares na cobertura, com orientação a Sudoeste, em área que se julgue suficiente para contribuir para aumento de eficiência energética das fracções autónomas existentes, devendo cumprir-se a relação de 1 m² de painel solar por cada ocupante convencional do edifício.

Quanto à escolha dos painéis solares, existem hoje no mercado muitas soluções possíveis. Através de uma pesquisa, e dada a necessidade de os painéis serem fixados à cobertura sem estrutura metálica de suporte, optou-se por colocar painéis solares do tipo Baxiroca, modelo SIT PS 2.4, figura 37.



Figura 37: Painéis solares marca Baxiroca, modelo PS 2.4 STI
(Fonte: Manual de Instalação, Baxiroca 2010)

Estes painéis possuem um sistema de fixação integrado no telhado, sem que seja necessário a colocação de estruturas metálicas de suporte, e os depósitos de armazenamento não têm que ser colocados na cobertura, podendo a sua localização ser no interior do desvão acessível, evitando assim possíveis transtornos estéticos. Na figura 38 é mostrado, como exemplo, o sistema de fixação dos painéis a adoptar para o nosso caso de estudo.

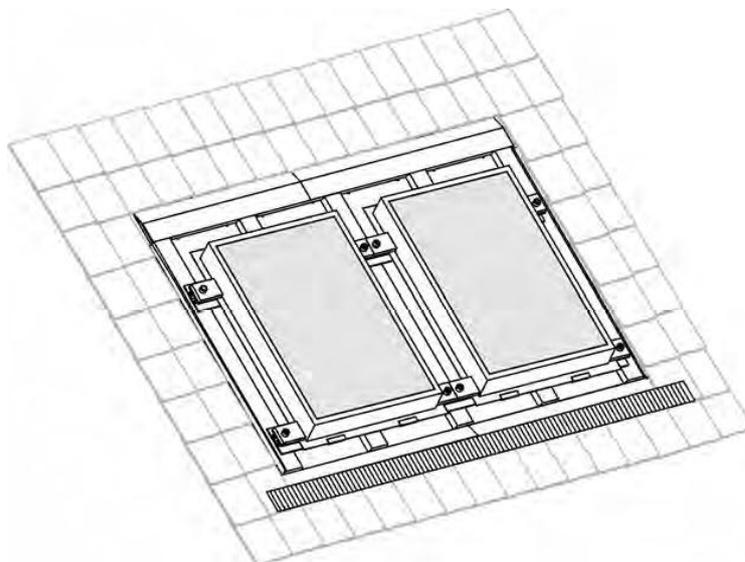


Figura 38: Sistema de fixação dos painéis solares para o caso de estudo
(Fonte: Baxiroca, Manual de Instalação, 2010)

Com o software SOLTERM, e considerando a inclinação dos painéis solares igual à da cobertura, 18° , orientação Sudoeste, azimute 45° , existindo cinco fracções autónomas, quatro com tipologia T2, e uma com tipologia T1, total de 14 ocupantes convencionais, obteve-se um valor de E_{SOLAR} de 8166kWh para o edifício em estudo, através da utilização de painéis solares Baxiroca PS 2.4 STI com 6 colectores (área de $14,2m^2$ e potência 9,9kW nominal). Seleccionaram-se para a análise feita no SOLTERM a utilização de cinco depósitos independentes, com capacidade unitária de 150 l.

Tendo um valor de energia produzida para preparação de águas quentes sanitárias para o edifício global, importa agora entender qual o valor de energia disponibilizado para cada uma das fracções. Considerando a existência de 14 ocupantes no edifício (quatro fracções com tipologia T2 e uma com tipologia T1), obtemos o valor de 583,29 kWh/ocupante. Teremos então que:

- E_{SOLAR} para fracção com tipologia T1 (dois ocupantes) é de 1166,58 kWh;
- E_{SOLAR} para fracções com tipologia T2 (três ocupantes) é de 1749,87 kWh.

Note-se que não existe alteração dos sistemas auxiliares para preparação de AQS, mantendo-se a opção considerada de esquentador a gás.

8.6.6. Conjunto 6: ventilação natural

O sistema de ventilação natural pensado para o edifício em estudo, tem por objectivo garantir as renovações de ar mínimas necessárias à boa qualidade do ar interior. A qualidade do ar interior poderá ser posta em causa através do aumento da estanqueidade ao ar no edifício, devido à substituição de caixilharias e correcta vedação das portas existentes. Assim, com o objectivo de

controlar e garantir, a quantidade de ar interior suficiente no edifício, deverão ser colocadas nas caixilharias dos vãos envidraçados aberturas (q.v. 7.1.4.1.) que permitam a admissão de ar de forma controlada. A passagem de ar entre compartimentos deverá ser assegurada pelo aumento das folgas existentes na face inferior das portas de compartimentação interiores. Não serão então efectuadas quaisquer alterações às folhas de cálculo utilizadas para determinação da eficiência energética do edifício em função do sistema de ventilação natural.

Dada a existência de muitos compartimentos interiores na generalidade do edifício, será difícil garantir a admissão de ar controlada nos espaços desejados, bem como a sua evacuação do interior. Nas fracções autónomas 1 a 4, e dada a existência de chaminés, poderá ser instalado um sistema de extracção de ar que utilize as aberturas existentes para retirar o ar saturado do interior da habitação (podendo com a ventilação mecânica o número de renovações horárias de ar passar para $0,6 \text{ h}^{-1}$). Na fracção autónoma 5, não existindo chaminé, a extracção do ar deverá ocorrer de forma natural pela cobertura, uma vez que não existe laje de esteira. Nas instalações sanitárias existentes no edifício, deverão ser instalados sistemas de extracção, ou em caso de tal não ser possível, devem ser colocadas aberturas nos vãos envidraçados, para tentar que o ar que entre pela porta de compartimentação e efectue o varrimento do espaço e evite possíveis condensações.

Estas medidas para garantia de ventilação do interior das fracções autónomas poderão também ser utilizadas durante a estação de arrefecimento, no período nocturno, com o objectivo de diminuir a temperatura interior das habitações.

8.7. Análise da eficiência energética (RCCTE) - medidas de reabilitação

Efectuada a análise da eficiência energética do edifício na situação existente do edifício e previstas as medidas de reabilitação energética que se consideram adequadas, importa agora analisar de que forma cada um dos conjuntos anteriormente definidos influenciam a eficiência energética de cada fracção autónoma. Seguidamente, e à semelhança do que foi feito anteriormente, verificar-se-á por fracção autónoma quais as melhorias induzidas por cada conjunto de medidas de reabilitação. As percentagens das diminuições das quantidades de energia necessária, apresentadas nos quadros resumo, foram determinadas com base no quociente entre a diferença dos parâmetros de cálculo, N_{ic} , N_{iv} , N_{ac} e N_{tc} (valor determinado na situação existente menos o valor determinado após alterações), e o parâmetro de cálculo na situação existente.

8.7.1. Aplicação do conjunto de soluções 1

O primeiro conjunto de medidas prevê a intervenção em caixilharias e portas com o objectivo de diminuir o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados e de controlar as infiltrações de ar. Estas medidas não alteram a inércia térmica das fracções, limitando-se em termos de cálculo a reduzir o coeficiente de transmissão térmica das caixilharias, e em diminuir as perdas térmicas devidas à renovação do ar. Recorde-se que como não existe colocação do isolamento térmico nas paredes exterior não serão eliminadas as pontes térmicas lineares da fachada com padieira, ombreira e peitoril. Efectuadas as alterações², iremos analisar os diferentes parâmetros do RCCTE, para percebermos de que forma, as medidas de reabilitação preconizadas influenciam a eficiência energética de cada uma das fracções autónomas.

No quadro 26, apresentam-se as necessidades nominais de energia útil para aquecimento alteradas como conjunto de medidas de reabilitação 1. Comparando o valor primitivo de Nic/Ni como o obtido através das alterações, foi possível determinar a percentagem de energia poupada com a reabilitação das caixilharias e controlo das infiltrações de ar.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para aquecimento				Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Existente	Soluções de reabilitação			
	Nic/Ni (%)	Nic	Ni	Nic/Ni (%)	
1	176,93	98,80	59,41	165,17	6,00
2	149,80	81,40	59,41	134,25	8,53
3	146,13	93,91	68,48	136,02	6,16
4	173,04	112,36	68,78	162,47	6,04
5	335,98	253,02	78,24	321,70	3,74

Quadro 26: Necessidades nominais de energia para aquecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 1.

Analisando o quadro 26, verificamos que a intervenção em caixilharias e portas, permite diminuições da quantidade de energia necessária para aquecimento entre os 3,74 % e os 8,53 %. Note-se que as áreas envidraçadas existentes no edifício estão compreendidas entre 0,48 m²/f.a. na fracção autónoma 1, e 2 m²/f.a. na fracção autónoma 5, sendo a fracção autónoma 2 a que possui maior área envidraçada (0,98 m²) orientada a Nordeste.

No quadro 27, apresenta-se a evolução das necessidades nominais de energia para arrefecimento, através da comparação com a situação existente.

² As folhas de cálculo relativas às alterações previstas pelas medidas de reabilitação encontram-se em anexo ao trabalho.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para arrefecimento					
	Existente		Soluções de reabilitação			Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Nvc/Nv (%)	Nvc	Nv	Nvc/Nv (%)		
1	23,03	8,25	32,00	25,79	-11,94	
2	29,11	10,37	32,00	32,42	-11,27	
3	27,58	9,60	32,00	29,99	-8,84	
4	29,98	10,36	32,00	32,37	-8,03	
5	72,46	24,39	32,00	76,21	-5,18	

Quadro 27: Necessidades nominais de energia para arrefecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 1.

Verifica-se que através da diminuição dos coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados e do aumento da estanquidade ao ar da envolvente do edifício, as necessidades de energia para arrefecimento aumentam (valores negativos para a diminuição da quantidade de energia necessária apresentados no quadro 27). Este facto generalizado deve-se sobretudo à variação da relação ganhos-perdas e ao aumento de estanquidade ao ar da envolvente do edifício. As percentagens de aumento de energia necessária para arrefecimento não comprometem a verificação desta condição regulamentar: em todas as fracções autónomas Nv é maior que Nvc.

As necessidades de energia para preparação de AQS não sofrem quaisquer alterações em consequência deste conjunto de medidas de reabilitação.

As alterações previstas por este grupo de medidas de reabilitação irão melhorar o desempenho energético de cada uma das fracções autónomas do edifício. No quadro 28 podemos visualizar o incremento provocado na eficiência energética do edifício.

Fracção autónoma	Necessidades globais de energia						Melhoria da eficiência energética (%)
	Existente		Soluções de reabilitação				
	Ntc/Nt	Classe	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe	
1	1,43	C	7,98	5,72	1,39	C	2,21
2	1,35	C	7,40	5,62	1,32	C	2,76
3	1,45	C	6,93	4,90	1,41	C	2,39
4	1,51	D	8,03	5,45	1,47	C	2,31
5	2,51	F	11,29	4,60	2,45	E	2,42

Quadro 28: Evolução das necessidades globais de energia primária, referente ao conjunto de soluções de reabilitação 1.

As melhorias na eficiência energética originadas pelas medidas de reabilitação previstas situam-se entre os 2,21% e os 2,76%. A maior melhoria é a da fracção autónoma 2, e as fracções autónomas 4 e 5 melhoram a sua classificação.

Podemos verificar então que a melhoria da eficiência energética originada por este conjunto de soluções está relacionada, como seria expectável, com a área de vãos envidraçados. Assim, os incrementos à eficiência energética do edifício dependerão muito da área envidraçada existente, o que na tipificação dos edifícios no Centro Histórico da cidade de Évora, se considera reduzida, pelo que na generalidade dos edifícios a reabilitar nesta localização poderá esperar-se um aumento de eficiência energética semelhante ao aqui obtido.

8.7.2. Aplicação do conjunto de soluções 2

O reforço da resistência térmica das paredes tem por objectivo a diminuição dos coeficientes de transmissão térmica das paredes em contacto com o exterior, com espaços não-úteis e com edifícios adjacentes. A introdução de isolamento térmico irá alterar também os coeficientes Ψ das pontes térmicas lineares, nomeadamente as fachadas com pavimentos intermédios, e encontro de duas paredes verticais. As pontes térmicas lineares da fachada com pavimentos térreos não sofrem alterações visto que não se coloca isolamento térmico simultaneamente nas paredes e pavimentos. As pontes térmicas existentes na fachada em contacto com pavimentos intermédios passam a ter Ψ igual a $0,35 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ e as existentes nos encontros entre paredes verticais mantêm-se em $0,25 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ por o isolamento térmico ser colocado pelo interior.

No que respeita à inércia térmica das fracções, este conjunto de medidas de reabilitação introduz alterações que necessitam de ser contabilizadas. No entanto, todas as fracções autónomas mantêm a sua classificação anterior.

Como em todas as fracções autónomas não existia qualquer isolamento térmico, representando as perdas térmicas de paredes em contacto com o exterior e espaços não-úteis uma parte significativa das perdas totais, espera-se um aumento importante da eficiência energética do edifício.

No quadro 29 podem visualizar-se as necessidades nominais de energia para aquecimento existentes, e o valor conseguido através do reforço térmico das paredes.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para aquecimento				Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Existente	Soluções de reabilitação			
	Nic/Ni (%)	Nic	Ni	Nic/Ni (%)	
1	176,93	58,62	59,41	98,68	44,22
2	149,80	58,85	59,41	99,07	33,87
3	146,13	79,87	68,48	116,64	20,19
4	173,04	85,55	68,78	124,39	28,12
5	335,98	195,10	78,24	249,36	25,78

Quadro 29: Necessidades de energia para aquecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 2.

Verificamos então, com a análise deste quadro, que a diminuição da energia necessária para aquecimento possui valores mais expressivos que os conseguidos anteriormente com as medidas de reabilitação correspondentes ao conjunto 1. A diminuição de energia necessária está compreendida entre os 20,19% e os 44,22%. A fracção autónoma 3 é aquela que apresenta uma redução menor, justificando-se tal facto pela menor área de paredes reforçadas termicamente, e por esta possuir pavimento sobre espaço não-útil e cobertura interior, o que no geral determina uma menor influência desta solução. Na fracção autónoma 1 a diminuição é a mais acentuada devido à elevada área da envolvente exterior que esta possui, onde qualquer melhoria no isolamento térmico provoca um aumento de eficiência significativo. Nas fracções autónomas 1 e 2, a aplicação do isolamento térmico nas paredes consegue a verificação regulamentar no que diz respeito às necessidades para aquecimento, passando o valor de Nic a ser menor que Ni.

No que respeita às necessidades de energia para preparação de AQS estas medidas de reabilitação em nada irão influenciar.

As necessidades nominais de energia para arrefecimento, quadro 30, serão também afectadas pelo reforço do isolamento térmico das paredes.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para arrefecimento				Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Existente	Soluções de reabilitação			
	Nvc/Nv (%)	Nvc	Nv	Nvc/Nv (%)	
1	23,03	7,37	32,00	23,03	0,01
2	29,11	8,81	32,00	27,53	5,47
3	27,58	8,74	32,00	27,33	0,91
4	29,98	8,98	32,00	28,06	6,36
5	72,46	20,27	32,00	63,36	12,59

Quadro 30: Necessidades nominais de energia para arrefecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 2.

Ao contrário do que aconteceu com a aplicação das medidas de reabilitação 1, aqui as necessidades de energia para arrefecimento diminuem, pois os ganhos de calor pela envolvente do edifício diminuem, garantindo assim melhor conforto no interior do edifício mesmo na estação de arrefecimento.

O desempenho energético do edifício, com as alterações implementadas, irá obrigatoriamente alterar-se. No quadro 31 apresenta-se a evolução do desempenho energético do edifício respeitante ao reforço térmico das paredes exteriores e em contacto com espaços não-úteis e edifícios adjacentes.

Fracção autónoma	Necessidades globais de energia primária						Melhoria da eficiência energética (%)
	Existente		Soluções de reabilitação				
	Ntc/Nt	Classe	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe	
1	1,43	C	6,81	5,72	1,19	C	16,54
2	1,35	C	6,73	5,62	1,20	C	11,56
3	1,45	C	6,51	4,90	1,33	C	8,17
4	1,51	D	7,24	5,45	1,33	C	11,92
5	2,51	F	9,57	4,60	2,08	E	17,21

Quadro 31: Evolução das necessidades globais de energia primária, referente ao conjunto de soluções de reabilitação 2.

Os valores de melhoria de desempenho energético conseguido com estas medidas de reabilitação são significativos, entre 8,17% e 17,21%, levando mesmo a que as fracções autónomas 4 e 5 subam a sua classificação. O reforço de isolamento térmico das paredes exteriores, em contacto com espaços não-úteis e edifícios adjacentes poderá considerar-se, na óptica do aumento do conforto térmico, uma medida a aplicar aos edifícios presentes no Centro Histórico, pois tendo em conta que os edifícios antigos dificilmente possuem isolante térmico, esta solução de reabilitação poderá significar um aumento considerável nas condições de habitabilidade destes, melhorando as condições de conforto térmico e reduzindo o risco de ocorrência de condensações.

8.7.3. Aplicação do conjunto de soluções 3

As soluções de reabilitação previstas no terceiro conjunto visam diminuir os coeficientes de transmissão térmica dos pavimentos em contacto com o terreno e espaços não-úteis, visto não existirem pavimentos em contacto com o exterior no edifício. A colocação de isolamento térmico não será aplicado aos pavimentos que separam fracções autónomas, pois, segundo as condições regulamentares de referência, não existem diferenças de temperatura entre estas, razão pela qual não se aplicará alterações à fracção autónoma 4. Nas fracções autónomas 1 e 2 o reforço térmico do pavimento visa somente a diminuição do coeficiente Ψ para as pontes térmicas lineares existentes entre o pavimento e o terreno, passando este a ser de $1,80 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ao invés de $2,50 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$.

Assim, no que se refere às necessidades de energia para aquecimento, a colocação de isolamento térmico nos pavimentos permite alcançar os valores apresentados no quadro 32.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para aquecimento				Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Existente	Soluções de reabilitação			
	Nic/Ni (%)	Nic	Ni	Nic/Ni (%)	
1	176,93	100,79	59,41	169,65	4,12
2	149,80	86,56	59,41	145,69	2,73
3	146,13	98,13	68,48	143,30	1,94
5	335,98	255,66	78,24	326,76	2,74

Quadro 32: Necessidades de energia para aquecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 3.

Existe então uma diminuição geral das necessidades nominais de energia para aquecimento, sendo que a diminuição do coeficiente das pontes térmicas lineares (Ψ) do pavimento em contacto com o solo, provoca a maior diminuição da quantidade de energia necessária para aquecimento (fracção autónoma 1 com 4,12%). Na fracção autónoma 3 a diminuição da quantidade de energia necessária para aquecimento é menor que nas restantes fracções porque possui apenas uma pequena área de pavimento em contacto com o armazém.

Não existindo pavimentos em contacto com o espaço exterior, não será expectável que existam alterações nas necessidades nominais de energia para arrefecimento, sendo as perdas térmicas e os ganhos mantidos. No quadro 33 apresentam-se os resultados obtidos.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para arrefecimento				Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Existente	Soluções de reabilitação			
	Nvc/Nv (%)	Nvc	Nv	Nvc/Nv (%)	
1	23,03	7,37	32,00	23,03	0,00
2	29,11	9,93	32,00	31,02	-6,50
3	27,58	8,82	32,00	27,58	0,00
5	72,46	26,16	32,00	81,76	-12,81

Quadro 33: Necessidades Nominais de energia para arrefecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 3.

Nas fracções autónomas 1 e 3 não existem alterações nas necessidades de energia para arrefecimento. O mesmo já não se verifica para as fracções autónomas 2 e 5, onde existe um aumento das necessidades de energia para arrefecimento. O aumento das necessidades nestas fracções deve-se às alterações na inércia térmica que a medida de reabilitação implica. Nas fracções em causa a inércia térmica baixa de forte para média.

Dadas as medidas aplicadas, as necessidades globais de energia primária irão sofrer alterações. No quadro 34 apresenta-se a evolução das necessidades.

Fracção autónoma	Necessidades globais de energia primária						Melhoria da eficiência energética (%)
	Existente		Soluções de reabilitação				
	Ntc/Nt	Classe	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe	
1	1,43	C	8,03	5,72	1,40	C	1,59
2	1,35	C	7,54	5,62	1,34	C	0,92
3	1,45	C	7,05	4,90	1,44	C	0,70
5	2,51	F	11,38	4,60	2,47	E	1,56

Quadro 34: Evolução das necessidades globais de energia primária, referente ao conjunto de soluções de reabilitação 3.

Existe melhoria da eficiência energética em todas as fracções autónomas, embora que ligeira, entre 0,70% e 1,59%. Esta medida de reabilitação provoca aumentos na eficiência energética do edifício, embora a sua rentabilidade de aplicação nos edifícios do Centro Histórico, no que a eficiência energética diz respeito, possa ser posta em causa, uma vez que os aumentos poderão considerar-se muito diminutos quando relacionados com a intervenção a realizar.

8.7.4. Aplicação do conjunto de soluções 4

O conjunto de medidas 4 será aplicado somente nas fracções autónomas 3, 4 e 5, por serem estas as que possuem cobertura. Na fracção autónoma 3 e 4 possuímos cobertura interior, na fracção autónoma 5, a cobertura existente é exterior.

As alterações induzidas por esta medida de reabilitação na energia necessária para aquecimento são a apresentadas no quadro 35.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para aquecimento					Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Existente	Soluções de reabilitação				
	Nic/Ni (%)	Nic	Ni	Nic/Ni (%)		
3	146,13	68,96	68,48	100,72	31,09	
4	173,04	91,61	68,78	133,21	22,76	
5	335,98	169,68	78,24	216,86	35,45	

Quadro 35: Necessidades de energia para aquecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 4.

Como era expectável, a fracção autónoma 5, é a que apresenta a maior diminuição da necessidade de energia para aquecimento, pois existindo nesta fracção autónoma cobertura exterior (que apresenta uma baixa resistência térmica), a diminuição considerável do coeficiente de transmissão térmica irá reduzir em 118,91 W/°C as perdas de calor pela envolvente exterior.

Não existindo alteração da inércia térmica nas fracções 3 e 4, pela colocação do isolamento térmico na face superior, não existirá variação das necessidades de energia para arrefecimento. Na fracção autónoma 5 a variação da inércia térmica é muito reduzida, mantendo-se a classe forte, mas as necessidades de energia para arrefecimento irão variar, tal como se pode comprovar no quadro 36.

Fracção autónoma	Necessidades arrefecimento				
	Existente	Soluções de reabilitação			Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Nvc/Nv (%)	Nvc	Nv	Nvc/Nv (%)	
3	27,58	8,82	32,00	27,58	0,00
4	29,98	9,59	32,00	29,98	0,00
5	72,46	12,78	32,00	39,94	44,89

Quadro 36: Necessidades Nominais de energia para arrefecimento, situação existente e aplicação de soluções de reabilitação conjunto 4.

A diminuição dos ganhos solares pela envolvente opaca na fracção autónoma 5, devido ao reforço do isolamento térmico da cobertura, permite diminuir em 44,89% as necessidades de arrefecimento existentes nesta fracção, isto porque diminui os ganhos térmicos totais na estação de arrefecimento, em 1117,73 kWh.

Quanto às necessidades globais de energia primária as fracções autónomas visadas por esta solução de reabilitação irão sofrer alterações, quadro 37.

Fracção autónoma	Necessidades globais de Energia						Melhoria da eficiência energética (%)
	Existente		Soluções de reabilitação				
	Ntc/Nt	Classe	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe	
3	1,45	C	6,20	4,90	1,26	C	12,67
4	1,51	D	7,42	5,45	1,36	C	9,70
5	2,51	F	8,76	4,60	1,90	D	24,22

Quadro 37: Evolução das necessidades globais de energia primária, referente ao conjunto de soluções de reabilitação 4.

As melhorias da eficiência energética destas medidas situam-se entre os 9,70% e os 24,22%, permitindo que as fracções autónomas 4 e 5 subam na sua classificação, de D para C, e de F para D, respectivamente.

Apresentando distintas coberturas, exterior e interior, e com constituição semelhante ao que se encontra na maioria dos edifícios do Centro Histórico, podemos verificar que a adopção desta medida de reabilitação poderá contribuir de forma acentuada para a melhoria da eficiência energética dos edifícios.

8.7.5. Aplicação do conjunto de soluções 5

A aplicação dos painéis solares implica unicamente a alteração do coeficiente E_{SOLAR} nas folhas de cálculo, apresentando-se aqui somente os quadros resumo relativos ao cálculo das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias e das necessidades globais de energia do edifício.

A contribuição dos painéis solares para a preparação das AQS é a que se apresenta no quadro 38.

Fracção autónoma	Tipologia	Sem alterações		Com painéis solares	
		N_{ac} (kWh/m ² .ano)	N_a (kWh/m ² .ano)	N_{ac} (kWh/m ² .ano)	N_a (kWh/m ² .ano)
1	T2	58,58	36,26	4,92	36,26
2	T1	57,42	35,55	22,35	35,55
3	T2	47,85	29,62	4,02	29,62
4	T2	54,33	33,63	4,56	33,63
5	T2	43,17	26,73	3,63	26,73

Quadro 38: Resultados obtidos de necessidades de energia para preparação de AQS com colocação de painéis solares.

Os valores de N_{ac} , com a colocação dos painéis solares diminuem, passando a ser para todas as fracções autónomas, inferiores a N_a . As necessidades de energia para a preparação de AQS são então verificadas de acordo com o RCCTE. Comparando os valores de N_{ac} , entre as duas situações, verificamos que os painéis solares, provocam diminuição nas necessidades de energia para preparação de AQS de aproximadamente 90% em algumas das fracções.

A diminuição das necessidades de energia para AQS provoca o aumento da eficiência energética do edifício, tornando-se então importante analisar qual a classificação energética resultante, para cada fracção autónoma, em consequência das alterações propostas nas soluções de reabilitação. A classificação energética após a implementação dos painéis solares passa a ser a apresentada no quadro 39.

Fracção autónoma	Sem alterações		Com painéis solares				Melhoria da eficiência energética (%)
	Ntc/Nt	Classificação	Ntc (Kgep/m ² .ano)	Nt (Kgep/m ² .ano)	Ntc/Nt	Classificação	
1	1,43	C	3,54	5,72	0,62	B	56,62
2	1,35	C	4,59	5,62	0,82	B-	39,68
3	1,45	C	3,33	4,90	0,68	B	53,10
4	1,51	D	3,94	5,45	0,72	B	52,07
5	2,51	F	8,16	4,60	1,77	D	29,41

Quadro 39: Necessidades globais de energia primária do edifício, após colocação de sistemas solares activos.

Todas as fracções autónomas, à excepção da 5, passam a cumprir o RCCTE só através desta alteração, ou seja, para que se consiga a verificação dos mínimos regulamentares, em termos de necessidades globais de energia primária, basta colocar painéis solares no edifício, não sendo necessária qualquer alteração adicional. A fracção autónoma 5, embora apresente um aumento da sua eficiência energética, ainda não verifica os mínimos regulamentares, no que às necessidades globais de energia primária diz respeito, isto porque a existência de pavimento em contacto com um espaço não-útil e a cobertura exterior prejudicam o seu desempenho energético.

Importa salvaguardar que, embora sejam verificados os mínimos regulamentares em termos de necessidades globais de energia (isto para as fracções autónomas 1 a 4), a colocação dos painéis solares não irá assegurar o conforto térmico em cada uma das fracções.

8.8. Comparação da eficiência energética das soluções de reabilitação

Aplicadas as medidas de reabilitação energética previstas ao edifício em estudo, e verificados os resultados de cada conjunto de soluções, importa agora efectuar uma comparação, com objectivo de perceber quais as medidas que mais condicionam a eficiência energética do edifício.

Através dos resultados obtidos em cada uma das fracções autónomas, com aplicação das diferentes medidas, realizou-se um conjunto de gráficos, que pretendem evidenciar, as medidas que intervêm de forma mais substancial na melhoria do conforto térmico das diferentes fracções autónomas. Note-se que as fracções autónomas apresentam diferentes caracterizações (q.v. 8.5.), o que pode justificar variações de eficiência energética diversas para uma mesma medida, embora os resultados obtidos possam constituir uma boa aproximação de quais as medidas mais eficazes para melhorar a eficiência energética de um edifício.

A primeira comparação efectuada com os resultados obtidos está relacionada com as necessidades nominais de energia para aquecimento. No gráfico 6, apresentam-se os resultados obtidos para as diferentes fracções autónomas em consequência das intervenções já descritas.

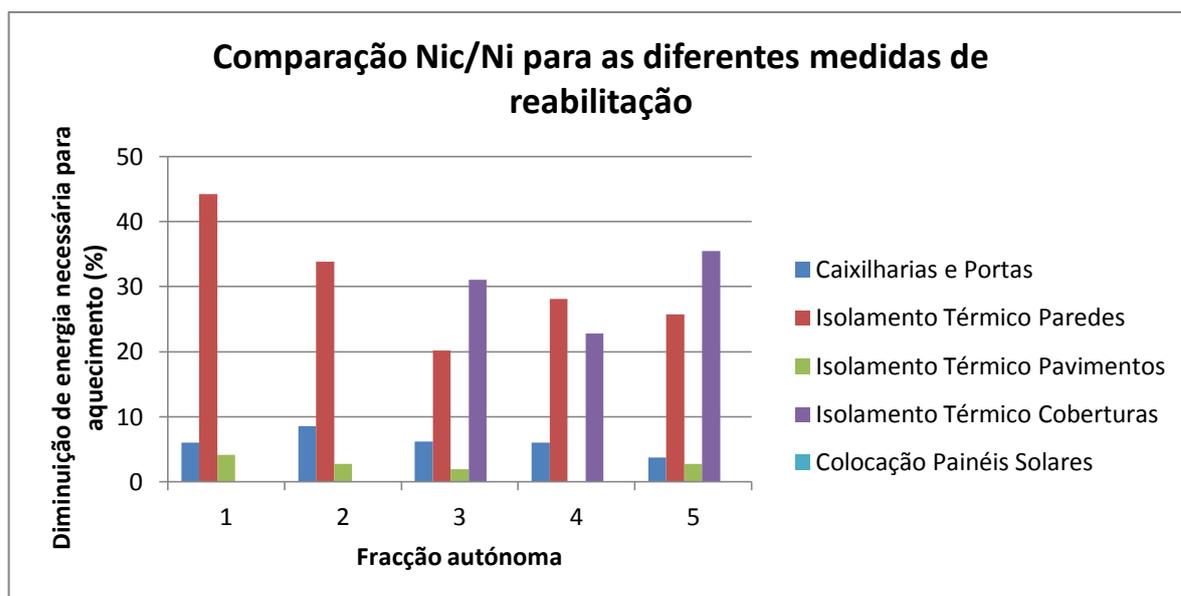


Gráfico 6: Análise comparativa das diferentes medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para aquecimento.

Analisando a comparação feita no gráfico verificamos que a solução que mais diminui a quantidade de energia necessária para aquecimento, é a colocação de isolamento térmico nas paredes exteriores, paredes em contacto com edifício adjacente e paredes em contacto com espaços não-úteis, da fracção autónoma 1. A segunda solução mais eficaz é a colocação de isolamento térmico na cobertura da fracção autónoma 5. Este facto deve-se à existência, nesta fracção, de cobertura exterior, o que condiciona muito as perdas pela envolvente exterior. Não existe cobertura exterior em mais nenhuma outra fracção. Nas fracções autónomas 3 e 4, onde existe cobertura interior, a diminuição da energia necessária para aquecimento devido ao reforço da cobertura apresenta também percentagens comparativas consideráveis. Não existindo cobertura nas fracções autónomas 1 e 2 (rés-do-chão) não se verifica qualquer alteração na relação Nic/Ni em consequência da intervenção ao nível da cobertura.

A solução de reabilitação que provoca, comparativamente às outras, maior impacto positivo, é o reforço térmico das paredes exteriores, ou em contacto com edifícios adjacentes ou em espaços não-úteis. Nas fracções autónomas 1, 2 e 4 é a solução que provoca maior redução das necessidades, e nas restantes fracções possui uma significância igualmente importante.

A colocação de isolamento térmico nos pavimentos em contacto com espaços não-úteis e a substituição das caixilharias e portas correspondem às medidas que estimulam uma menor diminuição das necessidades de energia.

A colocação de painéis solares não altera em nada as necessidades nominais de energia para aquecimento.

Dos resultados obtidos podemos concluir que as intervenções de reabilitação que intervêm de forma mais considerável para a melhoria das necessidades nominais de energia para aquecimento são a reabilitação térmica de paredes e cobertura. A maior ou menor influência destas medidas dependerá sempre da constituição de cada fracção autónoma.

As necessidades nominais de energia para arrefecimento, não constituíram na análise efectuada um factor crítico. Desde a análise térmica da situação existente, estas sempre verificaram os requisitos regulamentares previstos no RCCTE. Em muito devido à elevada inércia térmica, (considerada forte para todas as fracções à excepção da fracção 3 e 4, com inércia média) não tendo sido necessário a aplicação de medidas que especificamente melhorassem o desempenho de cada fracção autónoma, no que a esta área diz respeito.

No gráfico 7 é então efectuada a análise comparativa entre as diferentes medidas de reabilitação, e a forma como fazem evoluir as necessidades nominais de energia para arrefecimento de cada uma das fracções autónomas em estudo. Como não foram previstas medidas com objectivo específico de aumentar as necessidades nominais de energia para arrefecimento, mas sim com objectivo geral, de melhorar a eficiência energética do edifício, algumas das medidas previstas repercutiram-se negativamente nas necessidades de energia para arrefecimento.

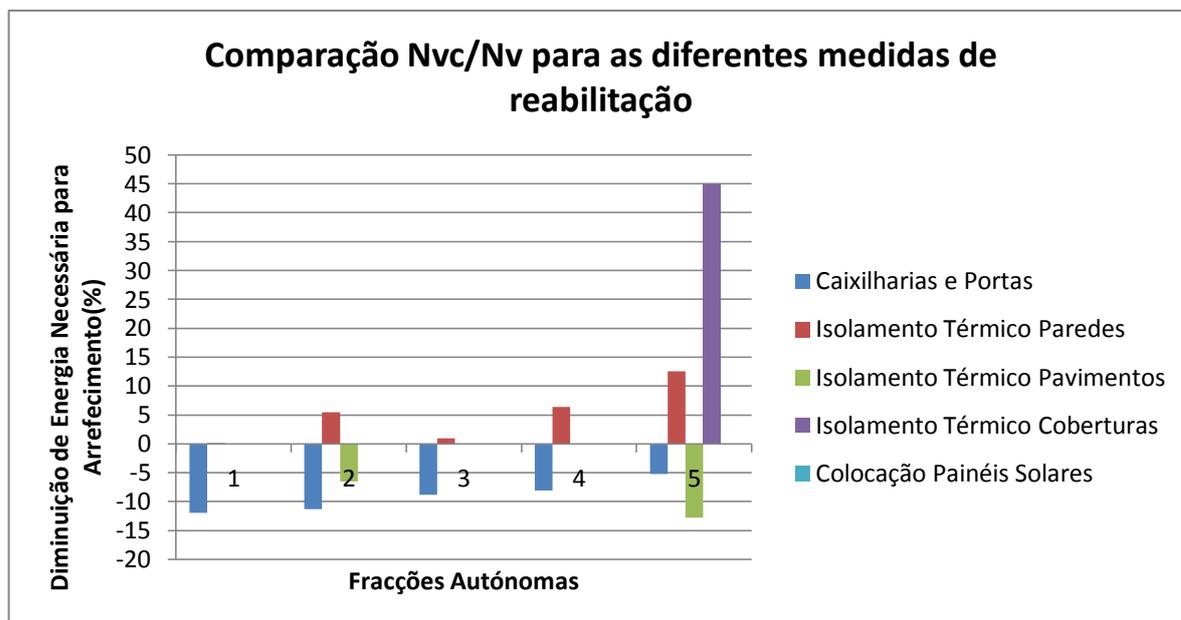


Gráfico 7: Análise comparativa das diferentes medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para arrefecimento.

Do conjunto de medidas podemos então distinguir dois tipos, as que provocam a diminuição das necessidades de energia para arrefecimento, e as que provocam o efeito inverso, aumento destas necessidades.

As medidas que intervêm positivamente na melhoria da eficiência de energia, no que diz respeito exclusivamente às necessidades de energia para arrefecimento, são o reforço do isolamento térmico de paredes exteriores, em contacto com espaço não-útil ou com edifícios adjacentes, e o reforço térmico das coberturas. Da análise do gráfico 7 concluímos também que, para provocar a diminuição destas necessidades, a medida de reabilitação deve intervir na envolvente exterior com o objectivo de diminuir a relação ganhos-perdas da fracção autónoma.

A diminuição destas necessidades, na fracção autónoma 5, devido ao reforço térmico da cobertura, deve-se à existência da cobertura exterior, que possui elevadas perdas, mas também contribui de forma significativa para os ganhos pela envolvente opaca. Ao colocarmos o isolamento na cobertura a relação ganhos-perdas baixa significativamente, correspondendo a tal facto a diminuição de energia necessária para arrefecimento. Nas restantes fracções autónomas o isolamento térmico das coberturas em quase nada altera as necessidades de energia para arrefecimento, uma vez que as restantes coberturas existentes são interiores.

O reforço térmico das paredes também contribui em todas as fracções autónomas para a melhoria do desempenho energético, no que diz respeito às necessidades de energia para

arrefecimento, dependendo a percentagem de melhoria da área de parede em contacto com o exterior.

A substituição de caixilharias e portas contribui negativamente para este parâmetro, uma vez que por aumentar a estanquidade ao ar da fracção autónoma, irá obrigatoriamente fazer aumentar as necessidades de despende energia com o funcionamento de equipamentos para arrefecimento. Com o mesmo efeito, existe o reforço térmico dos pavimentos, que por fazer diminuir a inércia térmica das fracções autónomas 2 e 5, provoca um aumento nas necessidades de energia para arrefecimento.

A colocação dos painéis solares não provoca qualquer alteração neste sector da análise de eficiência energética.

Do conjunto de medidas aplicado, as que mais contribuíram para a melhoria deste parâmetro foram o reforço térmico de paredes exteriores e da cobertura, salvando que a possibilidade de existência de pavimentos exteriores, poderá tornar a medida de reabilitação térmica de pavimentos eficiente no que a necessidades de energia para arrefecimento diz respeito.

No que se refere às necessidades nominais de energia para preparação de águas quentes sanitárias, a única medida de todo o conjunto, que provoca variação, é a colocação dos painéis solares, tal como se pode comprovar no gráfico 8.

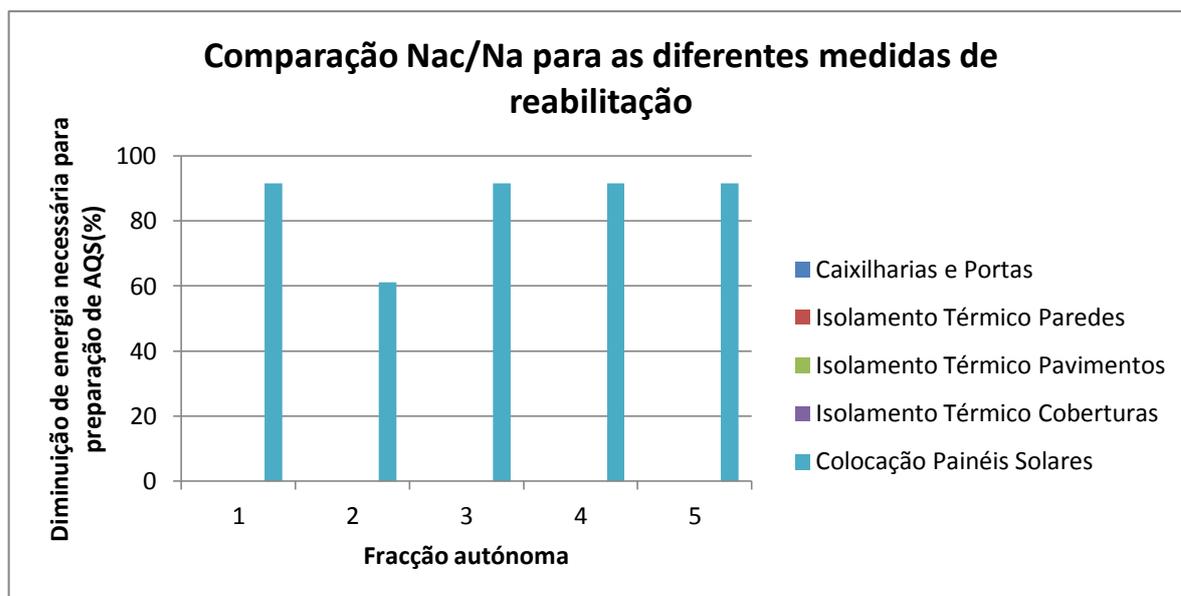


Gráfico 8: Análise comparativa das diferentes medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para preparação de AQS.

O desempenho é constante para todas as fracções autónomas, com excepção para a fracção 2, que por possuir tipologia T1 (note-se que todas as outras são T2), possui uma diminuição das necessidades nominais de energia para preparação de AQS, comparativamente com as restantes, mais baixa. A melhoria deste parâmetro depende unicamente dos factores relacionados com o rendimento do sistema auxiliar de preparação de AQS e com a contribuição do factor E_{SOLAR} , que depende da existência de painéis solares, razão pela qual nenhuma das outras medidas provoca aqui qualquer alteração.

Analisados os parâmetros relacionados com as necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS, resta analisar, de que forma evoluem as necessidades globais de energia primária para o edifício em estudo. No gráfico 9 é apresentada a análise comparativa referente aos resultados finais obtidos para as medidas de reabilitação, em cada fracção autónoma.

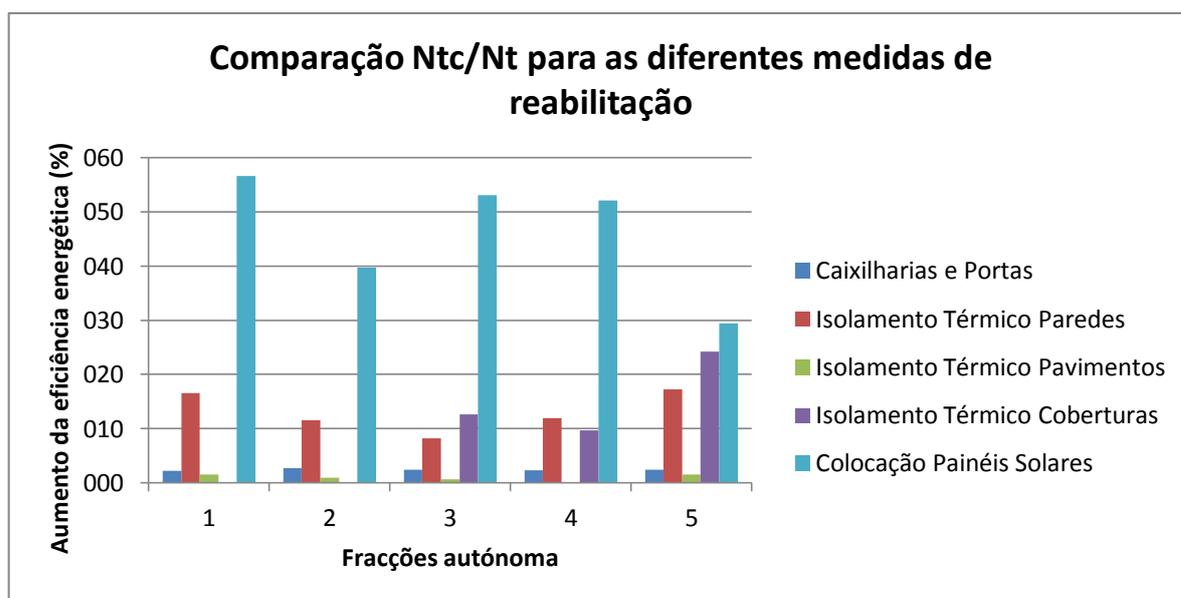


Gráfico 9: Análise comparativa das diferentes medidas de reabilitação, necessidades globais de energia primária.

Da análise deste gráfico, verificamos que, de todas as medidas previstas, aquela que provoca um maior aumento da eficiência energética em todas as fracções autónomas é a colocação dos painéis solares. Embora, e tal como se verificou nos gráficos 6 e 7, esta medida em nada contribua para o aumento do conforto térmico do edifício, uma vez que não tem qualquer influência relativamente às condições ambientais no interior do edifício.

A medida que se poderá classificar como a segunda mais influente, nos gastos energéticos finais, é o reforço do isolamento térmico das coberturas. Dependendo da caracterização do tipo de cobertura existente - exterior ou interior - esta solução colabora na melhoria da eficiência energética,

contribuindo também de forma importante para a evolução das necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento.

A reabilitação térmica das paredes exteriores, das paredes em contacto com espaços não-úteis e com o edifício adjacente, corresponde à medida que apresenta resultados mais constantes em todos os parâmetros em análise. Contribui de forma significativa, quer para as necessidades nominais de energia para arrefecimento e aquecimento, quer no resultado final das necessidades globais de energia primária.

A reabilitação das caixilharias e portas, apresenta como principal vantagem o controlo de infiltrações de ar, não provocando, pelo menos para o caso de estudo, um aumento substancial da eficiência energética do edifício. A contribuição desta solução poderá resultar mais no conforto habitacional do edifício do que no aumento da eficiência energética, tendo em atenção a escassa área de vãos envidraçados nos edifícios presentes no Centro Histórico da cidade de Évora.

As medidas de intervenção em pavimentos, foram de todas as estabelecidas, aquelas que apresentaram menor significância nos resultados obtidos. No edifício em estudo não existem pavimentos exteriores, o que poderá condicionar a eficiência desta medida, contudo deverá analisar-se a especificidade do edifício a reabilitar, pois esta medida poderá induzir incrementos consideráveis de eficiência energética, dependendo da situação em estudo.

8.9. Objectivo: eficiência energética classe A+

Analisado o desempenho que cada uma das medidas de reabilitação energética tem na eficiência global do edifício, far-se-á neste capítulo uma aplicação conjunta de todas as medidas previstas. Iremos então ver se todos os requisitos do RCCTE são cumpridos, e qual a classificação segundo o despacho n.º 10250/2008.

Em primeiro, as necessidades nominais de energia para aquecimento. A aplicação conjunta de medidas permite obter os resultados que se encontram expostos no quadro 40.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para aquecimento				
	Existente	Soluções de reabilitação			Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Nic/Ni (%)	Nic	Ni	Nic/Ni (%)	
1	176,93	45,19	59,41	76,07	57,01
2	149,80	41,32	59,41	69,55	53,56
3	146,13	42,21	68,48	61,63	58,81
4	173,04	49,66	69,78	71,16	58,27
5	335,98	77,21	78,24	98,69	70,63

Quadro 40: Aplicação conjunta de medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para aquecimento.

A diminuição das necessidades nominais de energia para aquecimento por fracção autónoma, situa-se entre os 53,56% e os 70,63%, verificando-se sempre a condição Nic menor que Ni. Tendo em atenção, que cada fracção autónoma é diferente, e que a sua constituição influencia o desempenho energético das diferentes soluções, o valor médio da diminuição das necessidades nominais de energia para aquecimento é de 59,66%. A melhoria mais acentuada é a que se verifica na fracção autónoma 5, onde a aplicação das soluções descritas para a reabilitação térmica não permitia verificar a condição, $Nic \leq Ni$, pelo que se optou pelo aumento da espessura de isolamento térmico de 60mm para 80mm na cobertura exterior, passando o coeficiente de transmissão térmica desta para $0,51 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, permitindo a verificação regulamentar indicada no quadro 40.

No que respeita às necessidades nominais de energia para arrefecimento, a aplicação conjunta das soluções de reabilitação, traduz-se nos resultados apresentados no quadro 41.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para arrefecimento				
	Existente	Soluções de reabilitação			Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Nvc/Nv (%)	Nvc	Nv	Nvc/Nv (%)	
1	23,03	8,31	32,00	25,98	-12,75
2	29,11	12,81	32,00	40,03	-6,55
3	27,58	9,57	32,00	29,91	-8,50
4	29,98	9,83	32,00	30,71	-2,50
5	72,46	10,77	32,00	33,65	53,56

Quadro 41: Aplicação conjunta de medidas de reabilitação, necessidades nominais de energia para arrefecimento.

A aplicação das medidas de reabilitação provoca em quatro das fracções autónomas, aumentos das necessidades de energia para arrefecimento, sobretudo devido à diminuição da inércia térmica e ao aumento da estanquidade ao ar. Embora se verifique este aumento, em todas as fracções é verificado o requisito regulamentar, $Nvc \leq Nv$. Os valores de aumento da necessidade de energia para arrefecimento situam-se entre os 2,50% e os 12,75%. Para a fracção autónoma 5 existe uma diminuição das necessidades, pois dada a respectiva área da envolvente exterior, a alteração

dos coeficientes de transmissão térmica, permite uma alteração da relação ganhos-perdas que permite diminuir a quantidade energia necessária.

Os requisitos regulamentares relativos às necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias, que inicialmente não eram verificados em nenhuma das fracções, com a colocação de painéis solares passarão a ser verificados, tal como se verificou anteriormente (q.v. 8.7.5.). Visto que nenhuma das soluções de reabilitação, à excepção da colocação de painéis solares, permite a melhoria das necessidades nominais de energia para preparação de AQS, os resultados apresentados no quadro 42, serão iguais aos já apresentados anteriormente aquando da análise individual das medidas de reabilitação.

Fracção autónoma	Necessidades nominais de energia para preparação de AQS				
	Existente		Soluções de reabilitação		Diminuição da quantidade de energia necessária (%)
	Nac/Na (%)	Nac	Na	Nac/Na (%)	
1	161,54	4,92	36,26	13,57	91,60
2	161,54	22,35	35,55	62,88	61,02
3	161,54	4,02	29,62	13,57	91,60
4	161,54	4,56	33,63	13,57	91,60
5	161,54	3,63	26,73	13,57	91,60

Quadro 42: Aplicação conjunta de medidas de reabilitação, necessidades de energia para preparação de AQS.

Em todas as fracções autónomas temos a verificação do requisito regulamentar relativo às necessidades nominais de energia para preparação de AQS, dependendo a diminuição da diferença de quocientes Nac/Na, do número de ocupantes em cada uma das fracções.

Estando as necessidades nominais de energia para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS verificadas, resta ver, do ponto de vista regulamentar, como evoluem as necessidades globais de energia primária para cada uma das fracções, e qual a sua classificação. Os resultados são os apresentados no quadro 43.

Fracção autónoma	Necessidades globais de energia primária						Melhoria da eficiência energética (%)
	Existente		Soluções de reabilitação				
	Ntc/Nt	Classe	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe	
1	1,43	C	1,81	5,72	0,32	A	77,82
2	1,35	C	3,22	5,62	0,57	B	57,69
3	1,45	C	1,63	4,90	0,33	A	77,04
4	1,51	D	1,93	5,45	0,35	A	76,52
5	2,51	F	2,57	4,60	0,56	B	77,78

Quadro 43: Aplicação conjunta das medidas de reabilitação energética, necessidades globais de energia primária.

Temos então aumentos na eficiência energética de 57,69% a 77,82% nas fracções autónomas. Calculando, através das diferentes fracções autónomas, um valor médio, podemos admitir que a melhoria da eficiência energética do edifício é de 73,37%. Embora o aumento seja elevado, verificamos nos resultados apresentados no quadro 43, que o objectivo de atingir a classificação energética A+ não foi conseguido.

Após a análise de diferentes hipóteses de reforço das medidas de reabilitação energética, da qual não se julga necessário a apresentação de cálculos, concluiu-se que para atingirmos a classe A+ a forma mais credível consistia num aumento da eficiência de conversão do sistema auxiliar de preparação de AQS, η_a . Assim voltou a efectuar-se os cálculos, considerando a colocação de isolamento térmico com 10mm de espessura nas redes de distribuição de águas quentes internas, em todas as fracções autónomas, η_a igual a 0,50, e a colocação de termoacumuladores a gás, η_a igual a 0,70, nas fracções autónomas 2 e 5 (este sistema não foi previsto para as restantes fracções autónomas porque iria conduzir a valores negativos de Ntc, o que significaria que iria existir desperdício de energia nessas fracções).

Os resultados obtidos para as necessidades nominais de energia para preparação de AQS, passam então a ser as apresentadas no quadro 44.

Fracção autónoma	Necessidades de energia para preparação de AQS				Diminuição da quantidade de energia (%)
	Existente	Soluções de Reabilitação			
	Nac/Na (%)	Nac	Na	Nac/Na (%)	
1	161,54	-6,80	36,26	-18,74	111,60
2	161,54	-2,25	35,55	-6,34	103,91
3	161,54	-5,55	29,62	-18,74	111,59
4	161,54	-6,30	33,63	-18,74	111,60
5	161,54	-14,88	26,73	-55,66	134,47

Quadro 44: Alterações provocadas nas necessidades de energia para preparação de AQS, melhoria da eficiência de conversão do sistema de preparação.

Os resultados apresentados no quadro 44, com a alteração do parâmetro η_a , e a aplicação das restantes medidas de reabilitação previstas e analisadas, permite os resultados apresentados no quadro 45.

Fracção autónoma	Necessidades globais de energia primária						Melhoria da eficiência energética (%)
	Existente		Soluções de reabilitação				
	Ntc/Nt	Classe	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe	
1	1,43	C	0,81	5,72	0,14	A+	90,07
2	1,35	C	1,13	5,62	0,20	A+	85,15
3	1,45	C	0,81	4,90	0,17	A+	88,59
4	1,51	D	0,99	5,44	0,18	A+	87,95
5	2,51	F	1,06	4,60	0,23	A+	90,83

Quadro 45: Necessidades globais de energia primária, objectivo classe A+.

Atingimos assim o objectivo deste trabalho, a classificação energética A+, segundo o despacho n.º10249/2008, em todas as fracções autónomas do nosso edifício em estudo.

O nosso edifício passa então a possuir a classificação energética A+, estando as melhorias de eficiência energética localizadas entre os 85,15% e os 90,83% nas fracções autónomas, e podendo considerar-se, valor médio de melhoria da eficiência energética para o edifício de 88,52%.

9. Considerações Finais

A adesão ao Protocolo de Quioto ditou uma alteração das políticas ambientais a nível global. A consciência do efeito nocivo que a Humanidade estava a ter sobre o meio ambiente reflectiu-se em diplomas legais, com o objectivo de reverter a situação, diminuindo as emissões de gases com efeito de estufa, e tentando gerir as necessidades energéticas dos países. A noção de que as reservas de combustíveis fósseis são finitas, e de que estes combustíveis são agressivos para o ambiente ditou uma alteração de comportamentos. Surgiu assim um interesse estratégico nas energias renováveis, com objectivo de contrariar a tendência de aumento das emissões de gases com efeito de estufa e controlar a dependência de energia do exterior.

Em Portugal, a política seguida nas últimas décadas foi de incentivo à construção nova e à aquisição de casa própria, o que acabou por originar um aumento da construção nova acima das necessidades efectivas das famílias residentes (Freitas, 2011). Na análise estatística do sector da construção, que foi efectuada neste trabalho, verificamos que em Portugal somente 22,1% das obras realizadas representam intervenções de reabilitação, e que deste valor somente 30% diz respeito a intervenções de reabilitação em edifícios de habitação, enquanto a média europeia de intervenções de reabilitação é de 44,8%, dos quais 50,8% dizem respeito a reabilitação de edifícios de habitação. Neste sector Portugal encontra-se entre os países da União Europeia que menos reabilita os seus edifícios de habitação. Também com base na análise dos dados estatísticos realizada neste trabalho, foi possível averiguar, a importância que o sector da construção, e sobretudo da habitação, têm no desempenho energético de Portugal.

No que respeita à dependência energética, em 2009, a União Europeia, a 27 países, possuía um valor de 54,7%, prevendo-se que a dependência de Portugal seja de 84,4%, e apenas 4 países se encontram com uma dependência energética superior à de Portugal (Eurostat, 2010).

Constituindo o sector da habitação, um dos grandes consumidores de energia no nosso país, estando em terceiro lugar no ranking nacional dos dispêndios de energia (Fonte: INE, Estatísticas Anuais, 2008), e existindo em Portugal uma percentagem de edifícios construídos antes de 1990, ano da publicação do Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro, superior a 80%, é notório que o aumento da eficiência energética no sector da habitação, tem que, necessariamente passar pela reabilitação energética do parque habitacional existente.

Com o reconhecimento da necessidade existente de reabilitar o parque habitacional português, expôs-se um caso de estudo, escolhendo a localização de Évora, mais especificamente o seu Centro Histórico, sobretudo pelos condicionalismos apresentados à reabilitação da construção:

- Manutenção das características das fachadas, o que impede a aplicação de soluções de isolamento térmico de paredes pelo exterior, ou a alteração das dimensões e orientação dos vãos envidraçados para controlo de ganhos solares;
- A impossibilidade de colocação de dispositivos de sombreamento exterior nos vãos envidraçados, o que provoca o aumento dos ganhos de calor pela envolvente exterior do edifício;
- A implantação de painéis solares na cobertura só é permitida quando estes não sejam visíveis da via pública (não sendo possível a colocação destes equipamentos em estruturas metálicas, o que permitiria obter a orientação e inclinação ideais);
- As limitações impostas às alterações exteriores ao edifício, que impedem o recurso a técnicas solares passivas, como por exemplo paredes de trombe, coluna de água, etc.;
- Impossibilidade de colocar isolamento térmico, em posição inferior, nos pavimentos em contacto com o exterior, posição em que este é mais eficaz (homogeneização da camada isolantes);

Mesmo com todas as condicionantes existentes para as intervenções de reabilitação no Centro Histórico de Évora foi comprovado que é possível atingir a classificação energética A+.

Para localizações, em que, com o objectivo de preservar o património edificado, existam regulamentos que condicionam as intervenções possíveis nos edifícios, as soluções de reabilitação apresentadas, serão possivelmente aquelas que melhor se enquadrarão. Do conjunto de soluções apresentadas, e possíveis de execução, nota-se que a opção de colocação de isolamento térmico nos elementos, pelo interior, constitui a única opção, visto que qualquer medida que intervenha na estética exterior do edifício é de evitar. Para aplicação e análise da teoria desenvolvida neste trabalho, e utilizando o RCCTE para a determinação da eficiência energética, estudou-se um edifício do Centro Histórico de Évora, aplicando a teoria à realidade dos edifícios aqui localizados. Foi quantificada a eficiência energética da situação existente, com intuito de perceber, de que forma, cada uma das soluções possíveis de intervir no edifício faz evoluir a eficiência energética do mesmo.

Do estudo feito acerca das soluções de reabilitação térmica, e da forma como estas influenciam o desempenho térmico dos edifícios, importa retirar as seguintes conclusões:

- A colocação de isolamento térmico nas paredes exteriores, em contacto com edifícios adjacente ou com espaços não-úteis, poderá ser, uma das soluções de reabilitação térmica mais equilibrada, isto é, consegue um aumento de

desempenho considerável em todos os parâmetros de análise do RCCTE. No geral, poderá esperar-se uma redução das necessidades globais de energia primária, situado entre os 8,17% e os 17,21%, para edifícios de tipologia semelhante ao do caso de estudo;

- Existe por vezes a ideia de que a troca de caixilharias e envidraçados aumenta em muito a eficiência energética dos edifícios, neste caso de estudo tal não se verificou, deixando-se em aberto esta questão. O aumento de eficiência energética para edifícios existentes, com área de envidraçados, e arquitectura semelhante ao do caso de estudo, poderá situar-se aproximadamente entre 2,21% e 2,76%. A análise aqui referida prende-se exclusivamente a valores obtidos pelos métodos de cálculo do RCCTE, não se colocando a questão do aumento de conforto térmico que esta medida poderá trazer.
- A colocação de isolamento térmico nos pavimentos é das medidas propostas, aquela que menor melhoria de desempenho energético provoca no edifício em estudo. Poderá esta razão dever-se à não existência de pavimentos exteriores, mas o facto é que, não apresenta, uma melhoria considerável. O aumento de eficiência energética desta medida situa-se, sensivelmente, entre 0,70% e os 1,59% no caso objecto de estudo;
- A colocação de isolamento nas coberturas, dependendo do tipo de cobertura, interior ou exterior, apresenta resultados distintos. No caso da existência de uma laje de esteira, a colocação de isolante térmico trouxe benefícios ao desempenho energético das fracções autónomas de 9,70% e 12,67%. Com a cobertura existente na fracção autónoma em contacto directo com o exterior, a colocação de isolamento térmico nesta proporcionou um incremento no desempenho energético de 24,22%;
- De todas as tecnologias apresentadas, aquela que mais influencia o resultado final do desempenho energético do edifício, é o melhoramento dos sistemas de preparação de AQS. A colocação de sistemas colectores solares, permite diminuir as necessidades globais de energia primária do edifício entre os 29,41% e os 56,62%. Como se constatou, para atingir a classificação A+ no edifício, após a aplicação conjunta de todas as soluções de reabilitação energética em estudo, foi necessário intervir na eficiência dos sistemas auxiliares de preparação de AQS.
- As condições e especificidades, existentes nos edifícios, tornam difícil estabelecer uma comparação exacta entre as diferentes soluções de reabilitação térmica. A

maior ou menor eficácia de uma determinada solução depende muito das características do edifício (área de envidraçados, pavimentos exteriores, cobertura interior ou exterior, etc.).

Dos resultados que cada uma das medidas de reabilitação teve no desempenho energético do edifício, é possível verificar a importância dada pelo RCCTE à colocação de equipamentos solares. Sem estes pode afirmar-se impossível a obtenção de uma classificação energética A+ para esta tipologia de edifícios existentes. A colocação destes, sem nenhuma outra intervenção de reabilitação energética, permite, na generalidade, a verificação das necessidades globais de energia primária. Critica-se assim a desadequação do RCCTE, no que respeita à importância dada aos sistemas solares activos, pois quando outros regulamentos, neste caso específico o PUE, colocam restrições à colocação deste tipo de equipamentos, o RCCTE condena em demasia a sua não colocação, tornando difícil conseguir um edifício energeticamente eficiente sem estes.

As restrições às intervenções de reabilitação energética no exterior do edifício, por razões de ordem patrimonial, condicionam de forma considerável a gama de soluções de reabilitação energética, e uma análise de outras variáveis que seriam igualmente interessantes, como são exemplo os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante (ETICS) para paredes exteriores, no entanto, e tal como ficou provado no caso de estudo apresentado, não impossibilitam a obtenção da classe de eficiência energética A+ para edifícios de valor patrimonial acrescentado.

10. Bibliografia

- ANES, António A. Almeida - **A influência da Massa e da Exposição Solar no Comportamento Térmico dos Edifícios**. In Conferência Científica e Tecnológica em Engenharia: O Saber do Passado e o Desafio do Futuro. Lisboa: ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2002.
- ANSELMO, Isabel; NASCIMENTO, Carlos; MALDONADO, Eduardo - **Reabilitação Energética da envolvente dos edifícios residenciais**. Lisboa: DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia, IP-3E, 2004. p. 5-40. ISBN 972-8268-33-5.
- APPLETON, João – **Reabilitação de Edifícios Antigos: Patologias e tecnologias de intervenção**. Lisboa: Edições Orion, 2003. p. 214-225. ISBN 978-972-86200-35-09
- CÓIAS, Vítor; FERNANDES, Susana - **Reabilitação Energética de Edifícios**. *Revista Pedra & Cal*. Lisboa: GECORPA. Nº34 (Maio/Junho 2007), p. 7-10.
- CRUZ, Nuno Serafim; TORRES, M. Isabel M.; SILVA, J.A. Raimundo Mendes - **Reabilitação Urbana do Centro Histórico da “Baixinha” de Coimbra**. In PATORREB 2009, 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios. Porto, 2009.
- DECRETO-LEI nº 78/2006. **D.R. I Série – A. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios**. 67 (06-04-04) 2411-2415.
- DECRETO-LEI nº 80/2006. **D.R. I Série – A. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**. 67 (06-04-04) 2468-2513.
- DESPACHO nº 10250/2008. **D.R. II Série. Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior**. 69 (08-04-08) 15550-15556.
- DESPACHO nº 11020/2009. **D.R. II Série. Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes no âmbito do RCCTE**. 84 (09-04-30) 17410-17416.
- DGEG - **Balanço Energético Anual** [Em linha]. Lisboa: Direcção Geral de Energia e Geologia, 2006 e 2007. [Consult. 10 Agost. 2010] Disponível em WWW:<URL: <http://www.dgge.pt/>>.
- DIRECTIVA 2002/358/CE. **J.O.C.E. L 1** (02-12-16) 65-71.
- DIRECTIVA 2002/91/CE. **J.O.C.E. L 130** (02-05-15) 01-03.

- DIRECTIVA 2006/32/CE. **J.O.C.E.** L 114 (06-04-05) 64-85.
- DIRECTIVA 2010/31/UE. **J.O.C.E.** L 153 (10-05-19) 13-34.
- FREITAS, Maria João; PEDRO, João Branco - **Regeneração Urbana e Qualidade Residencial**. In 3º ENCORE – Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003. p. 1059-1067. (Actas – Volume 2).ISBN 972-49-1960-9.
- FREITAS, Vasco Peixoto de [et. al] – **Edifícios Existentes: Medidas de Melhoria de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior**. Algés: ADENE, Agência para a Energia, 2011. p.17-38. ISBN 978-972-8646-16-5.
- HENRIQUES, Fernando M. A. - **A Conservação do Património Histórico Edificado**. 2ª Edição. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2005. p. 1-7. (Memória n.º775). ISBN 972-49-1408-9.
- GONÇALVES, Hélder; GRAÇA, João Mariz - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia, IP-3E, 2004. p. 33-45. ISBN 972-8268-34-3.
- GUEDES, M. Correia; PINHEIRO, M.; ALVES, L. Manuel - **Sustainable architecture and urban design in Portugal: An overview. Renewable Energy**. Amsterdam: Elsevier Science Lda. ISSN 0960-1481. N. º34 (2009), p.1999-2006.
- HUELVA, Marta Molina - **Rehabilitar para Reducir el Consumo Energético**. In PATORREB 2009, 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios. Porto, 2009.
- INE - **Censos 2001**. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, 2001. p.13-21. ISBN 972-673-610-2.
- INE - **Estatísticas da Construção e Habitação 2009**. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, 2010. p. 41-70. ISBN 978-989-25-0062-1.
- INE - **Inquérito às Despesas das Famílias 2005-2006**. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, 2008. p. 27-49. ISBN 978-972-673-989-0.
- KEENAN, Rita - **Statistical Aspects of the Energy Economy in 2009**. EUROSTAT, Statistics in Focus. União Europeia. ISSN 1977-0316. N. º 34/2010 (2010). p.1-12.

- KRSTIC, Aleksandra D. - **Bioclimatic Rehabilitation of Existing Building Stock. Renewable Energy**. Amsterdam: Elsevier Science Lda. ISSN 0960-1481. N. 915 (1998), p.337-342.
- MARTINS, Bárbara - **Housing Renovation [Em linha]**. Euroconstruct, Portugal Country of the month August, 2010. ITIC – Instituto Técnico para a Indústria da Construção. 2010. [Consult. 10 Julh. 2010] Disponível em WWW:<URL:http://www.euroconstruct.org/service/cotm/portugal08_05/country_otm.php.
- PAIVA, José Vasconcelos; AGUIAR, José; PINHO, Ana - **Guia Técnico de Reabilitação Habitacional**. Lisboa: Instituto Nacional de Habitação, LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006. p. 8-84 e 427-467. ISBN 978-972-49-2081-8.
- PAIVA, José A. Vasconcelos - **Medidas de Reabilitação Energética em Edifícios**. 2ª Edição. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003. p. 3-24. ISBN 972-49-1859-9.
- PINHEIRO, Manuel Duarte - **Ambiente e Construção Sustentável**. Amadora: Instituto do Ambiente, 2006. p. 23-39 e 85-124. ISBN 972-8577-32-X.
- PINTO, Armando Teófilo S. – **Reabilitação de Caixilharia. Melhoria das Características de Comportamento Térmico**. In 3º ENCORE – Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003. p. 1291-1300. (Actas – Volume 2). ISBN 972-49-1960-9.
- Parque Expo 98,SA; GASPARG, Jorge – **Évora: Recuperar o Processo Histórico [Em Linha]**; Évora: Câmara Municipal de Évora, 2008. [Consult. 10 Julh. 2010] Disponível em WWW: <URL: http://www2.cm-evora.pt/parquexpo/>.
- PORTARIA Nº 1379-B/2009. **D.R. I Série**. 211 (09-10-30) 8306-(3).
- PORTUGAL. Comunidade Intermunicipal do Alentejo Central; CIVITAS 21, Comunidades Sustentáveis; UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente; **Agenda 21 Local de Évora – Dossier de Leitura Estratégica**; Évora: Câmara Municipal de Évora, 2010. p. 70-71.
- RATTI, Carlo; BAKER, Nick; STEEMERS, Koen - **Energy Consumption and Urban Texture. Energy and Buildings**. Amsterdam: Elsevier Science Lda. ISSN 0378-7788. N. 937 (2005), p.762-776.
- RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS Nº13/2000. **D.R. I Série - B. Regulamento do Plano de Urbanização de Évora**. 74 (08-03-28) 1234-1262.

- SANTOS, Carlos A. Pina dos; MATIAS, Luís M. Cordeiro - **Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios**; Lisboa: LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006. p. I.1-I.12, II.1-II.97 e II.1-III.7. (Informações Científicas e Técnicas, Edifícios ITE 50). ISBN 972-49-2065-8.
- SANTOS, Carlos Pina; RODRIGUES, Rodrigo; VILHENA, António - **Reabilitação Térmica no Sector Residencial: Estratégias e Medidas**. In PATORREB 2009, 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios. Porto, 2009.
- SILVA, Pedro [et. al] - **Metodologias de Simulação com vista à Reabilitação Energeticamente Eficiente**. In PATORREB 2009, 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios. Porto, 2009.

11. Anexos

11.1. Terminologia de conservação de edifícios

A *Conservação de Edifícios* é a designação de espectro alargado, que junta todas as actividades e acções que tem por objectivo prolongar o tempo de vida útil de um determinado edifício. Assim, a conservação de edifícios engloba todas as acções e conceitos em seguida descritos.

11.1.1. Manutenção

O termo *Manutenção* refere-se ao conjunto de acções preventivas com objectivo de manter o correcto funcionamento do edifício. Podemos incluir neste tipo de intervenção actividades de limpeza do edifício, inspecções de rotina, etc. Assim uma eficaz manutenção do edifício previne o aparecimento da grande maioria das anomalias verificadas correntemente nos edifícios.

11.1.2. Reparação

A *Reparação* surge numa fase após o aparecimento de anomalias, tendo por objectivo corrigi-las, mantendo assim o edifício no estado em que se encontrava antes do aparecimento destas. É também comum utilizar-se o termo “*Consolidação*” quando as anomalias a reparar são de carácter estrutural.

11.1.3. Restauro

O *Restauro* está relacionado, de forma mais vincada, com o manter das características originais do edifício, relativas a uma dada época ou conjunto de épocas.

Sendo um tipo de intervenção que tem por objectivo manter a entidade original do edifício deve ser baseada em investigações e análises históricas, onde comumente se colocam dificuldades éticas acerca da entidade original do edifício, adoptando-se portanto materiais que permitam a clara identificação e distinção entre o ser original e não ser original.

11.1.4. Reconstrução

Tal como o nome indica, *Reconstrução* consiste em voltar a construir de novo o edifício, ou parte dele, que se encontre destruído ou em risco de ruir. Este tipo de intervenção só é utilizado em situações especiais e devidamente justificadas, são exemplos destes tipos de intervenção edifícios destruídos por cataclismos, tais como sismos, incêndios, etc.

11.1.5. Reabilitação

Conceito que será aplicado no presente estudo. Entende-se como *Reabilitação* de edifícios o conjunto de acções que visam melhorar os níveis de qualidade de um edifício.

As exigências funcionais a que os edifícios estão sujeitos diferem bastante com o tempo e época construtiva. O tempo de vida para os quais são projectados os edifícios faz com que no decorrer da sua vida as exigências a que estes são sujeitos sejam muitas vezes alteradas, assim torna-se necessário proceder a intervenções de *Reabilitação* visando atingir a conformidade com as novas exigências, ou mesmo, tornar um determinado edifício utilizável de acordo com padrões de habitabilidade actuais.

São consideradas também intervenções de *Reabilitação* as que pretendem adaptar os edifícios a uma utilização diferente daquela para a qual foi originalmente concebido.

É exemplo de intervenção de *Reabilitação* o presente trabalho, onde se pretende através deste estudo aumentar a qualidade de habitabilidade dos edifícios, melhorando a sua eficiência energética e estabelecendo acções que irão melhorar o seu conforto, visto que inicialmente não foram concebidos para responder a estas exigências energéticas.

11.1.6. Outros Conceitos

Para além das terminologias anteriormente apresentadas, importa referir alguns conceitos relacionados com a Conservação de Edifícios, que estão assim directamente relacionados com a Reabilitação de Edifícios. Estes conceitos que se apresentam em seguida não estão relacionados com as acções seleccionadas ou o tipo de intervenção a executar, antes correspondem a uma filosofia inerente a toda a conservação e que importa ter em consideração na selecção das acções e medidas a executar.

11.1.6.1. Reversibilidade

Trata-se de um princípio importante na Conservação de edifícios pois representa a capacidade de uma determinada técnica construtiva ou material ser removido no final da sua vida útil, não causando danos nos materiais originais.

11.1.6.2. Patine

Esta designação refere-se ao envelhecimento natural produzido pelo tempo nos materiais. O *Patine* é parte integrante de qualquer obra fazendo parte da sua caracterização, sendo importante a sua integração no conceito de Conservação de edifícios.

11.2. Carta de Veneza - 1964

Carta de Veneza – 1964³

CARTA INTERNACIONAL SOBRE A CONSERVAÇÃO E O RESTAURO DE MONUMENTOS E SÍTIOS

Os monumentos de um povo, portadores de uma mensagem do passado, são um testemunho vivo das suas tradições seculares. A humanidade tem vindo progressivamente a tomar maior consciência da unidade dos valores humanos e a considerar os monumentos antigos como uma herança comum, assumindo colectivamente a responsabilidade da sua salvaguarda para as gerações futuras e aspirando a transmiti-los com toda a sua riqueza e autenticidade.

É essencial que os princípios orientadores da conservação e do restauro de edifícios antigos sejam elaborados e acordados a nível internacional, ficando cada país responsável pela sua aplicação no âmbito específico do seu contexto cultural e das suas tradições.

A Carta de Atenas, de 1931, ao expressar pela primeira vez aqueles princípios, contribuiu para o desenvolvimento de um amplo movimento internacional, traduzido na elaboração de vários documentos nacionais, na actividade do ICOM e da UNESCO e na criação, por esta última entidade, de um Centro Internacional para o Estudo da Preservação e do Restauro do Património Cultural. O desenvolvimento dos conhecimentos e o espírito crítico têm trazido a atenção sobre problemas novos e mais complexos; é, portanto, chegada a altura de reexaminar aquela Carta para, através de um estudo mais aprofundado dos seus princípios, se proceder ao alargamento do seu âmbito traduzido na elaboração de um novo documento.

Em consequência, o II Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos, reunido em Veneza de 25 a 31 de Maio de 1964, aprovou o seguinte texto:

DEFINIÇÕES

Art. 1 - O conceito de monumento histórico engloba, não só as criações arquitectónicas isoladamente, mas também os sítios, urbanos ou rurais, nos quais sejam patentes os testemunhos de uma civilização particular, de uma fase significativa da evolução ou do progresso, ou algum acontecimento histórico. Este conceito é aplicável, quer às grandes criações, quer às realizações mais modestas que tenham adquirido significado cultural com o passar do tempo.

³ Cópia integral da versão portuguesa da Carta de Veneza de 1964 (fonte: Henriques; *A Conservação do Património Histórico Edificado*;2005)

Art. 2 - A conservação e o restauro dos monumentos devem recorrer à colaboração de todas as ciências e técnicas que possam contribuir para o estudo e a protecção do património monumental.

Art. 3 - A conservação e o restauro dos monumentos têm como objectivo salvaguardar tanto a obra de arte como as respectivas evidências históricas.

CONSERVAÇÃO

Art. 4 - Para a conservação dos monumentos é essencial que estes sejam sujeitos a operações regulares de manutenção.

Art. 5 - A conservação dos monumentos é sempre facilitada pela sua utilização para fins sociais úteis. Esta utilização, embora desejável, não deve alterar a disposição ou a decoração dos edifícios. É apenas dentro destes limites que as modificações que seja necessário efectuar poderão ser admitidas.

Art. 6 - A conservação de um monumento implica a manutenção de um espaço envolvente devidamente proporcionado. Sempre que o espaço envolvente tradicional subsista, deve ser conservado, não devendo ser permitidas quaisquer novas construções, demolições ou modificações que possam alterar as relações volumétricas e cromáticas.

Art. 7 - Um monumento é inseparável da história de que é testemunho e do meio em que está inserido. A remoção do todo ou de parte do monumento não deve ser permitida, excepto quando tal seja exigido para a conservação desse monumento ou por razões de grande interesse nacional ou internacional.

Art. 8 - Os elementos de escultura, pintura ou decoração que façam parte integrante de um monumento apenas poderão ser removidos se essa for a única forma de garantir a sua preservação.

RESTAURO

Art. 9 - O restauro é um tipo de operação altamente especializado. O seu objectivo é a preservação dos valores estéticos e históricos do monumento, devendo ser baseado no respeito pelos materiais originais e pela documentação autêntica. Qualquer operação desse tipo deve terminar no ponto em que as conjecturas comecem; qualquer trabalho adicional que seja necessário efectuar deverá ser distinto da composição arquitectónica original e apresentar marcas que o reportem claramente ao tempo presente. O restauro deve ser sempre precedido e acompanhado por um estudo arqueológico e histórico do monumento.

Art. 10 - Quando as técnicas tradicionais se revelarem inadequadas, a consolidação de um monumento pode ser efectuada através do recurso a outras técnicas modernas de conservação ou de construção, cuja eficácia tenha sido demonstrada cientificamente e garantida através da experiência de uso.

Art. 11 - As contribuições válidas de todas as épocas para a construção de um monumento devem ser respeitadas, dado que a unidade de estilo não é o objectivo que se pretende alcançar nos trabalhos de restauro. Quando um edifício apresente uma sobreposição de trabalhos realizados em épocas diferentes, a eliminação de algum desses trabalhos posteriores apenas poderá ser justificada em circunstâncias excepcionais, quando o que for removido seja de pouco interesse e aquilo que se pretenda pôr a descoberto tenha grande valor histórico, arqueológico ou estético e o seu estado de conservação seja suficientemente bom para justificar uma acção desse tipo. A avaliação da importância dos elementos envolvidos e a decisão sobre o que pode ser destruído não podem depender apenas do coordenador dos trabalhos.

Art. 12 - Os elementos destinados a substituírem as partes que faltem devem integrar-se harmoniosamente no conjunto e, simultaneamente, serem distinguíveis do original por forma a que o restauro não falsifique o documento artístico ou histórico.

Art. 13 - Não é permitida a realização de acrescentos que não respeitem todas as partes importantes do edifício, o equilíbrio da sua composição e a sua relação com o ambiente circundante.

SÍTIOS HISTÓRICOS

Art. 14 - Os sítios dos monumentos devem ser objecto de um cuidado especial, por forma a assegurar que sejam tratados e apresentados de uma forma correcta. Os trabalhos de conservação e restauro a efectuar nesses locais devem inspirar-se nos princípios enunciados nos artigos precedentes.

ESCAVAÇÕES Art. 15 - Os trabalhos de escavação devem ser efectuados de acordo com as normas científicas e com a "Recomendação definidora dos princípios internacionais a aplicar em matéria de escavações arqueológicas", adoptadas pela UNESCO em 1956.

Deve ser assegurada a manutenção das ruínas e tomadas as medidas necessárias para garantir a conservação e a protecção dos elementos arquitectónicos e dos objectos descobertos. Para além disso, devem tomar-se todas as medidas que permitam facilitar a compreensão do monumento, sem distorcer o seu significado.

Todos os trabalhos de reconstrução devem ser rejeitados *a priori*. Só a *anastylosis*, isto é, a remontagem das peças soltas que existam num estado de desagregação, pode ser permitida. Os materiais utilizados para reintegração deverão ser sempre reconhecíveis e o seu uso restringido ao mínimo necessário para assegurar as condições de conservação do monumento e restabelecer a continuidade das suas formas.

PUBLICAÇÃO

Art. 16 - Os trabalhos de conservação, restauro ou escavação devem ser sempre acompanhados por um registo preciso, sob a forma de relatórios analíticos ou críticos, ilustrados com desenhos e fotografias. Todas as fases dos trabalhos de reparação, consolidação, recomposição e reintegração, assim como os elementos técnicos e formais identificados ao longo dos trabalhos devem ser incluídos. Este registo deverá ser guardado nos arquivos de um organismo público e posto à disposição dos investigadores. Recomenda-se, também, que seja publicado.

As seguintes pessoas participaram nos trabalhos da Comissão encarregada de elaborar a Carta Internacional para a Conservação e o Restauro dos Monumentos: Piero Gazzola, Presidente (Itália), Raymond Lemaire, Relator (Bélgica), José Bassegoda-Nonell (Espanha), Luís Benavente (Portugal), Djurdje Boskovic (Jugoslávia), Hisroshi Daifuku (UNESCO), P. De Vrieze (Holanda), Harald Langberg (Dinamarca), Mario Matteucci (Itália), Jean Merlet (França), Carlos Flores Marini (México), Roberto Pane (Itália), S. Pavel (Checoslováquia), Paul Philippot (ICCROM), Victor Pimentel (Perú), Harold Plenderleith (ICCROM), Deoclecio Redig de Campos (Vaticano), Jean Sonnier (França), François Sorlin (França), Eustathios Stikas (Grécia), Gertrude Tripp (Áustria), Jan Zachwatowicz (Polónia), Mustafa S. Zbiss (Tunísia).

11.3. Definições do PUE

Reabilitação: Alteração e ou ampliação com conservação de elementos estruturais e decorativos de interesse, com objectivo de melhorar a habitabilidade do edifício.

Alteração: Modificação do edifício existente sem aumento da Superfície Total de Pavimento (STP) ou do volume do edifício.

Ampliação: Aumento da STP ou do volume do edifício.

Reconstrução: Construção nova após demolição na totalidade, ou na sua maior parte, do edifício pré-existente.

Conservação: Manutenção do imóvel sem qualquer modificação dos seus elementos estruturais, acabamentos exteriores, compartimentação interna ou respectivos usos.

Restauro: conservação e ou alteração destinada a valorizar elementos do imóvel.

Recuperação: obra de conservação, restauro ou reabilitação.

11.4. Cálculos Auxiliares

Neste anexo, e em suporte CD, colocam-se à disposição do leitor, todas as folhas de cálculo utilizadas para a realização desta dissertação de mestrado. A organização das pastas é simples, encontrando-se todos os cálculos desde o levantamento da situação existente a todas as alterações, até atingir classificação A+, bem como os respectivos cálculos para a inércia térmica de cada uma das fracções autónomas.

11.5. Peças Desenhadas