

REABILITAÇÃO TÉRMICA DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Diana Maria Barroso Ferro Garcês Corrêa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores

Professora Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Professor Doutor José Dinis Silvestre

Júri

Presidente: Professor João Pedro Ramôa Ribeiro Correia

Orientador: Professora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Vogal: Doutora Ana Neyra Brandão de Vasconcelos

Outubro de 2016

Agradecimentos

Para a realização da presente Dissertação foi necessário um grande esforço e empenho, não só por parte do autor, mas também de todos os intervenientes, que de uma maneira ou de outra, deram o seu contributo para o seu desenvolvimento.

Gostaria, assim, de poder expressar o meu sincero agradecimento:

À Professora Inês Flores-Colen e ao Professor José Silvestre, que aceitaram ser meus orientadores científicos, e que desempenharam um papel fundamental na elaboração desta Dissertação, através de toda a motivação que me deram, bem como de toda a orientação e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e partilha de conhecimentos, na correção e análise do trabalho realizado, e na cedência de material fundamental para o desenvolvimento desta temática.

A todas as entidades que ofereceram a sua disponibilidade e ajuda para a concretização da análise a diversos casos de estudo reais, HCI Construções; San Jose Construtora; Departamento de Obras da C.M. de Cascais; C.M. de Lisboa; Odemakiphe Unipessoal Lda; e FAT – Future Architecture Thinking, facultando informação essencial sem a qual a realização deste trabalho não teria sido possível, bem como aos Associados da APFAC, pela transmissão de conhecimentos sobre o tema.

Ao Sr. Engenheiro João Appleton, ao Professor Vasco Peixoto Freitas e ao Professor Vasco Rato, pela sua ajuda e colaboração para a presente Dissertação, através da sua disponibilidade e amabilidade em facultar os seus conhecimentos e opiniões relativamente à temática em análise, tendo estes sido um grande contributo para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, por todo o apoio. Com um especial agradecimento aos meus pais e avô, com quem sempre pude contar, pois estiveram sempre presentes ao longo deste percurso e sempre se mostraram disponíveis para me apoiar, ajudar e incentivar a dar o meu melhor. E também às minhas irmãs, por toda a amizade.

Ao André, por todo o companheirismo, compreensão e motivação que me deu e que me permitiram ter sempre força de vontade e empenho, não só ao longo deste trabalho, mas ao longo de todo o meu percurso académico.

À Inês e à Filipa, por toda a amizade e companheirismo, ao longo deste percurso.

Resumo

No seguimento das preocupações ambientais europeias, existe atualmente no sector da construção uma consciencialização quanto à importância da eficiência energética. Com a criação da regulamentação térmica, a envolvente dos edifícios passou a desempenhar um papel importante na garantia de condições de conforto térmico do espaço interior. Através de intervenções de reabilitação térmica é possível aumentar a sustentabilidade do parque edificado preservado, reduzindo os consumos energéticos para climatização.

Este trabalho insere-se no âmbito da reabilitação térmica, aplicada em fachadas de edifícios antigos (construídos entre 1755 a 1960). As intervenções nestes edifícios apresentam condicionalismos que não se verificam na construção nova.

Assim sendo, com este trabalho pretendeu-se realizar uma análise sobre quais as vantagens e desvantagens da aplicação de diferentes soluções de isolamento térmico em fachadas de edifícios antigos, sendo esta suportada em literatura, casos de reabilitação reais e entrevistas a especialistas na área da reabilitação, de forma a determinar quais as medidas a adotar consoante as condicionantes envolvidas neste tipo de intervenção.

Em suma, as soluções de isolamento térmico pelo exterior são termicamente mais eficientes. No entanto, quando os edifícios antigos têm valor arquitetónico ou patrimonial, deve-se analisar a aplicação de uma solução pelo interior, ponderando as suas condicionantes.

Como síntese e resultado deste estudo, foi elaborado um modelo de apoio ao projetista, em forma de fluxograma com tabelas complementares de apoio à decisão, com o intuito de sistematizar os fatores a ponderar na tomada de decisão quanto à intervenção de reabilitação térmica de fachadas a realizar em cada caso.

Palavras-Chave:

Edifícios antigos; Fachadas; Isolamento térmico; Reabilitação.

Abstract

Following the European environmental concerns, there is currently the awareness for the importance of energy efficiency in the construction sector. With the creation of thermal regulation, the envelope has been playing an important role in ensuring the thermal comfort of the buildings' interior space. Through thermal rehabilitation, it is possible to increase the sustainability of existing buildings by reducing energy consumption through heating and cooling.

This work is within the scope of thermal rehabilitation, applied on the facades of old buildings (built between 1755 and 1960). The interventions in these buildings have constraints that do not exist in new buildings.

Therefore, this work intended to carry out an analysis of the advantages and disadvantages of several thermal insulation solutions on the facades of old buildings, supported in the literature, real rehabilitation cases and interviews with experts in the rehabilitation area, in order to establish adequate actions to take depending on the conditions involved in this type of intervention.

In short, the external thermal insulation solutions are thermally more efficient. However, when the old buildings have architectural or heritage value, it should be analysed the application of an interior thermal insulation solution, considering its possible disadvantages.

As a synthesis and result of this study, a model was prepared to support building's designer, in the form of a flowchart with complementary tables to assist the decision, in order to systematize the factors involving a decision on the intervention of thermal rehabilitation of facades to be carried out in each case.

Key Words:

Old buildings; Facades; Thermal insulation; Rehabilitation.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Considerações iniciais	1
1.2	Interesse e justificação da Dissertação	2
1.3	Objetivos e metodologia da Dissertação	3
2	Tecnologia de fachadas de edifícios antigos.....	4
2.1	Considerações iniciais	4
2.2	Definição de edifício antigo	6
2.3	Paredes de edifícios antigos	7
2.3.1	Tecnologia de paredes de edifícios antigos	7
2.3.2	Tipos de revestimentos	9
2.4	Evolução das soluções de paredes de edifícios antigos	11
2.5	Síntese do capítulo	14
3	Reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos.....	15
3.1	Considerações iniciais	15
3.2	Características do comportamento térmico de fachadas de edifícios antigos	16
3.3	Exigências térmicas regulamentares aplicáveis a edifícios antigos	18
3.3.1	Evolução do quadro legal	18
3.3.2	Enquadramento regulamentar atual.....	20
3.3.3	Sistema de Certificação Energética de Edifícios	22
3.3.4	Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes	23
3.4	Anomalias associadas ao deficiente isolamento térmico de fachadas.....	25
3.5	Soluções de reforço de isolamento térmico aplicadas em fachadas.....	26
3.5.1	<i>External Thermal Insulation Composite System (ETICS)</i>	28
3.5.2	Fachada ventilada	30
3.5.3	Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas	33
3.5.4	<i>Internal Thermal Insulation Composite System (ITICS)</i>	34
3.5.5	Isolamento térmico de fachadas pelo interior com revestimento aderente.....	34

3.5.6	Contra-fachada pelo lado interior	36
3.5.7	Revestimento da parede com argamassas térmicas	37
3.6	Vantagens e condicionantes de cada solução de isolamento térmico	39
3.6.1	<i>External Thermal Insulation Composite System</i> (ETICS)	39
3.6.2	Fachada ventilada	42
3.6.3	Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas	44
3.6.4	Isolamento térmico pelo interior	44
3.6.5	Revestimento da parede com argamassas térmicas	46
3.7	Conclusões do capítulo	46
4	Trabalho de campo	48
4.1	Considerações iniciais	48
4.2	Metodologia de trabalho	49
4.3	Caraterização dos casos incluídos no trabalho de campo	49
4.3.1	Descrição de casos de reabilitação térmica de fachadas existentes	50
4.3.2	Análise crítica sobre os casos com reabilitação térmica das fachadas existentes	57
4.3.3	Descrição de casos sem reabilitação térmica nas fachadas existentes	60
4.3.4	Análise crítica sobre os casos recolhidos sem reabilitação térmica das fachadas existentes	69
4.4	Informação recolhida nas entrevistas realizadas no trabalho de campo	72
4.5	Modelo de apoio à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos	74
4.6	Conclusões do capítulo	77
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros	78
5.1	Conclusões finais	78
5.2	Desenvolvimentos futuros	79
	Referências bibliográficas	81
Anexos		
	Anexo 4.I: Ficha de inspeção tipo de casos de estudo com isolamento térmico nas fachadas existentes	I
	Anexo 4.II: Ficha de inspeção tipo de casos de estudo sem isolamento térmico nas fachadas existentes	VII

Anexo 4.III: Preenchimento da ficha de inspeção tipo do caso de estudo C com isolamento térmico nas fachadas existentes.....	X
Anexo 4.IV: Síntese das vantagens e desvantagens das soluções de isolamento térmico de cada caso de estudo.....	XVI

Índice de tabelas do texto

Tabela 3.1: Valores máximos e de referência do coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca .	22
Tabela 3.2: Classificação do comportamento de isolamentos térmicos: valores comerciais (Amorim (ICB), ROCKWOOL (MW), FIBRAN (XPS) e ACEPE (EPS)) à esquerda e valores convencionais (APFAC) à direita	27
Tabela 3.3: Tipos de soluções de isolamento térmico em fachadas	28
Tabela 3.4: Síntese das vantagens e desvantagens das diversas soluções de isolamento térmico aplicadas em fachadas.....	47
Tabela 4.1: Descrição das soluções construtivas das fachadas, incluindo as soluções de isolamento térmico, do edifício A	52
Tabela 4.2: Síntese da análise crítica aos casos de estudo A a E	60
Tabela 4.3: Descrição das soluções construtivas das fachadas existentes e novas do edifício G, após reabilitação	63
Tabela 4.4: Síntese dos principais dados recolhidos dos casos de estudo F a L para análise crítica e exposição de conclusões	70
Tabela 4.5: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (1) do fluxograma.....	76
Tabela 4.6: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (2) do fluxograma.....	76
Tabela 4.7: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (3) do fluxograma.....	76
Tabela 4.8: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (4) do fluxograma.....	76
Tabela 4.9: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (5) do fluxograma.....	76
Tabela 4.10: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (6) do fluxograma.....	77

Índice de tabelas em anexo

Tabela 4.I.1: Caracterização do edifício	A-I
Tabela 4.I.2: Identificação da solução de reabilitação térmica nas fachadas existentes	A-II
Tabela 4.I.3: Alterações e condicionantes do projeto de verificação do comportamento térmico.....	A-II
Tabela 4.I.4: Caracterização do isolamento térmico aplicado nas fachadas existentes	A-III
Tabela 4.I.5: Informação relativa ao cumprimento da Regulamentação térmica.....	A-III
Tabela 4.I.6: Informação relativa às condições após aplicação da solução de isolamento térmico na fachada.....	A-III
Tabela 4.I.7: Inquérito de opinião sobre as vantagens da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas	A-IV
Tabela 4.I.8: Inquérito de opinião sobre as condicionantes da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas	A-V
Tabela 4.I.9: Recolha de elementos para complemento das respostas obtidas na presente ficha de inspeção	A-VI
Tabela 4.II.1: Tabela 4.I 10: Caracterização do edifício.....	A-VII

Tabela 4.II.1: Tabela 4.I 10: Caracterização do edifício	VII
Tabela 4.II.2: Informação relativa às intervenções de reabilitação nas fachadas existentes	VIII
Tabela 4.II.3: Informação relativa ao cumprimento da Regulamentação térmica	VIII
Tabela 4.II.4: Informação relativa às restrições que impediram a aplicação de isolamento térmico nas fachadas existentes	VIII
Tabela 4.II.5: Informação relativa a possíveis correções térmicas que tenham existido na envolvente do edifício	IX
Tabela 4.II.6: Recolha de elementos para complemento das respostas obtidas na presente ficha de inspeção	IX
Tabela 4.III.1: Síntese dos dados recolhidos nas fichas de inspeção de cada caso de estudo (A a E) com isolamento térmico	XVI
Tabela 4.IV.1 Caracterização do edifício	A-X
Tabela 4.IV.2: Identificação da solução de reabilitação térmica nas fachadas existentes	A-XI
Tabela 4.IV.3: Alterações e condicionantes do projeto de verificação do comportamento térmico	A-XI
Tabela 4.IV.4: Caracterização do isolamento térmico aplicado nas fachadas existentes	A-XII
Tabela 4.IV.5: Informação relativa ao cumprimento da Regulamentação térmica	A-XII
Tabela 4.IV.6: Informação relativa às condições após aplicação da solução de isolamento térmico na fachada	A-XII
Tabela 4.IV.7: Inquérito de opinião sobre as vantagens da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas	A-XIII
Tabela 4.IV.8: Inquérito de opinião sobre as condicionantes da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas	A-XIV
Tabela 4.IV.9: Recolha de elementos para complemento das respostas obtidas na presente ficha de inspeção	A-XV

Índice de Figuras

Figura 2.1: Número de fogos concluídos em obras nacionais de construção nova e reabilitação de 1991 a 2011	5
Figura 2.2: Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios em países da União Europeia.....	5
Figura 2.3: Necessidades de reparação de edifícios construídos até 1960 em Lisboa	6
Figura 2.4: Parede de taipa ou adobe	7
Figura 2.5: Parede de taipa armada com madeira.....	7
Figura 2.6: Alvenaria de Cantaria	8
Figura 2.7: Alvenaria de pedra com aparelho rústico	8
Figura 2.8: Alvenaria de pedra ordinária	8
Figura 2.9: Alvenaria de pedra seca	8
Figura 2.10: Pano de tijolo ao alto.....	9
Figura 2.11: Pano ou parede de meia vez	9
Figura 2.12: Pano ou parede de uma vez	9
Figura 2.13: Parede de uma vez e meia	9
Figuras 2.14 e 2.15: Alvenaria de Pedra e Tijolo	9
Figura 2.16: Acabamento com tinta de cal.....	11
Figura 2.17: Revestimento em azulejo (Edifício do Elevador do Castelo na Baixa).....	11
Figuras 2.18: Estrutura de um andar de um edifício pombalino	13
Figura 2.19: Parede frontal com a cruz de Santo André	13
Figura 2.20: Tabique de prancha ao alto	13
Figura 2.21: Alteração da altura de um edifício	13
Figura 2.22: Transição da espessura de paredes por piso, em edifícios gaioleiros	13
Figura 2.23: Evolução das fachadas até à construção corrente	14
Figura 3.1: Efeito da inércia térmica nas oscilações térmicas do ar interior.....	17
Figura 3.2: Evolução legislativa da regulamentação térmica em Portugal	19
Figura 3.3: Balanço térmico de um edifício	21
Figura 3.4: Evolução da emissão de certificados energéticos em Portugal, de 2008 a 2014	23
Figura 3.5: Âmbitos das medidas de melhoria na emissão de certificados em edifícios de habitação, de Dezembro de 2013 a Dezembro de 2014	23
Figura 3.6: Classes de desempenho energético e requisitos mínimos de classe a cumprir	23
Figura 3.7: Ponte térmica no encontro entre paredes exteriores (cunhal).....	25
Figura 3.8: Ponte térmica na ligação entre paredes	25
Figura 3.9: Ponte térmica no encontro de uma ombreira de uma porta ou janela.....	25
Figura 3.10: Machas de humidade em ponte térmica	26
Figura 3.11: Ponte térmica detetada por termografia	26
Figura 3.12: Sistema de isolamento térmico compósito exterior com reboco delgado.....	29
Figura 3.13: Sistema de isolamento térmico compósito exterior com reboco espesso.....	29

Figura 3.14: Colocação de cantoneiras de reforço nas arestas das fachadas (esquinas e contorno de vãos).....	30
Figura 3.15: Remates nos cantos dos vãos envidraçados com reforço de armadura.....	30
Figura 3.16: Esquema de uma Fachada Ventilada.....	31
Figura 3.17: Secção esquemática com o efeito de chaminé representado.....	31
Figura 3.18: Estrutura de fixação para revestimentos de grande espessura.....	32
Figura 3.19: Estrutura de fixação à vista para revestimentos de espessura fina.....	32
Figura 3.20: Estrutura de fixação oculta para revestimentos de espessura fina.....	32
Figura 3.21: Sistema sobteposto para painéis cerâmicos.....	32
Figura 3.22: Injeção de lã mineral na caixa-de-ar para reforço térmico de paredes duplas.....	33
Figura 3.23: Injeção de espuma rígida de poliuretano (PUR); para reforço térmico de paredes duplas....	33
Figura 3.24: Esquema da constituição do ITICS.....	34
Figura 3.25: Esquema do sistema de isolamento térmico pelo interior com revestimento aderente.....	35
Figura 3.26: Solução de isolamento pelo interior com revestimento em gesso laminado.....	35
Figura 3.27: Solução de isolamento pelo interior com revestimento em madeira.....	35
Figura 3.28: Contra-fachada de alvenaria (solução à esquerda) e contra-fachada de gesso laminado (solução à direita).....	36
Figura 3.29: Argamassa térmica projetada com agregados em EPS.....	37
Figura 3.30: Argamassa térmica projetável agregados de ICB.....	37
Figura 3.31: Sistema de revestimento com argamassa térmica projetada com agregados em EPS.....	38
Figura 3.32: Sistema de argamassa térmica.....	38
Figura 3.33: Efeito do isolamento pelo exterior na inércia térmica.....	40
Figura 3.34: Efeito do isolamento pelo interior na inércia térmica.....	40
Figura 3.35: Reabilitação com ETICS, mantendo a atividade normal do edifício por ser executada no exterior.....	42
Figura 3.36: Renovação estética de fachadas com anomalias existentes, através da aplicação de ETICS.	42
Figura 3.37: Degradação do ETICS, por suscetibilidade aos choques.....	42
Figura 4.1: Delimitação do conjunto urbano reabilitado do caso de estudo A.....	50
Figura 4.2: Fachada dos edifícios A durante a fase de obra de reabilitação.....	51
Figura 4.3: Maquete virtual da fachada dos edifícios A após a intervenção de reabilitação.....	51
Figura 4.4 a) e b): Fachada dos edifícios A.....	51
Figura 4.5: Pormenor do paramento exterior da fachada dos edifícios A.....	51
Figura 4.6: Contenção das fachadas existentes do edifício B.....	53
Figura 4.7: Aspeto exterior do edifício B antes da intervenção.....	53
Figura 4.8: Aspeto exterior do edifício B na fase final da obra de reabilitação.....	53
Figura 4.9: Reforço da fachada existente com rede metálica.....	54
Figura 4.10: Vista em perfil do sistema de isolamento térmico aplicado.....	54
Figura 4.11: Vista de frente da solução de isolamento térmico aplicada pelo interior com placas de gesso laminado.....	54

Figura 4.12: Aspeto exterior do edifício C em fase final de obra	54
Figura 4.13: Parede exterior do terraço existente no edifício C	54
Figura 4.14: Rua da Moeda com largura muito estreita, com o edifício C à esquerda sombreado pelo edifício vizinho	55
Figura 4.15: Fachada do edifício D em fase de aplicação de isolamento térmico.....	55
Figura 4.16: Pormenor do perfil de arranque do ETICS	55
Figura 4.17: Fachada principal do edifício E.....	56
Figura 4.18: Fachada de tardo do edifício E.....	56
Figura 4.19: Parede exterior existente em alvenaria ordinária de pedra	61
Figura 4.20: Fachada principal do edifício F, com estruturas existente e acrescentada	61
Figura 4.21: Parede exterior com blocos de argila expandida e fachada ventilada	61
Figura 4.22 a) e b): Pormenor do sistema de fixação do revestimento utilizado na fachada ventilada ..	62
Figura 4.23: Sistema de fixação do revestimento utilizado na fachada ventilada	62
Figura 4.24: Aspeto exterior do Edifício G antes da intervenção de reabilitação	64
Figura 4.25: Aspeto exterior do Edifício G após reabilitação	64
Figura 4.26: Maquete virtual da fachada do edifício H após a intervenção de reabilitação.	64
Figura 4.27: Fachada existente do edifício H em alvenaria de pedra e tijolo	64
Figura 4.28: Aspeto exterior do edifício H antes da intervenção.	64
Figura 4.29: Alçado principal do edifício I	65
Figura 4.30: Planta do piso 0 do edifício I	65
Figura 4.31: Fachada do edifício J em alvenaria de pedra, durante a intervenção	67
Figura 4.32: Fachada principal do edifício J após reabilitação	67
Figura 4.33: Fachada de tardo do edifício J após reabilitação.....	67
Figura 4.34: Aspeto exterior do Edifício K após reabilitação	68
Figura 4.35: Porta principal com sistema corta-vento	68
Figura 4.36: Janela com vidro duplo com corte térmico, caixilharia de madeira e guarnição pré-existente ..	68
Figura 4.37: Fachada do edifício L após reabilitação	69
Figura 4.38: Parede exterior mista de alvenaria de pedra e tijolo.....	69
Figura 4.39: Fachada do piso térreo com espessura de aproximadamente 1 m	69
Figura 4.40: Comparação entre os valores de U das fachadas dos casos A e I e os valores de U_{max} dos regulamentos (a descrição das soluções encontra-se detalhada nos subcapítulos 4.3.1 e 4.3.3, com a respetiva sigla)	71
Figura 4.41: Fluxograma de apoio à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos	75

1 Introdução

1.1 Considerações iniciais

O âmbito desta Dissertação incide na reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos (construídos entre 1755 a 1960). A evolução das construções deu-se sempre em função das exigências da sociedade, sendo que procurou-se dotá-las de condições de estabilidade estrutural e de funcionalidade. Independentemente das soluções construtivas adotadas, a envolvente dos edifícios sempre desempenhou um papel de separação entre o espaço interior do edifício e o ambiente exterior, sendo através desta que se estabelecem as trocas de calor entre os ambientes exterior e interior. Embora tenha existido uma constante evolução construtiva ao longo dos tempos, foi a partir de meados do século XX que se assistiu a um desenvolvimento construtivo exponencial, concebendo-se edificações modernas com características bastante diferentes das edificações tradicionais. A mudança na conceção dos edifícios deu-se não só do ponto de vista dos materiais e das soluções construtivas, existindo assim uma consequente distinção quanto ao comportamento térmico e quanto à resposta térmica da envolvente entre edifícios modernos e antigos, mas deu-se também do ponto de vista do estabelecimento de novas condições de conforto para os utilizadores, que se foram tornando cada vez mais exigentes com o evoluir da regulamentação e das exigências normativas na construção civil. Nas últimas décadas, a sociedade moderna tem exigido uma maior qualidade de vida, incluindo a garantia de condições de conforto térmico dos edifícios, o que obrigou a um aumento dos consumos energéticos através de aparelhos de climatização. Contudo, existe atualmente a consciencialização quanto à necessidade de redução dos consumos energéticos e consequente necessidade de adotar soluções sustentáveis e eficientes energeticamente em todos os sectores consumidores de energia. A implementação de isolamento térmico nas fachadas, entre outras medidas de melhoria térmica da envolvente, veio desempenhar um papel importante no comportamento térmico dos edifícios, através do aumento da resistência térmica destes elementos, contribuindo para a redução dos consumos energéticos, tratando-se portanto de uma medida vantajosa para a eficiência energética e sustentabilidade dos edifícios. Neste sentido, surgiu em 1990 a regulamentação térmica que obriga ao cumprimento de requisitos térmicos em toda a envolvente, incluindo as fachadas, embora seja aplicável maioritariamente apenas à construção nova.

No entanto, parte do edificado atual diz respeito a construções antigas, que se mantêm através de ações de reabilitação que têm crescido, dada a atual consciencialização e sensibilização relativamente à importância da preservação do património edificado. Não obstante, a reabilitação e conservação do parque edificado devem ganhar uma maior expressão no sector da construção, existindo bastantes edifícios antigos que se encontram em elevado estado de degradação e que necessitam de intervenções de reabilitação, especialmente nos centros urbanos. Tendo em consideração os padrões de conforto térmico atuais, verifica-se que é necessário não só manter o património edificado, mas também dotá-lo de condições de conforto e habitabilidade, munindo-o com melhores características térmicas, através de soluções que não aumentem os consumos energéticos, como por exemplo através da aplicação de soluções de isolamento térmico nas fachadas. Importa por isso analisar e determinar qual o

comportamento térmico dos edifícios antigos, existindo informação teórica disponível em literatura e existindo simulações de casos concretos em Dissertações sobre reabilitação térmica que incidem neste grupo de edifícios. E, posteriormente, importa também analisar quais as melhorias térmicas que devem ser aplicadas para que os edifícios antigos vão ao encontro das atuais exigências de conforto do utilizador, atuando nas soluções construtivas da envolvente de modo a tornar diminuta a utilização de aparelhos de climatização, se possível com o objetivo da sua irradicação. No entanto, a implementação de isolamento térmico em fachadas de edifícios antigos não pode ser vista como se de um edifício novo em betão armado se tratasse, sendo que a aplicação de isolamento térmico na reabilitação de edifícios antigos apresenta condicionantes e restrições que não existem na aplicação em construção nova.

1.2 Interesse e justificação da Dissertação

A reabilitação térmica tem-se tornado num tema da atualidade. Com a constante consciencialização em Portugal quanto à necessidade de reabilitar o património edificado, de forma a manter a herança cultural representada nas construções antigas, e com o reconhecimento ao nível global da importância da eficiência energética e da adoção de medidas que promovam a sustentabilidade incentivadas pelas crescentes exigências de redução dos consumos energéticos, a reabilitação térmica surge como resposta a estas necessidades, promovendo simultaneamente a conservação do património edificado e a preservação do meio ambiente. Nesse seguimento surgiu a necessidade de desenvolver o tema em questão, procurando dar resposta às questões que se impõem quando se pretende analisar a viabilidade de aplicar uma dada solução de isolamento térmico nas fachadas de edifícios antigos.

Durante o estudo do tema desta Dissertação foram encontradas diversas Dissertações enquadradas na área da reabilitação térmica de edifícios, enfatizando a importância deste tema na engenharia civil e provando que, pelo menos por parte da área da investigação, o desempenho térmico dos edifícios é uma preocupação crescente na reabilitação. Verificou-se, no entanto, que o estudo da reabilitação térmica se restringiu maioritariamente à análise quantitativa do desempenho térmico de edifícios existentes, na situação com a envolvente opaca sem isolamento térmico (situação existente) e na situação com a envolvente opaca isolada (proposta de adoção de uma solução de melhoria térmica), através de programas de simulação e através da aplicação da regulamentação térmica, sendo por isso muitas vezes analisada a resposta térmica de toda a envolvente dos edifícios, que se estendem desde edifícios antigos a edifícios mais recentes. Esta Dissertação vem oferecer uma perspetiva diferente, dando maior enfoque ao campo de aplicação em edifícios antigos e restringindo-se ao estudo das fachadas, que se tratam de elementos condicionantes para o estabelecimento de condições de conforto do espaço interior dos edifícios.

Nesse sentido, esta Dissertação vem oferecer um contributo inovador para a temática da reabilitação térmica, tendo como principal objetivo auxiliar a tomada de decisão do projetista relativamente à escolha quanto à ação de melhoria térmica em fachadas de edifícios antigos, através de um modelo, suportado pela realização de um trabalho de campo, que apresenta de forma sintetizada os fatores e condicionantes a analisar num projeto de reabilitação térmica, facilitando o processo de decisão quanto à melhor solução a adotar em fachadas de edifícios antigos, para cada caso. Além disso, esta Dissertação expõe uma perspetiva da realidade atual, com objetivo também de perceber o que acontece na prática no mercado da construção.

1.3 Objetivos e metodologia da Dissertação

Como anteriormente mencionado, esta Dissertação insere-se na temática da reabilitação de edifícios, tendo como enfoque a criação de condições de conforto térmico em edifícios antigos, através da aplicação de soluções de isolamento térmico da zona opaca das fachadas. Assim sendo, esta dissertação tem como principais objetivos:

- Determinar as condicionantes que são necessárias ter em consideração numa reabilitação térmica e que influenciam a escolha de soluções de isolamento térmico a adotar, quando se tratam de fachadas de edifícios antigos;
- Obter uma perceção da realidade atual relativamente à praticabilidade e viabilidade da reabilitação térmica de fachadas no parque edificado antigo em Portugal;
- Elaborar um modelo de apoio ao projetista, constituído por um fluxograma e tabelas de apoio à decisão, com recomendações que têm como objetivo auxiliar a elaboração do projeto de reabilitação e a escolha de soluções de isolamento térmico que tornem a reabilitação térmica adequada e compatível com os constrangimentos envolvidos na sua aplicação em fachadas de edifícios antigos. O modelo proposto deverá ser validado através da análise de informação recolhida em casos de estudo reais e da realização de entrevistas, durante o trabalho de campo.

Para isso, a metodologia deste trabalho consiste nos seguintes passos: elaboração de um estudo bibliográfico da temática, suportado por literatura, documentos académicos, publicações e artigos científicos, manuais dos fabricantes e normas nacionais; e no desenvolvimento de um trabalho de campo com as respetivas considerações finais. Desta forma, a Dissertação estará dividida em cinco capítulos, sendo que nos capítulos seguintes serão desenvolvidas as temáticas que se apresentam de seguida.

No **capítulo 2**, é apresentada uma caracterização das fachadas de edifícios antigos, definindo os elementos que as constituem e expondo a evolução histórica das soluções construtivas das paredes de edifícios.

No **capítulo 3**, é introduzida a regulamentação térmica em edifícios, de forma a determinar as exigências aplicáveis a edifícios novos e antigos. São determinadas quais as anomalias das fachadas associadas a um deficiente isolamento térmico. São apresentadas as diversas soluções de isolamento térmico aplicáveis em fachadas. Para estas soluções, são identificadas as vantagens e condicionantes da sua aplicação em fachadas de edifícios antigos.

No **capítulo 4**, são apresentadas as inspeções realizadas no trabalho de campo, com o objetivo de validar quais as limitações existentes na reabilitação térmica, quais soluções de isolamento que devem ser executadas em fachadas de edifícios antigos e analisar quais as ações de reabilitação térmica que se têm desenvolvido no sector da construção. São realizadas entrevistas a especialistas na área da reabilitação, para obtenção de um parecer relativamente à reabilitação térmica em Portugal, complementando a análise crítica realizada aos casos de estudo inspecionados. É, por fim, elaborado um modelo para apoio ao projetista, relativo às soluções de isolamento térmico a aplicar na reabilitação de fachadas de edifícios antigos, validado através das conclusões retiradas do trabalho de campo.

No **capítulo 5**, apresentam-se as considerações finais, com base no estudo elaborado, e propõem-se trabalhos futuros a desenvolver dentro do âmbito do tema.

2 Tecnologia de fachadas de edifícios antigos

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo tem como objetivo definir as tipologias construtivas de paredes do edificado antigo de Lisboa, determinando quais os materiais que constituem o suporte e os revestimentos e quais as suas soluções construtivas. Ir-se-á também enquadrar a evolução construtiva que se deu ao longo da época em análise. A finalidade deste levantamento é conhecer quais as soluções de fachada existentes, de forma a permitir uma análise consciente das vantagens e desvantagens das diversas soluções de isolamento térmico nestas fachadas. Este capítulo também tem como objetivo procurar compreender a necessidade da reabilitação do parque habitacional português e qual o desenvolvimento a que se tem assistido.

A reabilitação de edifícios antigos tem-se tornado numa ação importante na preservação do património. Atualmente existe uma consciencialização e sensibilização crescente quanto à importância da preservação do património edificado, que não se restringe apenas a edifícios monumentais, mas também a todo o património construído que representa a história e a herança cultural de uma dada região [(Appleton, 2011), (Pinho, 2008)].

“A conservação do património arquitetónico, urbano e rural, assumem hoje em dia relevância crescente em termos históricos, culturais e socio-económicos, de memória coletiva e de identidade de um povo” [Pinho, 2008].

Globalmente existe, em todos os países desenvolvidos, o reconhecimento quanto à importância cultural e económica da reabilitação e conservação do parque habitacional. A reabilitação e conservação do património edificado deve tornar-se numa prioridade no sector da construção, tendo em conta o estado de degradação em que se encontram muitos edifícios em Portugal, especialmente nos centros urbanos [(Brito, *et al.*, 2015), (Freitas, 2012)]. Existe atualmente uma crescente consciencialização quanto à necessidade de reabilitação, sendo que esta tem vindo a ganhar expressão no sector da construção face ao que acontecia nas últimas décadas, em que maioritariamente se recorria à construção nova e se negligenciava a intervenção em edifícios existentes [(Brito, *et al.*, 2015), (Freitas, 2012)].

Contudo, de acordo com os dados publicados pelo INE (Instituto Nacional de Estatística) relativos ao parque habitacional edificado existente, de 1991 até 2011, verifica-se através da Figura 2.1 que, embora tenha existido em Portugal um aumento da reabilitação acompanhado de uma diminuição da construção nova, continuou a registar-se uma predominância significativa da construção nova no sector [INE & LNEC, 2013].

Comparativamente com muitos países da Europa, o investimento português em obras de reabilitação deveria ocupar uma maior fatia do investimento total no sector da construção. Isto porque, embora esteja a crescer o incentivo à reabilitação em Portugal, as políticas de investimento na reabilitação de edifícios antigos demonstram ser insuficientes para alcançar os níveis estabelecidos na Europa [(Aguiar, Appleton, & Cabrita, 2014), (Brito, *et al.*, 2015), (Freitas, 2012)].

De facto, Portugal encontra-se entre os países da Europa Ocidental com maior percentagem de construção nova, no peso total do sector da construção [Freitas, 2012]. Enquanto que em Portugal

apenas 26,1% do investimento no sector da construção se destinou a obras de reabilitação, a média europeia relativa à percentagem investida na reabilitação é de 34,9% do sector da construção, em 2011, tal como mostram os dados representados na Figura 2.2 [INE & LNEC, 2013].

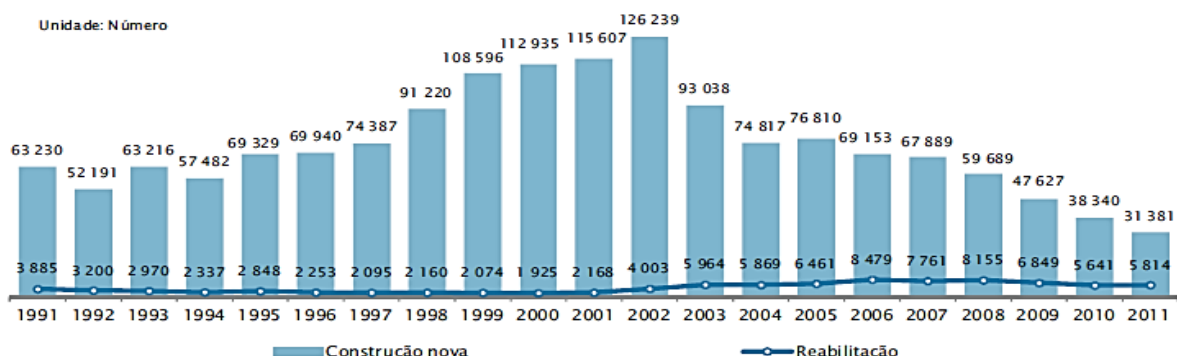


Figura 2.1: Número de fogos concluídos em obras nacionais de construção nova e reabilitação de 1991 a 2011 [INE & LNEC, 2013]

Esta conclusão foi retirada em relação aos países que pertencem à *Euroconstruct* (organização constituída por um grupo europeu de institutos que se dedicam à investigação, análise e previsão económica do Sector da Construção). É portanto necessário, em Portugal, que se verifique um aumento das ações de reabilitação do parque edificado. Com a reabilitação de edifícios antigos, procura-se preservar a arquitetura, as técnicas empregues, as soluções construtivas e os materiais utilizados em épocas passadas e que são uma representação da herança deixada ao longo dos tempos. É possível, constatar-se, em Portugal, as diferenças do património edificado de região para região, em função não só da arquitetura, mas também dos materiais de construção aplicados, que se relacionam com o tipo e quantidade de materiais predominantes em cada região [Pinho, 2008].

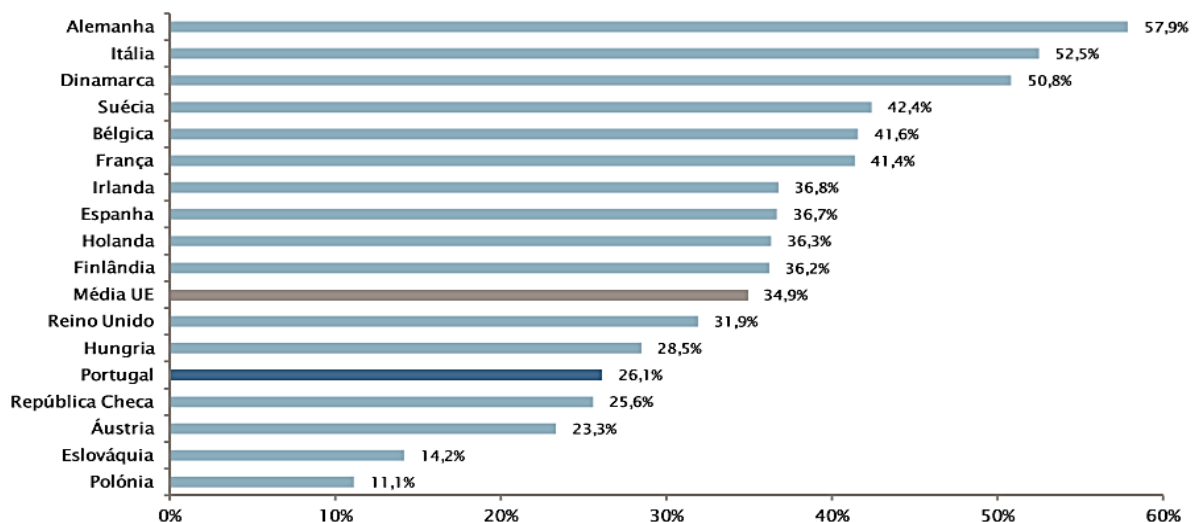


Figura 2.2: Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios em países da União Europeia [INE & LNEC, 2013]

Esta Dissertação incide especialmente na reabilitação do parque edificado da zona de Lisboa, pela proximidade geográfica e por ser o centro urbano com maior densidade de edifícios antigos em Portugal. De acordo com o Censos 2011, 54% dos edifícios antigos (construídos até 1960) apresentam algum tipo de necessidade de reparação, dependendo do seu estado de conservação, tal como é possível observar pela Figura 2.3 [INE, 2012].

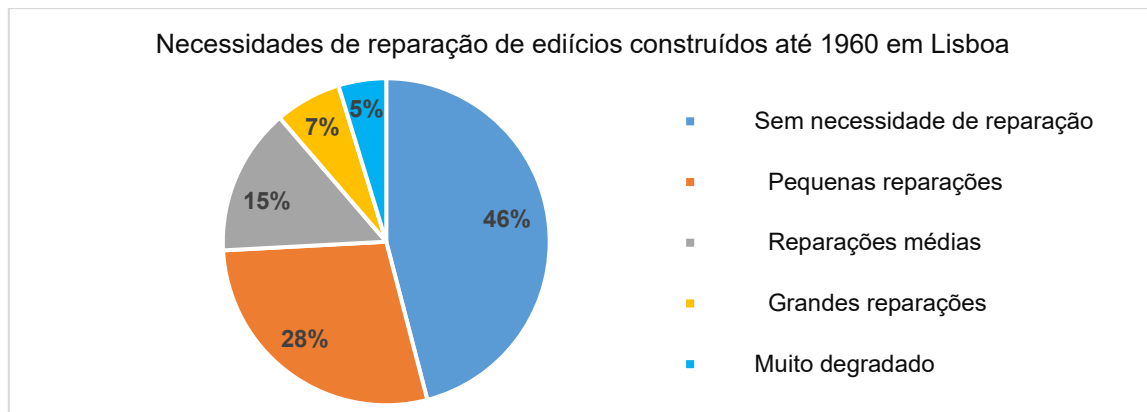


Figura 2.3: Necessidades de reparação de edifícios construídos até 1960 em Lisboa [adaptado a partir dos valores disponibilizados em [INE, 2012]

Na manutenção e reabilitação do património, a intervenção em fachadas é fundamental para garantir um adequado estado de conservação dos edifícios, dado que as fachadas, ao constituírem a envolvente dos edifícios, são um dos elementos protetores do espaço interior e são elementos sujeitos a maior degradação, por exposição a agentes atmosféricos.

A reabilitação de um edifício deve ser encarada numa perspetiva global e deve contribuir para a melhoria de desempenho em todas as dimensões, englobando ações de intervenção estrutural, construtiva, funcional e energética (térmica) [Silva, 2013]. Assim sendo, à necessidade de reabilitação técnica de um edifício antigo, é uma mais valia aproveitar-se para melhorar a resposta do edifício às necessidades de conforto térmico, sendo uma das estratégias a incorporação de isolamento térmico na fachada, e assim integrar todas as valências que devem fazer parte de uma reabilitação. É de mencionar que isto não exclui a necessidade de reabilitação térmica em edifícios em bom estado de conservação.

2.2 Definição de edifício antigo

De forma a determinar as diversas soluções construtivas de fachadas que se podem encontrar em edifícios antigos, é necessário em primeiro lugar definir o que se entende por edifício antigo. Segundo Appleton [2011], é considerado um edifício antigo, todo aquele que foi construído antes do aparecimento do betão armado como principal constituinte estrutural dos edifícios. Esta separação entre edifícios antigos e edifícios correntes, com base na utilização do betão armado, tem como fundamento o facto de que, até à introdução do betão armado na construção, as técnicas construtivas e os materiais utilizados não tiveram grande evolução ao longo dos tempos. Apenas com o aparecimento do betão armado, no século XX, se assistiu a uma mudança significativa nos processos construtivos tradicionais, representando, portanto, uma rotura com o passado e com a herança que foi transmitida ao longo dos tempos [(Appleton, 2011), (Freitas, 2012)]. Tradicionalmente, os materiais utilizados na construção eram sobretudo de origem natural, sujeitos a pequenas transformações, como era o caso da madeira, da pedra, da areia, do barro e da cal, excluindo a utilização de outros materiais como o aço [Appleton, 2011].

A definição de edifício antigo apresentada anteriormente é uma delimitação bastante abrangente, sendo que nesta Dissertação se irá considerar como objeto de estudo os edifícios antigos contruídos no espaço temporal entre 1755 (após o terramoto de Lisboa) a 1960 (correspondente ao fim do período de transição para a construção moderna), situados maioritariamente na zona de Lisboa.

2.3 Paredes de edifícios antigos

2.3.1 Tecnologia de paredes de edifícios antigos

As diferentes soluções construtivas de paredes utilizadas em edifícios antigos podem ser classificadas quanto à natureza dos seus materiais constituintes. Apresenta-se de seguida uma síntese das soluções de paredes de edifícios antigos em função dos materiais utilizados [Pinho, 2008].

- **Paredes de taipa ou de adobe:**

A terra é um material que se utiliza na construção, desde a antiguidade, por isso a taipa e o adobe são materiais associados a construções primitivas. Contudo, ainda existem atualmente bastantes construções em terra (Figura 2.4), sendo que muitas necessitam de ser reabilitadas [Azevedo, 2010]. Em Portugal, a taipa e o adobe foram materiais utilizados como solução construtiva em edifícios rurais constituídos, na sua maioria, por apenas um piso [Pinho, 2008]. Esta solução é mais comum no sul do país [(Azevedo, 2010), (Belém & Teixeira, 1998)]. A utilização da terra como solução para edifícios de habitação caiu em desuso em meados do século XX [(Azevedo, 2010), (Pinho, 2008)]. Procurando aliar a utilização da terra às novas tecnologias, e promovendo a sustentabilidade ecológica desta solução construtiva, existe ainda hoje em dia algum interesse neste material [w1], nomeadamente através de iniciativas de construção de habitação turística e habitação social, no Algarve [Pinho, 2008].

A matéria-prima predominante da taipa e do adobe é a argila. Nalguns casos, adicionavam-se fragmentos de pedra, de forma a aumentar a resistência mecânica. Noutras situações, utilizava-se um esqueleto de madeira no interior da parede, de maneira a reforçá-la (Figura 2.5) [(Belém & Teixeira, 1998), (Pinho, 2008)]. A utilização de taipa ou adobe na construção de paredes é uma solução interessante do ponto de vista térmico e acústico [Belém & Teixeira, 1998]. Tanto no caso da taipa, como no caso do adobe, estes não podem assentar diretamente no solo, sendo assentes em alvenaria de pedra ou de tijolo [Pinho, 2008].



Figura 2.4: Paredes de taipa ou adobe [w2]



Figura 2.5: Paredes de taipa armada com madeira [w1]

Este tipo de paredes não será posteriormente desenvolvida, por não se enquadrar no âmbito deste estudo (que incide em centros urbanos, como Lisboa), uma vez que é uma solução mais utilizada em meios rurais.

- **Alvenaria de Pedra:**

As construções de alvenaria de pedra representam uma herança arquitetónica que perdura até aos dias de hoje, em razoável estado de conservação, graças à sua capacidade de conservação. As paredes de pedra podem dividir-se em função da regularidade das faces das pedras [(Belém & Teixeira, 1998), (Pinho, 2008)]:

- **Alvenaria de pedra aparelhada:** esta pode ser totalmente aparelhada, formada por blocos de pedra com superfície praticamente plana e com dimensões fixas, e pode ser ou não argamassada. Este tipo de parede é definido como **parede de cantaria** (Figura 2.6). Estas paredes representam

um ornamento muito dispendioso, estando portanto mais associadas a edifícios monumentais. Quando a alvenaria é aparelhada apenas numa face e é argamassada diz-se ser uma **parede de alvenaria com aparelho rústico ou com aparelho regular** (Figura 2.7);

- **Alvenaria de pedra não aparelhada:** esta pode ser argamassada, que é o caso mais vulgar, e portanto denominada por **alvenaria de pedra ordinária** (Figura 2.8), podendo ser formada por um pano simples, ou por dois panos de pedra, separados por um núcleo de enchimento à base de fragmentos de pedra e argamassa de cal ou barro, podendo existir ligações pontuais entre os panos. Quando não é utilizada argamassa, trata-se de uma **parede de alvenaria de pedra seca** (Figura 2.9).

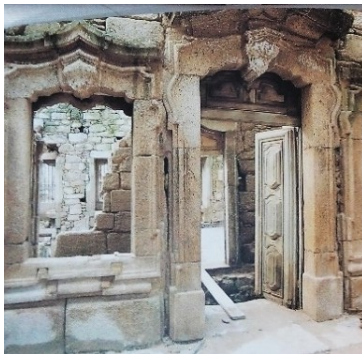


Figura 2.6: Alvenaria de Cantaria [Belém & Teixeira, 1998]



Figura 2.7: Alvenaria de pedra com aparelho rústico [Pinho, 2008]



Figura 2.8: Alvenaria de pedra ordinária [Pinho, 2008]

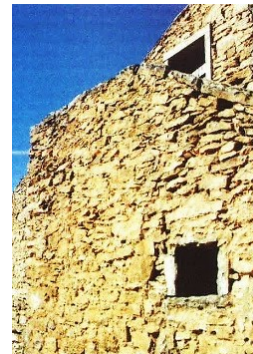


Figura 2.9: Alvenaria de pedra seca [Appleton, 2011]

- **Alvenaria de Tijolo:**

A utilização do tijolo surgiu com o desenvolvimento dos fornos, capazes de conferir uma maior temperatura de cozedura à argila, comparativamente com a cozedura ao sol dos blocos de adobe [Pinho, 2008]. As soluções de alvenaria de tijolo cerâmico podem ser em tijolo maciço ou em tijolo furado, assentes com argamassa de assentamento.

A espessura da alvenaria de tijolo pode variar consoante a solução utilizada, sendo que esta variação é conseguida através da disposição e quantidade de tijolos. Existem as seguintes tipologias ordenadas da menor para a maior dimensão da espessura de alvenaria [(Belém & Teixeira, 1998), (Pinho, 2008)]:

- **Pano de tijolo ao alto** (Figura 2.10): a espessura da alvenaria corresponde à altura de um tijolo. É utilizado em tabiques ou paredes interiores de pequena espessura, como também em construções provisórias;
- **Pano ou parede de meia vez** (Figura 2.11): a espessura da alvenaria corresponde à largura de um tijolo. É utilizado para tabiques e paredes interiores, chaminés ou panos das janelas de peito;
- **Pano ou parede de uma vez** (Figura 2.12): a espessura da alvenaria corresponde ao comprimento de um tijolo. É maioritariamente utilizado em edifícios em gaveto, nas paredes com pequeno raio de curvatura;
- **Parede de uma vez e meia** (Figura 2.13): a espessura da alvenaria corresponde à combinação do comprimento com a largura de um tijolo;
- **Parede de duas vezes:** a espessura da alvenaria corresponde a duas vezes o comprimento de um tijolo;

- **Parede de duas vezes e meia:** a espessura da alvenaria corresponde à combinação de duas vezes o comprimento com a largura de um tijolo.

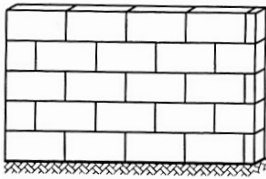


Figura 2.10: Pano de tijolo ao alto [Pinho, 2008]

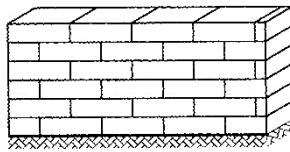


Figura 2.11: Pano ou parede de meia vez [Pinho, 2008]

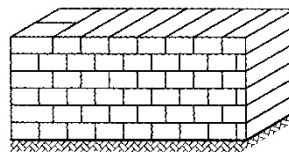


Figura 2.12: Pano ou parede de uma vez [Pinho, 2008]

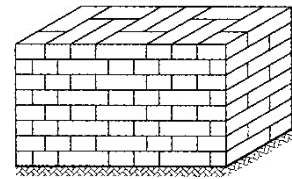


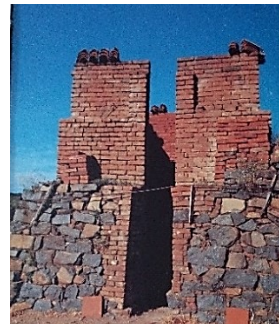
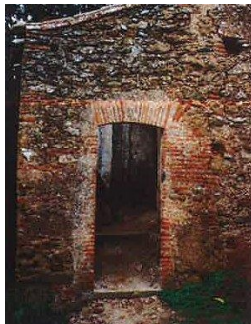
Figura 2.13: Parede de uma vez e meia [Pinho, 2008]

Enquanto que as duas primeiras soluções destinam-se sobretudo à execução de paredes interiores, as restantes são maioritariamente utilizadas para paredes exteriores ou interiores resistentes, visto que através da sua espessura, possuem uma maior estabilidade.

- **Paredes Mistas:**

As paredes mistas são constituídas por mais do que um material, existindo as seguintes soluções [(Azevedo, 2010), (Pinho, 2008)]:

- Alvenaria de pedra e cantaria;
- Alvenaria de pedra e tijolo (Figuras 2.14 e 2.15);
- Alvenaria de pedra com estrutura de madeira.



Figuras 2.14 e 2.15: Alvenaria de Pedra e Tijolo [Appleton, 2011] e [Belém & Teixeira, 1998]

2.3.2 Tipos de revestimentos

Desde a antiguidade, recorreu-se a diversos materiais para a execução dos revestimentos de paredes. Segundo Appleton [2011] os materiais mais frequentemente utilizados nos revestimentos possuíam uma relação de compatibilidade com os materiais utilizados nas soluções do suporte. Inicialmente, os ligantes mais utilizados em argamassas eram materiais naturais, como é o caso da terra (argila), do gesso e da cal aérea. A utilização da terra e do gesso, para argamassas de revestimento exterior, caiu em desuso, visto que se tratam de materiais solúveis, degradando-se na presença de água [Veiga, 2009]. Desta maneira, os revestimentos exteriores que frequentemente se encontram em edifícios antigos, principalmente em Portugal, são formados por argamassas à base de cal aérea e areia, sendo que em certas regiões do país também se encontram argamassas de areia e saibro [(Appleton, 2011), (Pinho, 2008)]. De acordo com Veiga [2009], a cal aérea é o ligante mais utilizado em argamassas antigas, na Europa.

Na altura da construção destes edifícios antigos já existiam argamassas com características hidráulicas, que eram conseguidas através da adição de pozolanas, que permitiam o endurecimento da argamassa,

mesmo em ambientes húmidos, e melhoravam a sua durabilidade e resistência [(Appleton, 2011), (Pinho, 2008), (Veiga, 2009)]. A partir dos séculos XVIII e XX, começou a expandir-se o uso da cal hidráulica, contudo a cal aérea continuou a ser a solução mais corrente [Veiga, 2009]. O cimento *Portland* surgiu no século XIX, mas apenas a partir de meados do século XX, generalizou-se a sua adoção, tendo-se perdido a tradição do uso de revestimentos de cal aérea [(Appleton, 2011), (Pinho, 2008), (Veiga, 2009)].

O cimento *Portland* tornou-se portanto na argamassa preferencial da construção atual graças às suas características: elevada resistência mecânica, reduzido tempo de cura e elevada durabilidade [(Faria, 2007), (Margalha, 2008)]. Contudo, verificou-se que a utilização do cimento como argamassa de substituição em obras de reabilitação de edifícios antigos conduzia frequentemente ao aparecimento de anomalias, como eflorescências e perda de coesão, e à conseqüente aceleração do estado de degradação da alvenaria. A inadequabilidade de argamassas fortes em cimento nestes edifícios deve-se à incompatibilidade com o suporte, pois trata-se de um material de rigidez excessiva face aos movimentos do suporte, o que conduz à concentração de tensões e conseqüente fendilhação do revestimento; possui uma reduzida permeabilidade ao vapor de água, que propicia a ocorrência de condensações internas na interface entre o suporte permeável e o cimento; e tem na sua composição teores de álcalis que originam sais solúveis, que podem migrar e cristalizar no suporte, potencializando a sua degradação [(Faria, 2007), (Margalha, 2008), (Veiga, 2009)].

Desta maneira, houve, na reabilitação, a necessidade de reproduzir argamassas com características semelhantes às tradicionais, por serem compatíveis do ponto de vista físico, químico e mecânico com o suporte e por preservarem o aspeto estético tradicional dos edifícios antigos (textura e características cromáticas dos revestimentos). Esta consciencialização sobre a importância de reproduzir os materiais e as técnicas tradicionais tem exponenciado o recurso à argamassa de cal aérea na reabilitação [Aguiar, *et al.*, 2004]. A argamassa de cal aérea é um material compatível com as paredes de edifícios antigos por se tratar da argamassa com maior deformabilidade, menor retração, maior permeabilidade ao vapor de água e com menor teor de sais [(Faria, 2007), (Margalha, 2008)]. Embora a argamassa de cal aérea apresente menor durabilidade e resistência que o cimento, esta conservou-se, em muitos edifícios, até aos dias de hoje [Veiga, 2009].

Com a crescente preocupação na reabilitação relativa à utilização de materiais que sejam simultaneamente compatíveis com as soluções existentes e que possuam características mais eficientes, muitos têm sido os estudos realizados sobre a composição da cal aérea e sobre a inovação da sua tecnologia de execução e aplicação, procurando otimizar o seu desempenho. Tem sido também analisada a eficiência de argamassas bastardas de cimento e cal aérea, argamassas de cal hidráulica e argamassas de cal aérea com adições pozolânicas, na procura de reproduzir argamassas com requisitos de compatibilidade e durabilidade [(Faria, 2007), (Veiga, 2009)], no entanto, segundo Faria [2007], a utilização da argamassa de cal hidráulica em Portugal foi pouco significativa nas últimas décadas.

O **revestimento de argamassa de cal aérea** é constituído, geralmente, por três camadas: emboço, crespido e reboco (do interior para o exterior), apresentando no total uma espessura bastante superior face a revestimentos de edifícios correntes, ultrapassando por vezes os 5 cm [Pinho, 2008]. O emboço é a camada que tem de garantir a aderência do revestimento ao suporte e portanto é a argamassa mais rica

em ligante e com granulometria mais grosseira de forma a ser mais forte. As camadas seguintes têm como função a regularização e planeza da superfície, de forma a servir de base ao acabamento. Para isso, procede-se a uma redução sucessiva da quantidade de ligante no seu traço e a uma diminuição progressiva da sua granulometria, tratando-se portanto de argamassas mais fracas, com maior deformabilidade e porosidade [(Aguiar, *et al.*, 2004), (Pinho, 2008), (Veiga, 2009)]. Geralmente, utilizavam-se como revestimentos interiores estuques com argamassas de cal e gesso ou apenas gesso [Appleton, 2011].

Os **acabamentos exteriores** utilizados em edifícios antigos são: caiação, guarnecimento ou barramento, e azulejo [Pinho, 2008]. A pintura com cal ou caiação é o acabamento mais vulgar em edifícios antigos e trata-se de um *leite de cal* (mistura de cal viva, em pedra ou em pó, com água), ao qual por vezes se adicionavam pigmentos e corantes naturais, e/ou também aditivos destinados a fixar a cal (gorduras naturais e óleos) com o intuito de aumentar a sua durabilidade [(Aguiar, Appleton, & Cabrita, 2014), (Appleton, 2011), (Gonçalves & Veiga, 1997)]. A Figura 2.16 é exemplo deste acabamento. Era também usual recorrer-se ao guarnecimento com pasta de cal com agregados finos (areia fina e pó de pedra) onde, por vezes, eram utilizados pigmentos, como o pó de tijolo [(Gonçalves & Veiga, 1997), (Pinho, 2008)]. O barramento oferece uma maior proteção ao suporte, por possuir uma maior espessura, face à caiação [Gonçalves & Veiga, 1997].

O azulejo é o acabamento que, para além da função decorativa, melhor proteção oferece, funcionando como “camada de desgaste” das paredes, graças à resistência mecânica e química da sua superfície vidrada. Segundo Pinho [2008], quando se recorria ao acabamento em azulejo, o revestimento não tinha emboço nem reboco. Ao contrário dos restantes acabamentos que são aplicados sobre a argamassa de reboco, no caso do azulejo executava-se apenas uma argamassa de assentamento entre o suporte e o azulejo. A Figura 2.17 é exemplo deste acabamento.



Figura 2.16: Acabamento com tinta de cal [Appleton, 2011]



Figura 2.17: Revestimento em azulejo (Edifício do Elevador do Castelo na Baixa) [w3]

Como **acabamentos interiores**, é possível encontrar, em edifícios antigos, desde caiações, a estuque liso ou decorado, à escaiola (estuque que simula um acabamento em mármore), a tintas à base de óleo de linhaça, a fingidos (que imitam o aspeto de outros materiais) e a “frescos” [(Aguiar, *et al.*, 2004), (Aguiar, Appleton, & Cabrita, 2014), (Appleton, 2011)].

2.4 Evolução das soluções de paredes de edifícios antigos

No âmbito da evolução das construções ao longo dos anos, serão apenas tratadas nesta Dissertação as fachadas de edifícios construídos na cidade de Lisboa após o terramoto de 1755 e anteriores a 1960, sendo que os casos de estudo abordados no trabalho de campo incidiram maioritariamente neste espaço

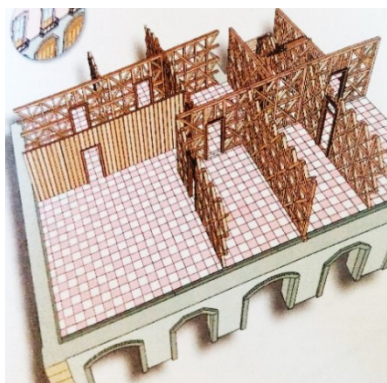
temporal. Para se compreender as soluções construtivas que podem ser encontradas nas paredes destes edifícios, é necessário ter um enquadramento do desenvolvimento histórico ao nível da construção sendo que serão de seguida apresentadas as soluções construtivas do edificado na zona de Lisboa, dado que é onde se encontra a construção que melhor caracteriza as soluções construtivas tradicionais desenvolvidas na época em análise, e da qual é possível extrapolar as soluções existentes para as restantes regiões do país. Assim sendo, é possível dividir, em função das características estruturais e tecnologias construtivas, a evolução da construção em Lisboa neste período nas seguintes fases [w4]:

- Construção Pombalina (1755-1880);
- Construção Gaioleira (1880-1930);
- Construção Mista (1930-1960).

Independentemente da época de construção, os edifícios antigos, de uma forma geral, são constituídos por paredes exteriores resistentes, paredes interiores resistentes (frontais) e paredes interiores divisórias ou de compartimentação de espessura relativamente inferior (tabiques). As paredes exteriores, denominadas paredes-mestras, são paredes de alvenaria, caracterizadas por terem uma espessura considerável, que varia normalmente entre os 0,50 m a 0,90 m. São portanto paredes que, através do seu peso e espessura, garantem a mobilização de resistência mecânica e dão estabilidade ao edifício. Além disso, a elevada espessura destas paredes garante uma maior proteção do espaço interior face aos agentes atmosféricos (vento e chuva), que tendem a penetrar na alvenaria devido à sua porosidade, e face às variações de temperatura entre o exterior e o ambiente interior [(Appleton, 2011), (Pinho, 2008)].

A **construção Pombalina** (Figuras 2.18) surge após o terramoto de 1 de Novembro de 1755 da necessidade de reconstrução da cidade de Lisboa, e como uma iniciativa de prevenção, adotando soluções construtivas que prevenissem a ocorrência de estragos semelhantes aos sofridos nessa catástrofe [(Pinho, 2008), (w4)]. A construção Pombalina foi criada para o Plano de reconstrução da Baixa, sendo que posteriormente se alastrou para noroeste da cidade [w4]. A preocupação quanto ao comportamento anti-sísmico dos edifícios levou à utilização da gaiola pombalina para travamento face a ações horizontais; à limitação em altura dos edifícios, que apenas poderiam ter no máximo quatro pisos; à utilização de materiais de boa qualidade e à uniformidade dos edifícios projetados. As fachadas (paredes mestras) são constituídas por alvenaria de pedra argamassada, com espessura elevada (0,80-0,90 m) e constante em altura. As paredes interiores no R/C são em arcos de pedra e abóbodas de tijolo. Nos pisos elevados, as paredes interiores resistentes (frontais) são paredes mistas, formadas por alvenaria de pedra ou tijolo a preencher os espaços entre os elementos da gaiola de madeira (Figura 2.19) e as paredes interiores divisórias (tabiques) têm uma espessura relativamente inferior e são constituídas por madeira (Figura 2.20) [(Pinho, 2008), (w4)].

Com o aparecimento da **construção gaioleira**, perdeu-se o rigor construtivo e usaram-se materiais de menor qualidade. Houve um aumento do número de pisos (Figura 2.21) e uma redução da espessura das paredes exteriores em altura (Figura 2.22) [(Appleton, 2011), (Pinho, 2008), (w4)]. As paredes exteriores continuaram a ser de alvenaria de pedra, mas com uma espessura que diminuiu em altura de 0,90 m para 0,50 m, à exceção das empenas e saguões, que por vezes são de alvenaria de tijolo maciço, com espessuras compreendidas entre 0,15 m a 0,30 m dispostas a meia ou uma vez [w4].



Figuras 2.18: Estrutura de um andar de um edifício pombalino [Appleton, 2011]



Figura 2.19: Parede frontal com a cruz de Santo André [Pinho, 2008]

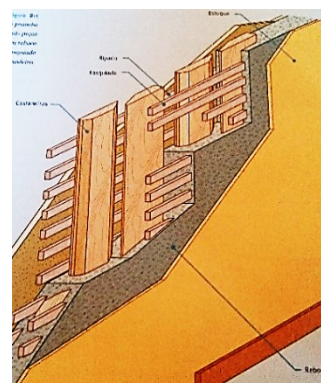


Figura 2.20: Tabique de prancha ao alto [Appleton, 2011]

Posteriormente surgiu a **construção mista**. Esta representa um período de transição das anteriores tipologias para a construção moderna, não sendo exatamente definido o seu limite temporal. Segundo alguns autores, como [Branco, *et al.*, 2012] e [Expresso, 2016], a construção mista representa o edificado construído entre 1940 a 1960 mas, segundo outros autores como [Brito, *et al.*, 2015], [Guimarães, 2011], [Pinho, 2008] e [w4], a construção mista surgiu em 1930 com o início da utilização do betão armado em determinados elementos da estrutura, como as lajes maciças que vieram substituir os pavimentos de madeira. Independentemente das divergências quanto ao início da construção mista, é unânime de que esta se trata de uma tipologia construtiva que combina elementos de construção tradicionais com elementos de betão armado. Nesta Dissertação considerou-se que a construção mista corresponde ao período construtivo entre 1930 e 1960.



Figura 2.21: Alteração da altura de um edifício [Pinho, 2008]

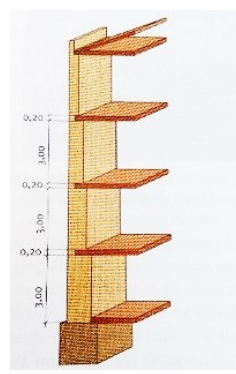


Figura 2.22: Transição da espessura de paredes por piso, em edifícios galeiros [Appleton, 2011]

Com o aparecimento da construção mista, a tipologia das fachadas sofreu alterações, não só do ponto de vista da utilização dos materiais, em que as paredes deixaram de ser elementos homogêneos e passaram, a partir de 1950, a ser constituídas por mais do que um material, como também pela sua estrutura que passou a ser constituída por dois panos, espaçados por uma caixa-de-ar, surgindo assim a implementação de paredes duplas. Desta forma, as paredes resistentes homogêneas de alvenaria de pedra ou de alvenaria de tijolo maciço deram lugar a alvenarias heterogêneas formadas por um pano exterior de alvenaria de pedra e um pano interior de alvenaria de tijolo. A caixa-de-ar permitiu um melhor desempenho térmico e acústico das fachadas [Pinto, 2012]. Estas paredes continuam a possuir, no seu todo, uma espessura considerável, sendo no entanto menos pesadas.

Em 1960 assistiu-se a uma evolução das paredes mistas de alvenaria de pedra e de tijolo para paredes duplas de tijolo furado, com o pano exterior de maior espessura [Pinto, 2012]. A partir de 1970, com a

implementação generalizada do betão armado, surgem os edifícios correntes, com paredes de alvenaria de tijolo furado, simples ou duplas, com menor espessura e maior leveza, tendo apenas um papel de compartimentação, contrariamente à função estrutural das paredes exteriores de edifícios antigos. A evolução das paredes de 1940 a 1970 encontra-se ilustrada na Figura 2.23.

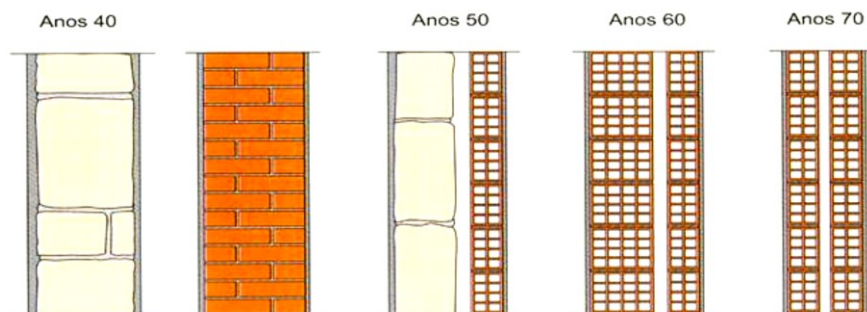


Figura 2.23: Evolução das fachadas até à construção corrente [adaptado de [Abrantes, *et al.*, 2000]]

Independentemente da época construtiva, as soluções das fachadas não incluíam materiais com características de isolamento térmico. Como se irá discutir no capítulo seguinte, esta preocupação em utilizar isolamento térmico na envolvente dos edifícios é relativamente recente. O conforto térmico que estas fachadas conseguiam proporcionar era conseguido sobretudo à custa da sua espessura. Este aspeto também será abordado no capítulo seguinte.

2.5 Síntese do capítulo

Dado que este estudo incide em edifícios antigos (construídos entre 1755 a 1960), foram analisadas neste capítulo as soluções construtivas das fachadas que constituem estes edifícios e que se distinguem das fachadas existentes em edifícios correntes com estrutura porticada de betão armado. É necessário na reabilitação de edifícios antigos ter em consideração a sua relevância histórica ou arquitetónica e por conseguinte a preservação das suas características originais. A construção do edificado antigo recorria a materiais como adobe, taipa, pedra e tijolo. As paredes poderiam ser elementos homogéneos ou mistos. Os revestimentos tradicionais eram à base de cal aérea, contrariamente aos revestimentos correntes para os quais se utiliza cimento *Portland*. A utilização do cimento como argamassa de substituição na reabilitação suscita várias anomalias devido à falta de compatibilidade física, mecânica e química entre materiais. Os edifícios antigos sofreram várias alterações desde a antiguidade, sendo que em Lisboa, de 1755 a 1960, as tipologias construtivas podem-se agrupar nas seguintes categorias: Construção Pombalina, Gaioleira e Mista. Evidencia-se, nestas épocas, a utilização da alvenaria de pedra com grande espessura (0,50 m a 0,90 m), sendo que nas últimas décadas deste período se transitou para a utilização de paredes duplas resistentes de pedra e/ou tijolo. Enquanto que as fachadas de edifícios correntes desempenham apenas um papel de compartimentação e proteção do espaço interior face aos agentes climáticos exteriores, as fachadas de edifícios antigos desempenhavam também papel resistente, assegurando a estabilidade do edifício.

A preservação do edificado antigo deve ser incentivada, procurando-se não só garantir um bom estado de conservação, mas também procurando adequar os edifícios às necessidades e exigências do utilizador da atualidade, incluindo assim a garantia de conforto térmico do espaço interior dos edifícios, conforme irá ser abordado no capítulo seguinte.

3 Reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos

3.1 Considerações iniciais

Este capítulo tem vários objetivos específicos, entre eles a análise dos benefícios de um projeto de reabilitação térmica em edifícios antigos e a análise das preocupações atuais quanto à eficiência energética na construção. Tem também como objetivo contextualizar a regulamentação térmica em vigor e a seu efeito na reabilitação térmica de edifícios antigos. E por fim, pretende-se com este capítulo determinar quais as soluções possíveis de isolamento térmico em fachadas, analisando as vantagens e desvantagens que advém da sua implementação em edifícios antigos.

As exigências da sociedade moderna, quanto à sua qualidade de vida e quanto à garantia de condições de conforto, obrigam a uma enorme procura e dispêndio de fontes de energia. Esta é uma tendência que, segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), tem vindo a aumentar exponencialmente [Cho, *et al.*, 2016]. Tal como em muitos países, Portugal utiliza os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) como principais fontes de energia elétrica, contribuindo para as emissões de gases poluentes, tais como CO₂ [Brás, Faustinho, & Rocha, 2015]. O sector da construção é responsável por uma grande parcela deste aumento. De facto na Europa, o sector da construção despende cerca de 40% do consumo energético total e emite aproximadamente 30% de gases poluentes, potenciadores do efeito de estufa [(Cho, *et al.*, 2016), (w5)].

Com o aumento do consumo energético e conseqüente emissão de gases de efeito de estufa, responsáveis pelas alterações climáticas e pelo aquecimento global, surgiu a crescente consciencialização mundial quanto à necessidade da sustentabilidade e da eficiência energética, na procura de preservar o meio ambiente. Neste sentido, a União Europeia desenvolveu o Protocolo de Quioto, no qual é imposto um limite máximo das emissões de CO₂ e outros gases poluentes para a atmosfera. Cada estado membro, que assumiu o compromisso, incluindo Portugal, é obrigado a criar as suas políticas e medidas energéticas, que permitam a redução dos gases nefastos para o ambiente, em todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente nos edifícios, de forma a cumprir as metas acordadas [Brás, Faustinho, & Rocha, 2015]. Desta maneira, a melhoria do desempenho energético dos edifícios tornou-se num dos desafios da atualidade da construção e deve ser encarada como uma necessidade não só do ponto de vista da construção de novos edifícios, mas também da reabilitação de edifícios existentes. Sendo que parte da energia consumida nos edifícios é utilizada para climatização do ambiente interior, deve-se procurar reduzir a utilização de equipamentos de climatização (de aquecimento e de arrefecimento), tais como os aquecedores elétricos ou a gás e o ar condicionado, sem no entanto comprometer os níveis de conforto térmico desejados.

Para isso, existem soluções solares passivas, que se tratam de soluções não mecânicas e que permitem, por exemplo, tirar proveito da captação da radiação solar pelos vãos envidraçados, através da sua orientação favorável à posição solar, na estação de aquecimento. Permitem também, por exemplo, a obstrução da radiação, através de sombreamentos dos vãos envidraçados, na estação de arrefecimento. Contudo estas soluções dependem das condições climáticas, o que nem sempre

conseguem garantir as exigências de conforto do ambiente interior. Assim sendo, recorre-se muitas vezes aos sistemas ativos, que utilizam fontes de energia renováveis, tais como solar, eólica, biomassa, geotérmica e hídrica [Silva, 2012].

As fachadas são elementos diretamente expostos às condições climatéricas e é através delas que se estabelece a maioria das trocas de calor com o exterior. O comportamento térmico da envolvente opaca exterior é um fator bastante influente na temperatura a que se encontra o espaço interior dos edifícios, tanto no Inverno como no Verão. Assim sendo, a incorporação de isolamento térmico nas fachadas é uma solução vantajosa para a eficiência energética e sustentabilidade dos edifícios, uma vez que é possível garantir as condições de conforto térmico, sem necessidade de consumo de energia. De acordo com Silva [2013], a implementação de um projeto de reabilitação térmica, no qual se recorre nomeadamente à aplicação de isolamento térmico, permite minimizar possivelmente até 40% o recurso a equipamentos de climatização utilizados para colmatar as necessidades energéticas.

O comportamento térmico das fachadas deve ser analisado não só na conceção de edifícios novos, mas também em edifícios antigos. A reabilitação térmica de fachadas vem assim intervir ao nível dos consumos e custos de energia em edifícios existentes, dando resposta às necessidades de conforto térmico de uma forma sustentável, através da criação de soluções de isolamento térmico na envolvente, promovendo, desta maneira, a sustentabilidade energética e aumentando a durabilidade dos elementos que constituem a fachada e que muitas vezes estão sujeitos a anomalias por deficiente isolamento térmico, como será analisado posteriormente na Dissertação.

3.2 Características do comportamento térmico de fachadas de edifícios antigos

A envolvente de edifícios antigos, incluído a sua fachada, **não possui qualquer tipo de isolamento térmico**, dado que na altura da sua construção não existiam preocupações ao nível do estabelecimento de requisitos térmicos da construção. Tal como já foi mencionado, a eficiência energética e por conseguinte a conceção de uma envolvente que reduza os gastos em climatização são conceitos relativamente recentes.

Contudo, as fachadas de edifícios antigos **possuem uma elevada inércia térmica**. A inércia térmica é a capacidade que um elemento tem de absorver calor e só libertá-lo posteriormente. A inércia térmica é tanto maior quanto maior for a massa (pois quanto maior a densidade, maior a capacidade de acumulação de energia calorífica), quanto maior for o calor específico e quanto menor for a condutibilidade térmica do elemento [Braga, *et al.*, 2009]. Desta maneira, as fachadas antigas, normalmente de alvenaria de pedra, são elementos densos, maciços e de elevada espessura e portanto são dotadas de uma inércia térmica forte [Berardinis, *et al.*, 2014]. Este é um fenómeno relevante em edifícios localizados em climas mediterrânicos, como Portugal, cuja amplitude térmica diária é significativa, pois a onda do fluxo de calor que atravessa estes elementos é amortecida e temporalmente desfasada (6 a 8 horas).

Assim, consegue-se garantir uma temperatura do espaço interior com oscilações inferiores às existentes no exterior, tal como se pode observar na Figura 3.1 [Braga, *et al.*, 2009].

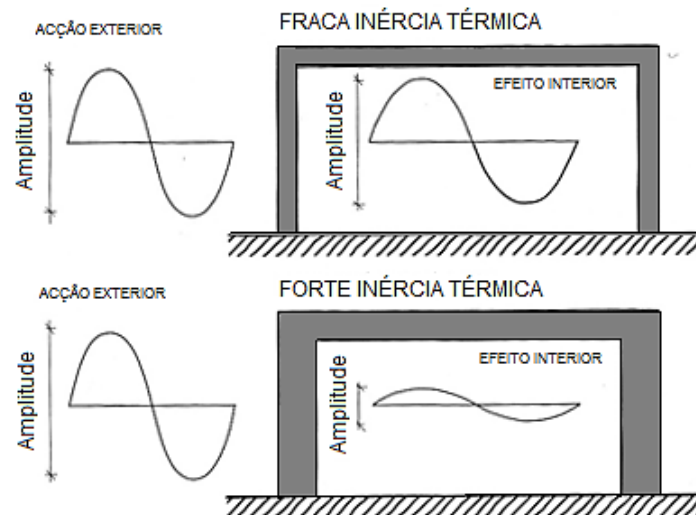


Figura 3.1: Efeito da inércia térmica nas oscilações térmicas do ar interior [adaptado de [Braga, et al., 2009]]

Segundo Appleton [2011], através da inércia térmica das fachadas, os edifícios antigos conseguem desempenhar um papel satisfatório no estabelecimento de condições de conforto, no Verão. Durante o dia, os ganhos de temperatura são absorvidos pelas paredes exteriores, impedindo que exista um excesso de calor no espaço interior e reduzindo assim as necessidades de arrefecimento. Os ganhos de calor absorvidos são posteriormente libertados à noite. Caso se verifique à noite uma temperatura superior à desejável, é possível recorrer-se à ventilação natural, para arrefecimento, uma vez que nesse período a temperatura do ar exterior é normalmente mais baixa [Braga, *et al.*, 2009]. Tradicionalmente utiliza-se em edifícios antigos, sobretudo em zonas mais quentes, acabamentos em branco, de forma a permitir a reflexão da luz [Appleton, 2011]. Desta forma, as fachadas, no Verão, funcionam como um meio passivo para reduzir os gastos em arrefecimento do ar interior.

No Inverno, a inércia térmica forte das fachadas permite também absorver calor durante o dia, para libertá-lo quando é mais necessário (noite). Contudo, e de acordo com Appleton [2011], a envolvente dos edifícios antigos não consegue assegurar os requisitos de conforto térmico e garantir a temperatura interior de conforto de 18°C, na estação de aquecimento, sem que se recorra a um reforço do isolamento térmico. Isto porque, embora a fachada absorva o calor incidente, a temperatura exterior no inverno é muito baixa comparativamente com a temperatura interior desejada. Muitas vezes, estes edifícios disponham de lareiras ou aparelhos de queima de madeira.

De acordo também com Berardinis, *et al.* [2014], as paredes de alvenaria de pedra de grande massa, através da sua forte inércia térmica, conservam um ambiente interior seco e fresco, durante o Verão, mas apresentam um mau comportamento térmico, no Inverno, devido à falta de isolamento térmico.

Segundo Braga, *et al.* [2009], no caso de uma parede de cantaria com uma espessura de aproximadamente 0,40 m, o seu coeficiente de transmissão térmica (U) ronda os 3 [W/m².°C], não cumprindo a regulamentação térmica atual. E mesmo noutras construções tradicionais com espessuras até 1 m, os requisitos térmicos não são assegurados, sem reforço de isolamento térmico nas fachadas [Braga, *et al.*, 2009].

As paredes duplas de edifícios antigos (construídas entre 1950-1960), para além de terem normalmente uma espessura superior às paredes duplas atuais, possuem uma caixa-de-ar, o que aumenta a resistência

térmica e acústica da parede, sendo portanto paredes termicamente mais eficientes. Verifica-se contudo, que estas também necessitam de materiais de reforço de isolamento térmico, de forma a cumprir as exigências térmicas atuais.

Logo, embora a inércia térmica contribua para um melhor comportamento térmico das fachadas, esta não é suficiente e devem ser incorporados materiais de isolamento térmico para reduzir as trocas de calor com o exterior e evitar sobretudo as situações críticas de Inverno, sem comprometer a sua resposta no Verão [Berardinis, *et al.*, 2014]. A inércia térmica é calculada segundo o descrito no Despacho n.º 15793-K/2013 [A.R., 2013a].

3.3 Exigências térmicas regulamentares aplicáveis a edifícios antigos

3.3.1 Evolução do quadro legal

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro [A.R., 1990] foi o primeiro documento legal a ser implementado em Portugal, com o intuito de garantir as condições de conforto térmico em edifícios. O RCCTE visava não só o cumprimento das necessidades de conforto térmico, sem o dispêndio excessivo de energia, como também procurava mitigar a ocorrência de anomalias derivadas de condensações superficiais e internas, que estão associadas a um deficiente isolamento térmico da envolvente [Maria, 2007].

Nos anos seguintes assistiu-se a um aumento da utilização de meios ativos de controlo do conforto térmico e de ventilação (equipamentos de climatização de Inverno e Verão), inclusive no sector residencial, traduzindo-se num crescimento dos consumos energéticos com um consequente aumento da emissão de gases poluentes. Numa iniciativa internacional, de melhorar a qualidade dos edifícios e de reduzir a emissão de gases poluentes, o Parlamento Europeu e do Conselho implementou a Diretiva n.º 2002/91/CE, de 16 de Dezembro, que exigia novos requisitos para melhorar o comportamento térmico dos edifícios, permitindo uma redução do consumo de energia. Esta diretiva foi transposta para o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril [A.R., 2006a], revogando o Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro [A.R., 1990] e levando à reformulação do RCCTE [Maria, 2007].

Atualmente está em vigor a Diretiva n.º 2010/31/EU, de 19 de Maio, que surgiu como reforma da Diretiva n.º 2002/91/CE, de 16 de Dezembro, estipulando as novas metas acordadas pelos Estados Membros para 2020, que passam pela conceção de edifícios novos com necessidades quase nulas de energia [(Brás, *et al.*, 2015), (A.R., 2013b)]. A nova diretiva foi transposta para o direito nacional, através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto [A.R., 2013b], que engloba o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [A.R., 2013b].

A regulamentação térmica nacional é portanto relativamente recente, não tendo sido aplicadas quaisquer exigências térmicas regulamentares na conceção dos edifícios antigos. Segundo o estatuto atual, apenas estão sujeitos ao cumprimento do regulamento térmico, edifícios novos ou edifícios existentes sujeitos a grande intervenção, excluindo os monumentos, os edifícios individualmente classificados ou em vias de classificação e aqueles cujo valor arquitetónico ou histórico seja

reconhecido pela entidade licenciadora ou por outra entidade competente [A.R., 2013b]. Por grande intervenção de edifícios existentes entende-se toda a intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos preexistentes que tenha associado um custo superior a 25% do valor da totalidade do edifício, com a exclusão do valor do terreno de implantação. Também se inclui nesta categoria as intervenções de ampliação, cujo custo associado ultrapasse em 25% o valor do edifício existente determinado através da portaria a que se refere o artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 329-A/2000, de 22 de Dezembro [A.R., 2000], de acordo com A.R. [2013b] e A.R. [2015]. Na Figura 3.2 é apresentada de forma sintetizada a evolução legislativa da regulamentação térmica em Portugal descrita anteriormente.

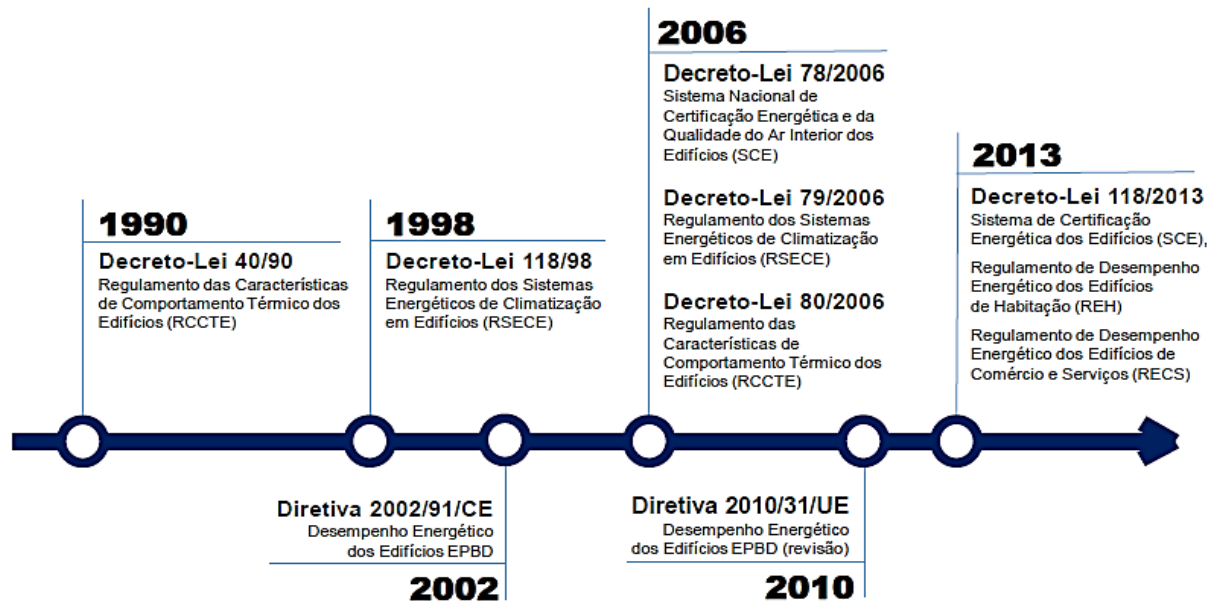


Figura 3.2: Evolução legislativa da regulamentação térmica em Portugal [Fragoso, 2013]

No seguimento do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto [A.R., 2013b], surgiu o Decreto -Lei n.º 53/2014, de 8 de Abril [A.R., 2014] que prevê o estabelecimento de um regime excepcional e temporário aplicável à reabilitação urbana. De acordo com A.R. [2014], estão dispensados do cumprimento dos requisitos mínimos de eficiência energética e qualidade térmica, as intervenções de reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que destinados ao uso habitacional e caso exista inviabilidade de ordem técnica, funcional, de valor arquitetónico ou económico e desde que justificadas mediante termo de responsabilidade subscrito pelo técnico autor do projeto.

Contudo e de acordo com Freitas [2012], qualquer projeto de reabilitação, mesmo não existindo obrigatoriedade regulamentar, deve procurar melhorar o comportamento térmico do edifício existente e por conseguinte reduzir o seu consumo energético. Esta é uma preocupação preponderante em edifícios antigos, visto que geralmente estes edifícios possuem uma envolvente com deficiente comportamento térmico, dado que anteriormente à existência de regulamentação neste domínio, a utilização de materiais de isolamento térmico era praticamente inexistente [(Brito, *et al.*, 2015), (Freitas, 2012)]. Segundo Brito, *et al.* [2015] os edifícios construídos anteriormente ao primeiro RCCTE, representam cerca de 2,5 milhões dos 3,5 milhões de edifícios existentes em Portugal (em 2015). Ora isto significa que provavelmente uma grande parcela do parque habitacional (cerca de 70%) não satisfaz as exigências atuais de condições de conforto térmico e sustentabilidade energética [Silva, 2013].

Nesse seguimento, existem atualmente, a nível nacional, incentivos externos a intervenções de eficiência energética, como é o caso do Fundo de Eficiência Energética (FEE), criado pelo Decreto-Lei n.º 50/2010 de 20 de Maio [A.R., 2010], que através de Avisos específicos que abrangem várias áreas, apoia financeiramente programas e medidas de eficiência energética previstos no âmbito do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE). O FEE surgiu portanto com o objetivo de incentivar projetos de eficiência energética nacionais e promover a alteração de comportamentos nesse domínio, procurando assim contribuir para que se atinga as metas europeias para o horizonte de 2020 acordadas pelos Estados Membros. Neste sentido, foi desenvolvido, em 2015, o **Aviso 10 – Edifício Eficiente 2015**, que, integrando no FEE, permitiu a possibilidade de financiamento a projetos de reabilitação energética de edifícios ou frações de habitação existentes, construídas até 1990. Assim sendo, este Aviso permitiu apoiar a implementação de soluções de maior eficiência térmica da envolvente de edifícios ou frações existentes, através da colocação ou reforço de isolamento térmico na cobertura e nas fachadas [FEE, 2015].

Desta forma, os financiamentos externos nacionais, como o **Aviso 10 – Edifício Eficiente 2015**, promovem, no âmbito da eficiência energética, ações de reabilitação térmica em edifícios ou frações existentes, incluindo medidas de correção térmica das fachadas, procurando contornar as condicionantes de inviabilidade económica que possam imperar na reabilitação térmica.

3.3.2 Enquadramento regulamentar atual

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), os edifícios novos ou os edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções devem obedecer aos seguintes requisitos térmicos, descritos nos artigos 26º, 27º, 28º e 29º [A.R., 2013b]:

- Na estação de aquecimento, as necessidades nominais de energia útil de aquecimento (N_{ic}) não podem ultrapassar o valor máximo de energia útil para aquecimento (N_i), baseado em valores de referência;
- Na estação de arrefecimento, as necessidades nominais de energia útil de arrefecimento (N_{vc}) não podem ultrapassar o valor máximo de energia útil para arrefecimento (N_v), baseado em valores de referência;
- As necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) não devem exceder o valor máximo das mesmas (N_t), baseado em valores de referência.

Sendo que, na verificação destes requisitos, devem também ser satisfeitas as condições de qualidade térmica da envolvente. Na envolvente opaca é necessário verificar que, tanto na zona corrente como nas pontes térmicas planas, não é ultrapassado o valor limite do U. Em vãos envidraçados, é necessário verificar a condição limite relativa ao valor máximo do fator solar (g_T) [A.R., 2013b]. É de mencionar que existe uma distinção quanto ao nível dos requisitos térmicos impostos em edifícios sujeitos a grandes intervenções, sendo que entre estes, aqueles cuja época de construção é anterior a 1960 não estão obrigados à verificação das necessidades energéticas nominais, à exceção das necessidades de energia primária, cujo quociente N_{tc}/N_t deve ter no limite um valor de 1,50 [(Brito, *et al.*, 2015), (Fragoso, 2013)].

Não obstante, de forma a serem determinadas as necessidades nominais de energia útil e a garantir a temperatura interior de conforto, tanto na estação de aquecimento como de arrefecimento, é necessário contabilizar as transferências de calor pela envolvente. As trocas de calor podem ser equacionadas como perdas ou ganhos de calor.

Consideram-se como perdas as **transferências de calor pela envolvente** que esteja em contacto com o exterior, espaços não úteis (sem necessidades de aquecimento), edifícios adjacentes e com o solo. O fluxo de calor é contabilizado em toda a envolvente, englobando as zonas correntes, pontes térmicas (planas e lineares) e vãos envidraçados. Dadas as necessidades de conforto dos ocupantes, os edifícios devem ser dotados de um sistema de ventilação, de forma a garantir a qualidade do ar interior. Contudo, isto implica que existam perdas de calor, associadas à **renovação do ar** [Silva, 2012].

Os ganhos térmicos brutos dividem-se em **ganhos solares**, obtidos através da radiação incidente nos vãos envidraçados e **ganhos internos**, associados ao metabolismo dos ocupantes, bem como aos equipamentos que produzem ou dissipam calor. Os ganhos de calor são favoráveis no Inverno, enquanto que no Verão apenas os ganhos térmicos úteis contribuem como parcela favorável no estabelecimento das condições de conforto do ambiente interior, existindo uma parcela dos ganhos brutos responsável pelo sobreaquecimento do ambiente interior (ganhos não-úteis) [Silva, 2012]. As trocas de calor descritas estão incluídas na representação esquemática da Figura 3.3, relativa ao balanço térmico de um edifício.

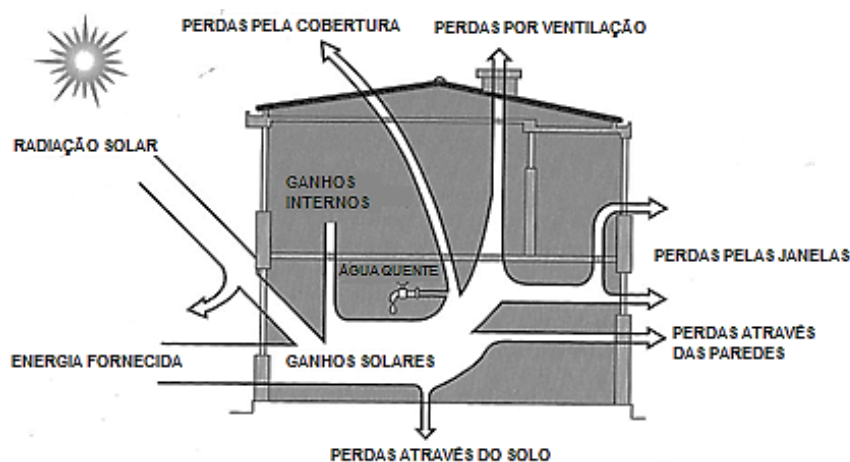


Figura 3.3: Balanço térmico de um edifício [Braga, et al., 2009]

O valor de U dos elementos opacos da fachada conjuga as transferências de calor, por condução, convecção e radiação e define a quantidade de calor que atravessa uma área unitária da superfície de um elemento, por unidade de tempo e por unidade de diferença de temperatura. O valor de U depende da resistência térmica superficial do ar exterior (R_{se}) e do ar interior (R_{si}), bem como da resistência térmica dos elementos que constituem a envolvente (R_t). A resistência térmica de um material define-se em função da sua espessura e da sua condutibilidade térmica. A condutibilidade térmica é uma propriedade intrínseca dos materiais homogéneos e representa a quantidade de calor, por unidade de área, que consegue atravessar uma espessura unitária do material, quando entre as suas faces opostas ocorre uma diferença unitária de temperatura (1°C ou 1K) [Matias & Santos, 2006].

Os valores máximos permitidos para o coeficiente de transmissão térmica de zonas opacas da envolvente (U_{max}) encontravam-se definidos na Portaria 349-B/2013 [A.R., 2013c], em função dos requisitos de qualidade térmica. A partir de 31 de Dezembro de 2015, esta portaria foi substituída pela Portaria 379-A/2015 [A.R., 2015], na qual são exigidos não só requisitos de qualidade térmica, mas também requisitos energéticos que obrigam ao cumprimento de valores máximos do U bastante mais exigentes. Estes valores máximos estão definidos em função do tipo de elemento da envolvente e da zona climática de inverno, por ser nesta estação que ocorrem maiores fluxos de calor pela envolvente, sendo os valores

apresentados para o U_{\max} também são válidos para o Verão. Em função das mesmas condicionantes, deve ser também considerando o coeficiente de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}) definido na Portaria 379-A/2015 [A.R., 2015], de forma a determinar-se o valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente.

Os requisitos térmicos para a zona opaca da fachada apresentam-se na Tabela 3.1, estando apenas incluídos aqueles se se aplicam à zona de Portugal Continental.

Tabela 3.1: Valores máximos e de referência do coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca [adaptado de [A.R., 2015]]

Coeficiente de transmissão térmica Elemento vertical da envolvente opaca, em contacto com o exterior	Requisitos de qualidade térmica			Requisitos energéticos		
	A partir de 1 de Dezembro de 2013			A partir de 31 de Dezembro de 2015		
Zona Climática	I1	I2	I3	I1	I2	I3
U_{\max} [W/(m²C)]	1,75	1,60	1,45	0,50	0,40	0,35
U_{ref} [W/(m²C)]	0,50	0,40	0,35	0,50	0,40	0,30

3.3.3 Sistema de Certificação Energética de Edifícios

Embora os edifícios existentes, que não sejam sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, não estejam obrigados ao cumprimento da regulamentação térmica em vigor, caso exista uma publicação de venda ou aluguer de um imóvel, esta tem obrigatoriamente de conter a respetiva classe energética. A determinação e apresentação da classe energética num anúncio de imóvel para venda ou arrendamento está prevista no Decreto-Lei n.º 188/2013 de 20 de Agosto [A.R., 2013b] e tem como objetivo a possibilidade de tornar a eficiência energética num fator de escolha na compra ou aluguer de um imóvel, de forma a que o vendedor esteja assim mais motivado para implementar medidas de eficiência energética. Através da implementação do Sistema de Certificação Energética de Edifícios em Portugal (SCE) num edifício existente, o comprador tem acesso a informação relativa ao seu desempenho energético, permitindo a este fazer uma escolha mais informada [(ADENE, 2012), (Borges, 2009), (Wever, 2015)]. Também no caso de edifícios de serviços existentes sujeitos a auditorias periódicas é obrigatória a emissão de certificados energéticos [Borges, 2009].

Além disso, no certificado a emitir devem constar propostas de melhoria, o que permite que o imóvel possa melhorar de classe energética após a sua implementação, contribuindo para a redução dos custos energéticos futuros [(ADENE, 2012), (Wever, 2015)]. Desta forma, o SCE promove a eficiência energética, não só de edifícios novos ou sujeitos a grandes intervenções, mas também de edifícios existentes [Clímaco, 2015]. De facto, verifica-se que desde a entrada em vigor, em Julho de 2007, do Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril [A.R., 2006 b], que implementou o SCE, até 2014, cerca de 80% dos edifícios sujeitos a certificação energética foram edifícios existentes, tal como se pode observar na Figura 3.4 [Wever, 2015].

Confirma-se que durante 2014, com a implementação do SCE segundo o Decreto-Lei n.º 188/2013, de 20 de Agosto [A.R., 2013b], no processo de certificação energética em edifícios de habitação, a grande maioria das propostas de melhoria apresentadas incidem sobretudo no reforço do isolamento térmico da envolvente, englobando pavimentos, paredes e cobertura [Clímaco, 2015]. Esta conclusão é visível na Figura 3.5. Isto significa que na maioria das situações confrontadas, apurou-se que a grande parte do consumo energético serviu para mitigar as trocas de calor pela envolvente opaca.

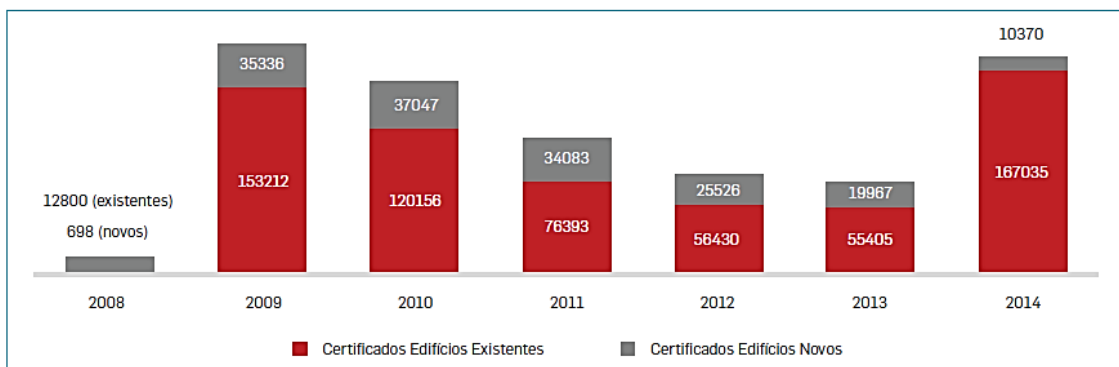


Figura 3.4: Evolução da emissão de certificados energéticos em Portugal, de 2008 a 2014 [Wever, 2015]

A norma atual obriga ao cumprimento dos requisitos mínimos de desempenho energético em edifícios novos e existentes sujeitos a grandes intervenções, sendo que no primeiro caso deve ser verificada uma classe energética superior ou igual à classe B⁻ e no segundo caso a classe energética mínima a cumprir é a classe C [Fragoso, 2013]. Dado que as classes são classificadas de A⁺ a F, por ordem decrescente de eficiência energética, tal como se pode observar na Figura 3.6, verifica-se que os edifícios novos estão sujeitos a requisitos de desempenho energético superiores.

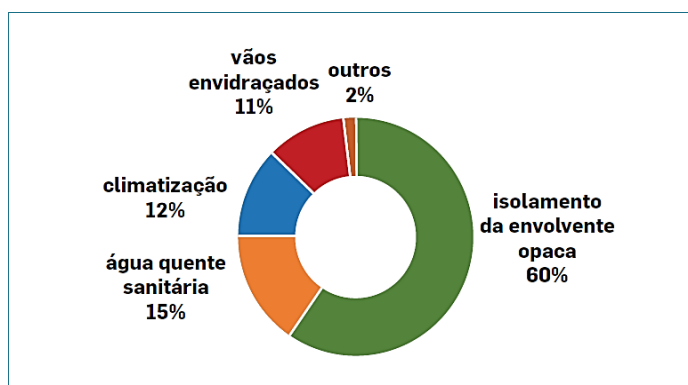


Figura 3.5: Âmbitos das medidas de melhoria na emissão de certificados em edifícios de habitação, de Dezembro de 2013 a Dezembro de 2014 [Clímaco, 2015]

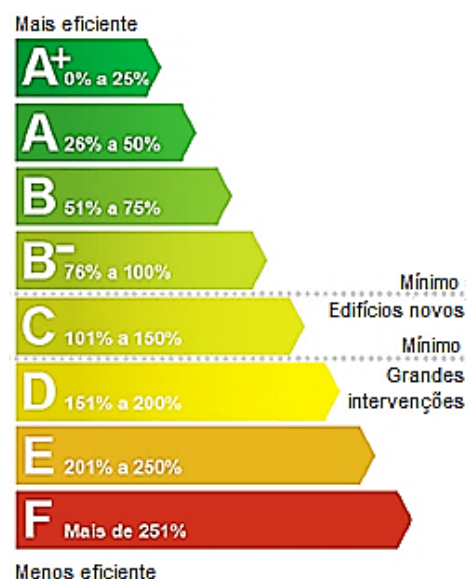


Figura 3.6: Classes de desempenho energético e requisitos mínimos de classe a cumprir [adaptado de [Fragoso, 2013]

3.3.4 Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes

Dada a complexidade da aplicação do SCE em edifícios existentes, foi desenvolvido e publicado pelo Presidente da Agência para a Energia (ADENE) e Diretor -Geral de Energia e Geologia (DGEG), o Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes (MCSCEE) definido no Despacho n.º 11020/2009 de 30 de Abril [ADENE, 2009], no âmbito do RCCTE, formalizando assim a Nota Técnica NT -SCE -01 prevista no Despacho n.º 10250/2008, de 8 de Abril [A.R., 2008a].

Desta forma, através do MCSCEE, os Peritos Qualificados (PQ) podem, sempre que se proceda à análise do desempenho energético e da qualidade do ar interior para emissão de um Certificado Energético de um edifício existente, considerar algumas simplificações na sua determinação. Segundo o MCSCEE, os PQ devem recorrer à informação disponível do edifício, como por exemplo peças

escritas e desenhadas do projeto, catálogos de equipamentos e soluções instaladas, com o intuito de auxiliar no processo de certificação [ADENE, 2009]. Algumas das simplificações para a determinação do desempenho térmico da envolvente, que constam no MCSCEE, apresentam-se de seguida.

O método de cálculo do valor de U das soluções construtivas surge neste despacho, com algumas variantes face ao Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto [A.R., 2013b]. Na reabilitação térmica de um edifício existente, o MCSCEE vem propor a determinação do U da solução reabilitada, a partir do valor de U da solução pré-existente, fazendo uma correção ajustada ao reforço de isolamento térmico. Assim, o valor final do U de um elemento construtivo sujeito a um reforço térmico deve estar em função do valor da solução sem isolamento térmico e da espessura e coeficiente de condutibilidade térmica do isolamento térmico aplicado, sendo calculado através da equação (3.1) [ADENE, 2009]:

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_0} + \frac{dD}{\lambda}} [W/(m^2\text{°C})] \quad \text{eq. (3.1)}$$

Em que: U_D – Coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo após o reforço do isolamento térmico [$W/m^2\text{°C}$]; U_0 - Coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo antes do reforço do isolamento térmico [$W/m^2\text{°C}$]; dD – Espessura do isolamento térmico adicional [m]; λ – Coeficiente de condutibilidade térmica [$W/m\text{°C}$].

Em alternativa, é também possível utilizar os valores de referência disponibilizados pela [ADENE, 2009], calculados para um isolamento térmico com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,04 [$W/(m\text{°C})$], estando em função da espessura adotada. É recomendada pela [ADENE, 2009], à falta de outra informação, a utilização de publicações do LNEC, como o ITE 50 [Matias & Santos, 2006], para a determinação dos valores de U dos elementos construtivos, ou em última instância, caso o PQ não consiga reconhecer com exatidão qual a solução construtiva pré-existente em determinada zona da envolvente, pode recorrer aos valores disponibilizados pela ADENE, penalizando conservativamente a respetiva classe energética. O MCSCEE permite também que, à falta de outra informação, se possa calcular de forma simplificada as pontes térmicas, perdas da envolvente pelo solo (pavimento e paredes em contacto com o solo) e a inércia térmica da envolvente [ADENE, 2009].

As pontes térmicas são elementos da envolvente através dos quais o fluxo de calor que os atravessa dá-se de forma bidirecional, ou seja ao contrário da zona corrente, as linhas de fluxo não são retilíneas. A consequência deste fenómeno é a redução da resistência térmica destes elementos, comprometendo as trocas de calor da envolvente que são superiores nas pontes térmicas [Valério, 2007]. As pontes térmicas planas são bastante comuns em edifícios correntes (pilares e vigas) mas também podem ocorrer pontes térmicas em edifícios antigos, tal como nos seguintes casos: variação da espessura da envolvente; presença de janelas, caixas de estore e portas; pontes térmicas lineares em encontros entre paredes exteriores (cunhais), como representado na Figura 3.7; ligações entre paredes interiores e fachada (Figura 3.8); ligações entre paredes e pavimentos, tetos ou varandas; e ligações entre a fachada e caixa de estore, padieira, ombreira (Figura 3.9) ou peitoril.

De acordo com a ADENE [2009], caso não seja possível determinar a localização e a dimensão exata das pontes térmicas planas, pode-se ignorar a determinação das suas áreas e considerá-las como sendo zona corrente, a não ser que não esteja garantida a sua ausência e nesse caso basta majorar

em 35% o valor do U da zona corrente. Assim, analisa-se a fachada como tendo apenas a zona corrente, mas esta é majorada para garantir-se que não são desprezadas as perdas de calor através de possíveis pontes térmicas planas. No caso das pontes térmicas lineares, não havendo informação suficiente, basta considerar apenas as ligações de fachada com cobertura, pavimento ou varanda e utilizar convencionalmente um coeficiente de ponte térmica linear (ψ) de 0,75 [W/(m.°C)].

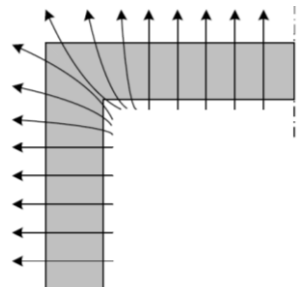


Figura 3.7: Ponte térmica no encontro entre paredes exteriores (cunhal) [Valério, 2007]

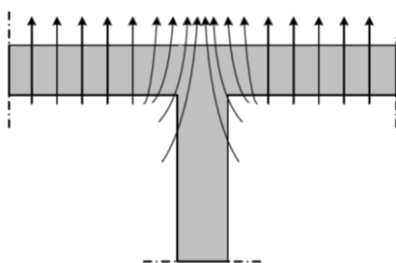


Figura 3.8: Ponte térmica na ligação entre paredes [Valério, 2007]

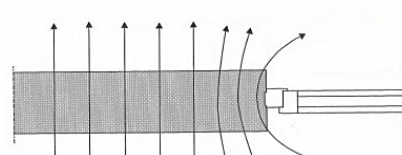


Figura 3.9: Ponte térmica no encontro de uma ombreira de uma porta ou janela [Braga, et al., 2009]

Quanto às perdas de calor em paredes em contacto com o solo, se a área da parede em contacto com o solo tiver sido contabilizada na área total da parede, é possível admitir a ponte térmica linear com coeficiente nulo [ADENE, 2009]. No MCSCEE foi desenvolvida uma forma de classificação da inércia térmica da envolvente de uma fração autónoma, destinada aos casos em que não existem cálculos justificativos para a sua definição. Sendo que, no caso da inércia forte, tem de se verificar a existência de paredes exteriores em alvenaria com revestimentos em estuque ou reboco e a solução da envolvente não pode ter isolamento térmico pelo interior [ADENE, 2009].

3.4 Anomalias associadas ao deficiente isolamento térmico de fachadas

Em edifícios, as condensações superficiais ocorrem sobretudo na estação de Inverno, sempre que as faces interiores das paredes exteriores se encontram a uma temperatura inferior à temperatura de orvalho, para o valor de humidade relativa verificado no interior. No caso de soluções de paredes heterogéneas, as condensações superficiais verificam-se inicialmente em zonas de ponte térmica (Figura 3.10), progredindo posteriormente para a zona corrente da parede, quando esta tem, globalmente, insuficiente isolamento térmico [(Aguiar, *et al.*, 2004), (Appleton, 2011), (Henriques, 2007)]. Através da termografia é possível detetar pontes térmicas, caracterizadas por uma superfície mais fria, tal como mostra a Figura 3.11.

Os paramentos com humidade superficial são propícios à formação e desenvolvimento de fungos e bolores, que formam manchas negras nas paredes. Em edifícios antigos, estas anomalias podem ser agravadas por falta de manutenção. Num estado mais avançado, a humidade presente na superfície da parede afeta as características dos materiais constituintes, especialmente nos acabamentos interiores e elementos de madeira (caixilharia) das fachadas [(Aguiar, Appleton, & Cabrita, 2014), (Appleton, 2011), (Pinho, 2008)].

Posteriormente, as condensações superficiais podem dar origem a condensações internas, uma vez que as paredes de edifícios antigos são constituídas por materiais porosos e que são portanto permeáveis ao vapor de água. O vapor de água, ao atravessar a parede por difusão, condensa no seu interior sempre que a pressão parcial do vapor de água iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura

ambiente. As condensações interiores podem não originar anomalias visíveis, mas conduzem muitas vezes à degradação interior da parede. Além disso, a humidade aumenta significativamente a condutibilidade térmica dos materiais, logo a água condensada na parede diminui a sua resistência térmica, comprometendo o conforto térmico do espaço habitacional [(CCE, 2000), (Henriques, 2007)].



Figura 3.10: Machas de humidade em ponte térmica [Alves, *et al.*, 2011]

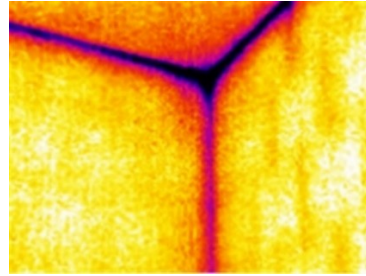


Figura 3.11: Ponte térmica detetada por termografia [w6]

Embora as fachadas de edifícios antigos possuam uma espessura elevada, o que permite que estas tenham uma razoável resistência térmica, este facto pode não ser suficiente para a mitigação destas anomalias. Dado que as fachadas de alvenaria de pedra (típicas em fachadas de edifícios antigos) são elementos que possuem uma superfície fria, propiciam a ocorrência de humidades superficiais, pois a sua temperatura superficial é inferior à temperatura do ambiente interior. Assim, quando a massa de ar entra em contacto com a superfície da parede, a sua humidade relativa aumenta, podendo facilmente atingir o limite de saturação e originar condensações superficiais na parede. O isolamento térmico permite que a temperatura superficial interior das fachadas seja superior, desempenhando um papel fundamental na diminuição do risco de condensações [Henriques, 2007].

Contudo, de forma a prevenir a ocorrência de condensações superficiais é necessário aliar um nível adequado de isolamento térmico da fachada a uma ventilação adequada do espaço interior [(Appleton, 2011), (Henriques, 2007), (Silva, 2013)]. Este fenómeno pode ser considerado para a maioria das soluções construtivas das fachadas, dado que normalmente estas possuem uma temperatura superficial inferior à temperatura do ar interior e portanto o isolamento térmico e a ventilação do ar interior são sempre recomendados para prevenir estas anomalias.

3.5 Soluções de reforço de isolamento térmico aplicadas em fachadas

Existem diversas soluções de isolamento térmico de fachadas, que podem ser utilizadas em ações de reabilitação de edifícios antigos. Para estas soluções, existem diversos materiais de isolamento térmico possíveis de aplicar, sendo que segundo a regulamentação, um material tem características de isolamento térmico se tiver condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ [W/(m}\cdot\text{°C)]}$ e uma resistência térmica superior a $0,30 \text{ [(m}^2\cdot\text{°C)/W]}$. Contudo, existem materiais que não respeitam estas características, mas podem ser utilizados para isolamento térmico, como os grânulos leves soltos [Matias & Santos, 2006]. Os isolantes térmicos mais utilizados em Portugal são os isolamentos pré-fabricados e estes estão sujeitos às seguintes normas harmonizadas:

- Poliestireno expandido moldado (EPS – *expanded polystyrene*): EN 13163+A1 [CEN, 2012, 2015];
- Aglomerado de cortiça expandida (ICB – *insulation cork board*): EN 13170+A1 [CEN, 2012, 2015];
- Lã mineral (MW – *mineral wool*): EN 13162+A1 [CEN, 2012, 2015], EN 14064-1 [CEN, 2010] e EN

14303+A1 [CEN, 2009, 2013];

- Espuma rígida de poli-isocianurato (PIR – *polyisocyanurate rigid foam*): EN 14308+A1 [CEN, 2009, 2013];
- Espuma rígida de poliuretano (PUR - *polyurethane rigid foam*): EN 13165+A1 [CEN, 2012, 2015] e EN 14308+A1 [CEN, 2009, 2013];
- Poliestireno expandido extrudido (XPS – *extruded polystyrene*): EN 13164+A1 [CEN, 2012, 2015].

Os isolamentos térmicos devem ser termicamente eficientes, sendo que quanto menor a sua condutibilidade térmica, maior a sua resistência à passagem de calor. Outros fatores devem ser tidos em consideração, como a classe de reação ao fogo, que avalia o seu comportamento em caso de incêndio, sendo os materiais isolantes classificados segundo Euroclasses de A1 a F, por ordem decrescente de resistência ao fogo. A resistência à compressão é também um parâmetro importante a considerar, de forma a garantir uma maior durabilidade da solução de isolamento térmico, especialmente quando esta está mais sujeita a ações mecânicas (choques), além disso se o isolante estiver sujeito a demasiados esforços de compressão, este perde espessura, diminuindo consequentemente a sua resistência térmica. A resistência à difusão do vapor de água deve ser considerada e é um fator especialmente importante em edifícios antigos, pelo facto de as suas fachadas serem constituídas por elementos porosos, sujeitos a fenómenos de absorção e circulação de água, devendo o material isolante oferecer a menor resistência à passagem e saída do vapor de água.

Na Tabela 3.2 apresentam-se as características dos isolamentos térmicos ICB, MW, XPS e EPS, em função dos fatores enunciados anteriormente, segundo valores comerciais disponibilizados por alguns fabricantes e associações de soluções de isolamento térmico. À direita de cada um destes valores são apresentados valores convencionais divulgados pela [APFAC, 2014]. Os valores de classe de resistência ao fogo comerciais e convencionais são idênticos. Existem também valores publicados pelo LNEC, através do ITE 50 [Matias & Santos, 2006], que definem os respetivos coeficientes de condutibilidade térmica dos isolamentos térmicos, sendo que em média são valores mais conservativos.

Tabela 3.2: Classificação do comportamento de isolamentos térmicos: valores comerciais (Amorim (ICB), ROCKWOOL (MW), FIBRAN (XPS) e ACEPE (EPS)) à esquerda e valores convencionais (APFAC) à direita

Material	Condutibilidade Térmica [W/(m.°C)]		Reação ao fogo (classes A1 a F)	Resistência à compressão [kPa]		Fator de resistência à difusão do vapor de água [μ]	
ICB	0,040	0,040	E	100	100	20	20
MW	(0,036-0,041) 0,039	0,036	A1	30-40	36	1-1,3	1
XPS	(0,034-0,038) 0,036	(0,034-0,038) 0,036	E	200-700	300	50-150	50
EPS	(0,033-0,047) 0,040	(0,031-0,038) 0,035	E	30-250	60-150	20-100	20-70

Verifica-se através da Tabela 3.2 que não existe uma variação significativa entre o coeficiente de condutibilidade térmica destes materiais isolantes, sendo que a opção de escolha entre os diferentes materiais se baseia também nas suas características para além do seu desempenho térmico. Em termos gerais, o ICB é o material isolante mais sustentável (100% natural e reciclável), o MW é o material isolante que possui melhor reação ao fogo, contrariamente aos restantes materiais isolantes que não permitem uma boa resposta dos sistemas de isolamento térmico em caso de incêndio. O XPS é o material isolante que desempenha maior resistência mecânica, nomeadamente à compressão e o EPS é o material isolante mais económico. Além disso o ICB e o MW são os materiais que possuem menor fator de resistência à difusão ao vapor de água, o que é uma vantagem em suportes das fachadas muito porosos, pois permite a migração

da água penetrada no suporte, contudo deve ser possível a saída de água do isolamento térmico, ou seja não deve existir na sua fronteira um material impermeável pois a permanência da água no interior dos materiais isolantes conduz à sua degradação e aumento da sua condutibilidade térmica.

As soluções de reforço do isolamento térmico em fachadas podem ser aplicadas no paramento exterior, no paramento interior ou, no caso de paredes duplas, na caixa-de-ar, e estão resumidas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Tipos de soluções de isolamento térmico em fachadas

Localização do isolamento térmico	Tipo de solução de isolamento térmico
Isolamento térmico pelo exterior	<i>External Thermal Insulation Composite System</i> (ETICS)
	Fachada Ventilada
Isolamento na caixa-de-ar de uma Parede Dupla	Injeção de produtos a granel
	Injeção de espumas isolantes (expandidas em obra)
Isolamento térmico pelo interior	<i>Internal Thermal Insulation Composite System</i> (ITICS)
	Placas isolantes pré-fabricados com revestimento aderente
	Contra-fachada no lado interior da parede:
	<ul style="list-style-type: none"> • Contra-fachada de alvenaria de tijolo leve • Contra-fachada de gesso laminado
Revestimento exterior ou interior da fachada	Argamassas com comportamento térmico melhorado

3.5.1 *External Thermal Insulation Composite System* (ETICS)

O ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*) é aplicado pelo exterior da fachada e é formado por placas de isolamento térmico fixos ao paramento exterior, por colagem e/ou fixação mecânica (através de buchas de fixação). Estas são revestidas por um reboco armado com uma malha mineral flexível, tal como fibra de vidro, aplicada diretamente sobre as placas de isolamento térmico. Por fim é aplicado um acabamento final, embora no caso do isolamento térmico em cortiça, este também possa servir de acabamento final [(ACEPE, 2014), (Brito, *et al.*, 2016)].

Os acabamentos em ETICS são por norma mais espessos e resistentes que um acabamento vulgar, como tinta de areia, contribuindo para a resistência mecânica e estanqueidade à penetração de água do sistema, sem no entanto comprometer a permeabilidade ao vapor de água da fachada [Silva, 2012].

O ETICS pode ser dividido em duas soluções que se distinguem essencialmente pela espessura do revestimento aplicado [(Anselmo, *et al.*, 2004), (CCE, 2000)]. A solução mais corrente é o **sistema de isolamento térmico com placas revestidas por um reboco delgado** de ligante sintético ou misto, aplicado pelo menos em duas camadas, espaçadas por, normalmente, uma rede de fibra de vidro. A camada de base armada é sobreposta por uma camada de primário à base de resinas em solução aquosa, seguida de uma camada de acabamento, sendo esta normalmente um revestimento plástico espesso (RPE) [(Anselmo, *et al.*, 2004), (ACEPE, 2014), (Brito, *et al.*, 2016)]. O primário tem como função melhorar a aderência do acabamento, contudo nem todas as soluções de isolamento térmico por ETICS requerem a sua utilização [Freitas, 2002]. A Figura 3.12 apresenta esquematicamente esta solução.

Outra solução passa pela **aplicação de um revestimento espesso**, normalmente de ligante mineral, armado com uma malha metálica ou rede de fibra de vidro, que deverá ter pontualmente ligações mecânicas ao suporte, através de grampos ou cavilhas, tal como mostra a Figura 3.13. Normalmente utiliza-se o MW ou o EPS como isolamento térmico deste sistema [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Pinto,

2012)]. As placas de isolamento térmico devem possuir ranhuras na sua face exterior, de forma a permitir uma melhor aderência ao revestimento. O acabamento final poderá ser um revestimento delgado plástico ou acabamento em tinta [Silva, 2012].

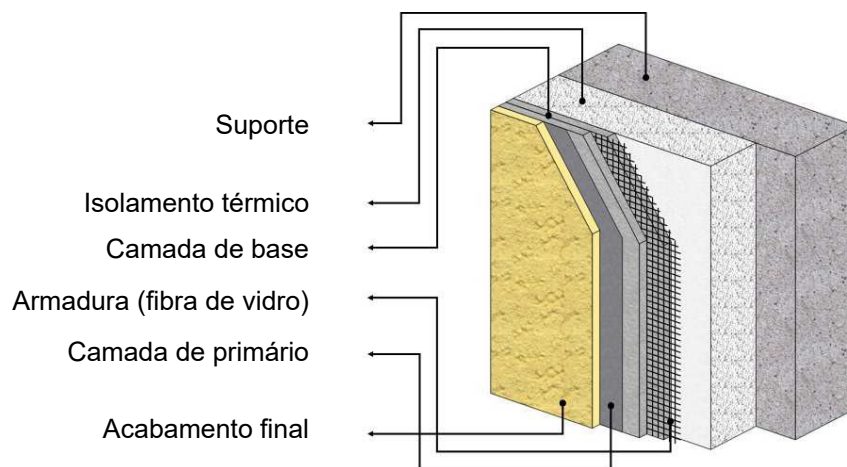


Figura 3.12: Sistema de isolamento térmico composto exterior com reboco delgado [adaptado de [APFAC, 2014]]

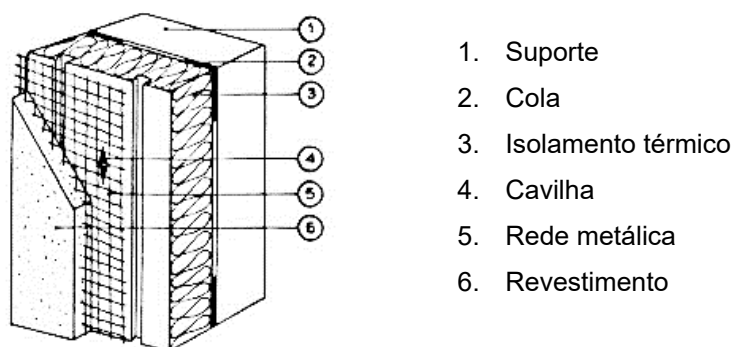


Figura 3.13: Sistema de isolamento térmico composto exterior com reboco espesso [adaptado de [Anselmo, *et al.*, 2004]]

Para a aplicação deste sistema de isolamento térmico em obras de reabilitação de edifícios antigos, é necessário ter em consideração alguns cuidados, tais como a preparação do paramento exterior do suporte antes da aplicação de ETICS, no qual devem ser removidas ou reparadas todas as zonas danificadas por destacamento, fissuração (correspondente a fissuras existentes com abertura superior a 0,5 mm e/ou não estabilizadas), perda de coesão, colonização biológica, ou resíduos de pó, sujidade e gordura, de maneira a evitar, assim, que existam zonas que impeçam a correta aderência do isolamento térmico ao substrato [APFAC, 2014].

Assim sendo, deve-se proceder à decapagem do reboco destacado; as fissuras devem ser analisadas e caso se determine que estas não estão estabilizadas, deve existir uma intervenção que impeça posteriores movimentos e propagação das fissuras; deve-se efetuar uma limpeza nas superfícies com colonização biológica, ou resíduos de pó, sujidade e gordura, sendo que a quando da aplicação do isolamento térmico, o suporte deve estar seco [(APFAC, 2014), (Silva, 2012)]. Por vezes, em situações de avançado destacamento, é necessário remover todo o revestimento existente [Nunes, 2008].

Para aplicar o sistema ETICS em edifícios antigos é necessário assegurar a estabilidade das paredes [APFAC, 2014]. No caso de alvenarias de pedra bastante porosas e que apresentem falta de consolidação superficial é necessário aplicar um consolidante. O suporte tem de possuir uma superfície regular a quando da aplicação do isolamento térmico, logo é necessário efetuar previamente uma

regularização da superfície da parede pré-existente, através de um reboco compatível com cola de fixação do isolamento térmico e com as características mecânicas adequadas [APFAC, 2015].

De forma a garantir a aderência do sistema ao revestimento pré-existente, é aconselhável complementar a colagem das placas de isolamento térmico com uma fixação mecânica, sendo que no caso da aplicação do sistema em paredes revestidas por elementos cerâmicos, a fixação mecânica é obrigatória. Também dependendo da natureza do isolamento térmico aplicado, a utilização da fixação mecânica poderá ser obrigatória, como é o caso da cortiça ou da lã mineral, ou poderá ser dispensável, como é o caso do EPS ou do XPS [APFAC, 2014], embora nem todos os fabricantes o recomendem.

A armadura aplicada entre as camadas de reboco permite melhorar a resistência mecânica do reboco, garantindo uma maior durabilidade do sistema de isolamento térmico aos choques [Freitas, 2002]. Em zonas expostas e sujeitas a ações mecânicas mais severas, como por exemplo as fachadas em pisos térreos com acesso ao público, deve ser adicionada à armadura normal, uma armadura de reforço do mesmo material (“armadura de reforço”), até à cota de 2 m, de forma a reforçar significativamente a resistência do reboco exterior aos choques [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Malanho & Veiga, 2012), (Braga, *et al.*, 2009)]. Em todas as arestas do ETICS devem ser colocadas cantoneiras de reforço, coladas diretamente ao isolamento térmico e aplicadas por baixo da armadura (Figura 3.14). Os cantos dos vãos envidraçados devem também ser reforçados com faixas de armadura com (0,3 x 0,3) m² coladas diretamente ao isolamento térmico, antes da aplicação do reboco (Figura 3.15) [APFAC, 2014].



Figura 3.14: Colocação de cantoneiras de reforço nas arestas das fachadas (esquinas e contorno de vãos) [APFAC, 2015]

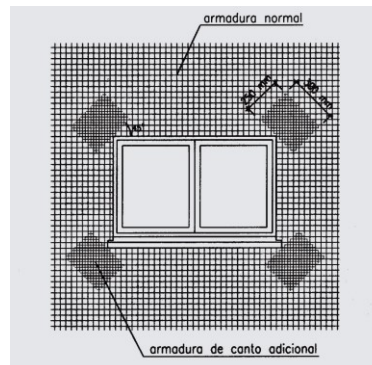


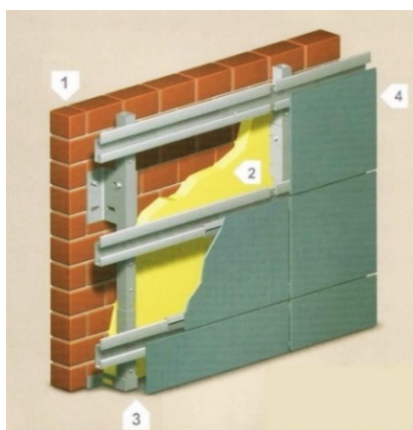
Figura 3.15: Remates nos cantos dos vãos envidraçados com reforço de armadura [Anselmo, *et al.*, 2004]

O acabamento, para além da sua função estética, deve contribuir para a resistência aos choques do ETICS, deve servir de proteção do suporte e do isolamento térmico contra os agentes atmosféricos e deve ser simultaneamente impermeável à penetração de água e permeável ao vapor de água, permitindo que a parede “respire” [Malanho & Veiga, 2012].

3.5.2 Fachada ventilada

A fachada ventilada (Figura 3.16) é um sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior e é caracterizado pela existência de uma caixa-de-ar que separa o revestimento exterior do suporte [(Aneli, Gagliano, & Nocera, 2016), (Braga, *et al.*, 2009)]. A caixa-de-ar é conseguida através de uma estrutura de fixação geralmente constituída por perfis metálicos (podendo ser também constituída por prumos de madeira) que fixam o revestimento ao suporte, criando uma descontinuidade entre eles [(Nunes, 2008), (Braga, *et al.*, 2009)]. O espaçamento entre o isolamento térmico e o revestimento deve ser no mínimo de

20 mm, para garantir que a caixa-de-ar é fortemente ventilada [(Guimarães, 2011), (Silva, 2013)].



1. Suporte
2. Isolamento térmico
3. Sistema de fixação
4. Revestimento

Figura 3.16: Esquema de uma Fachada Ventilada [adaptado de [w7]]

O revestimento é descontínuo e formado normalmente por placas de pedra natural, ladrilhos cerâmicos, placas de grés porcelânico, placas de alumínio composto (ACM – *Aluminium Composite Material*) ou placas de resinas fenólicas termoendurecidas (H.P.L - *High Pressure Laminates*) (Mendes, 2009), podendo também ser em betão polímero, madeira modificada e vidro [Construlink.com, 2006].

O isolamento térmico é colado ou fixado mecanicamente ao paramento exterior da parede, deixando um espaço vazio na caixa-de-ar, no qual é possível a circulação de uma lâmina de ar, no sentido vertical, entre o isolamento térmico e o revestimento exterior, permitindo assim uma ventilação natural contínua da fachada, tal como se pode observar através da Figura 3.17. A este fenómeno chama-se “efeito chaminé”, em que o ar frio entra pelas aberturas da base da fachada e sai como ar quente pelas aberturas superiores da fachada ventilada [(Construlink.com, 2006), (Aneli, Gagliano, & Nocera, 2016)].

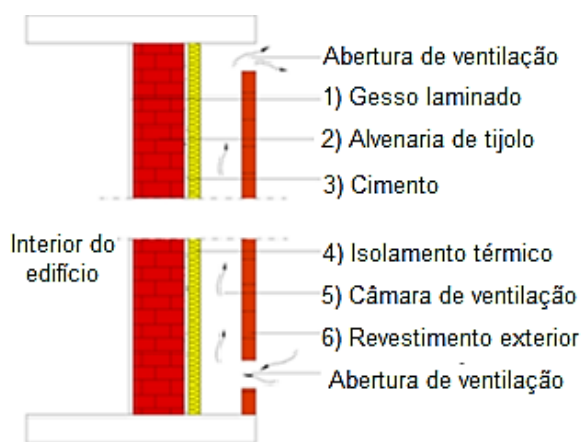


Figura 3.17: Secção esquemática com o efeito de chaminé representado [adaptado de [Aneli, Gagliano, & Nocera, 2016]]

Contudo, o efeito chaminé da fachada ventilada propicia o desenvolvimento e rápida propagação do fogo entre pisos através da caixa-de-ar, em caso de incêndio. Assim sendo, devem ser tidas em consideração medidas de mitigação e prevenção, como o seccionamento da caixa-de-ar e a adoção de materiais isolantes que possuam um bom comportamento face ao fogo (resistência ao fogo) e que não libertem gases tóxicos durante a combustão, especialmente em intervenções em edifícios de grande altura [(Alves, *et al.*, 2011), (Nunes, 2008), (ROCKWOOL)]. A lã mineral (MW) é o material mais adequado para proteção passiva contra o fogo, uma vez que é um material incombustível, que detém a Euroclasse A1, na classificação de resistência ao fogo (Euroclasses A1 a F, por ordem decrescente

de resistência), enquanto que outros materiais de isolamento térmico pré-fabricados detêm a Euroclasse E, e além disso não produz gases tóxicos durante a combustão [ROCKWOOL].

A estrutura de fixação pode ser uma estrutura simples formada por apenas elementos horizontais ou verticais, ou pode ser uma estrutura dupla formada por elementos em ambos os sentidos, estando um dos sentidos em contacto directo com o suporte e o outro sentido é colocado sobrepostamente ao anterior [Mendes, 2009]. Existem no mercado vários tipos de estruturas de fixação do revestimento exterior [Construlink.com, 2006]:

- Estrutura de fixação para revestimentos de grande espessura (Figura 3.18): as peças do revestimento são encaixadas nos perfis horizontais e são fixadas aos perfis verticais através de grampos de aço; este sistema de fixação é ideal para revestimentos com espessura superior a 20 mm, em pedra natural, peças de fibrocimento e ladrilhos cerâmicos;
- Estrutura de fixação à vista para revestimentos de espessura fina (Figura 3.19): os painéis do revestimento são fixos aos perfis da estrutura, através de grampos de aço inoxidável munidos da mesma cor que o próprio revestimento, com o objectivo de reduzir o impacto visual; este sistema de fixação é ideal para revestimentos cerâmicos, de pedra natural delgada e placas de alumínio (com espessura inferior a 20 mm);



Figura 3.18: Estrutura de fixação para revestimentos de grande espessura [Construlink.com, 2006]



Figura 3.19: Estrutura de fixação à vista para revestimentos de espessura fina [Construlink.com, 2006]

- Estrutura de fixação oculta para revestimentos de espessura fina (Figura 3.20): são feitos rasgos no dorso das peças do revestimento, de forma a colocarem-se elementos de aço inoxidável que unem as peças a um perfil metálico, que por sua vez está fixo ao perfil horizontal da estrutura de fixação, através de grampos de pressão; este sistema de fixação é ideal para os mesmos revestimentos da solução anterior;
- Sistema sobreposto para painéis cerâmicos (Figura 3.21): este sistema está pensado para garantir a estanqueidade das juntas das peças do revestimento, através de um esquema de sobreposição das peças; este sistema de fixação é ideal para os mesmos revestimentos da solução anterior.

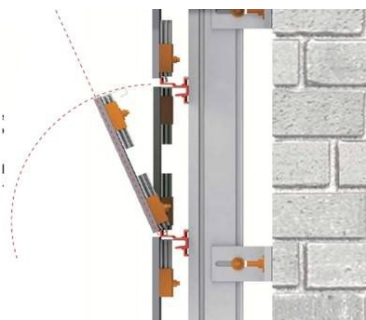


Figura 3.20: Estrutura de fixação oculta para revestimentos de espessura fina [Construlink.com, 2006]



Figura 3.21: Sistema sobreposto para revestimentos de espessura fina [Construlink.com, 2006]

Segundo Construlink.com [2006], a fachada ventilada pode ser aplicada não só em construção nova, mas também em obras de reabilitação. Contudo é necessário garantir a estabilidade e resistência mecânica do suporte, de forma a suportar a estrutura de fixação do sistema de isolamento térmico.

3.5.3 Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas

No caso de paredes duplas exteriores de edifícios antigos (construídas entre 1950-1960), estas podem ser reabilitadas termicamente com soluções de isolamento térmico na caixa-de-ar. Como já foi mencionado anteriormente, as paredes duplas surgiram apenas a partir de meados do século XX em Portugal, durante a época de transição para a construção corrente de betão armado, logo a aplicação deste sistema de reforço do isolamento térmico é limitada a um número mais reduzido de fachadas antigas [Appleton, 2011].

Em edifícios novos, as soluções de isolamento térmico de fachadas passam pela colocação de placas de isolamento térmico, de preferência junto ao pano interior, deixando uma espessura livre na caixa-de-ar. Contrariamente, para o reforço térmico de paredes duplas no caso de edifícios existentes, recorre-se a técnicas de incorporação de materiais isolantes na caixa-de-ar por injeção em orifícios realizados no paramento, em que o isolamento térmico deve ocupar toda a espessura da caixa-de-ar.

Mais especificamente, o reforço do isolamento térmico pela caixa-de-ar é feito através de [Appleton, 2011]:

- **injeção de produtos a granel:**
 - fibras ou flocos de lã mineral (MW) (Figura 3.22);
 - granulado de poliestireno expandido (EPS);
 - outros granulados, como argila, cortiça (ICB) ou perlite expandida, entre outros.
- **injeção de espumas isolantes que são expandidas em obra:**
 - espuma rígida de poliuretano (PUR) (Figura 3.23);
 - espuma de ureia-formaldeído.

A injeção pode ser feita pelo interior ou pelo exterior da fachada e após o preenchimento integral da caixa-de-ar, basta vedar os orifícios com argamassa [w9].



Figura 3.22: Injeção de lã mineral (MW) na caixa-de-ar para reforço térmico de paredes duplas [Knauf Insulation, 2012]



Figura 3.23: Injeção de espuma rígida de poliuretano (PUR); para reforço térmico de paredes duplas [w8]

Antes da aplicação da espuma de poliuretano (PUR), é necessário ter especial atenção à sua formulação, de maneira a obter-se as características desejadas [Anselmo, *et al.*, 2004]. No caso dos produtos a granel, visto serem materiais soltos, a sua aplicação deve evitar assentamentos ao longo do tempo, que possivelmente originam espaços vazios, criando zonas de ponte térmica por falta de isolamento térmico na fachada e comprometendo assim o seu desempenho térmico [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Pinto, 2012)].

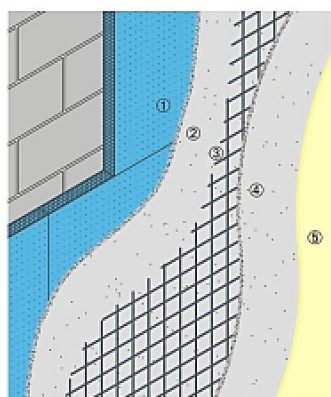
A injeção dos materiais isolantes deve ser realizada com uma pressão adequada, de maneira a evitar deformações na parede provocadas pelo processo de injeção e também de forma a garantir o preenchimento total da caixa-de-ar [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Guimarães, 2011)].

Com vista a garantir um enchimento uniforme da caixa-de-ar com o material isolante, deve ser realizado um estudo quanto à distribuição dos furos a realizar e, de forma a verificar e assegurar a correcta ocupação da caixa-de-ar, devem ser realizados furos adicionais ou proceder a uma observação endoscópica (através de uma câmara fotográfica endoscópica) [(Anselmo, *et al.*, 2004), (w9)].

É necessário ter em conta também o estado de conservação da fachada pré-existente, pois caso existam fissuras ou juntas danificadas, estas têm de ser reparadas, para que não existam fugas de material durante a aplicação [w9]. Além disso, a eficiência da aplicação depende das dimensões da caixa-de-ar existente [Appleton, 2011]. Esta deve ter uma espessura mínima de 3 cm e uma altura máxima sem interrupções de 12 m.

3.5.4 *Internal Thermal Insulation Composite System (ITICS)*

O ITICS (*Internal Thermal Insulation Composite System*) consiste na aplicação de placas de isolamento térmico coladas ou fixadas mecanicamente ao paramento interior da fachada e revestidas posteriormente por um sistema idêntico ao descrito para o ETICS (com placas isolantes revestidas por um reboco delgado armado) [ACEPE, 2014]. Logo, após a aplicação da camada de isolamento térmico, é colocado um reboco, podendo também optar-se pelo estuque, aplicado em pelo menos duas demãos, espaçadas por uma rede de fibra de vidro e por fim é aplicado um acabamento final plástico espesso (RPE), tal como representado na Figura 3.24. Para a aplicação deste sistema é necessário garantir as condições de aderência entre: o isolamento térmico e o suporte; e entre o isolamento térmico e o revestimento de reboco ou estuque [Nunes, 2008].



1. Isolamento Térmico
2. Reboco – 1ª camada
3. Malha de reforço
4. Reboco – 2ª camada
5. Revestimento final

Figura 3.24: Esquema da constituição do ITICS [adaptado de [Nunes, 2008]]

3.5.5 *Isolamento térmico de fachadas pelo interior com revestimento aderente*

A utilização de isolamento térmico pelo interior com revestimento aderente é a solução mais correntemente utilizada para reforço do isolamento térmico de fachadas pelo interior. Esta solução passa pela aplicação de placas isolantes pré-fabricadas, que integram conjuntamente uma camada de isolamento térmico e uma camada de revestimento diretamente aderida (Figura 3.25). As placas isolantes são coladas diretamente ao paramento interior da fachada, cobrindo toda a zona da envolvente correspondente ao pé-direito dos compartimentos [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Alves, *et al.*, 2011), (Appleton, 2011)].

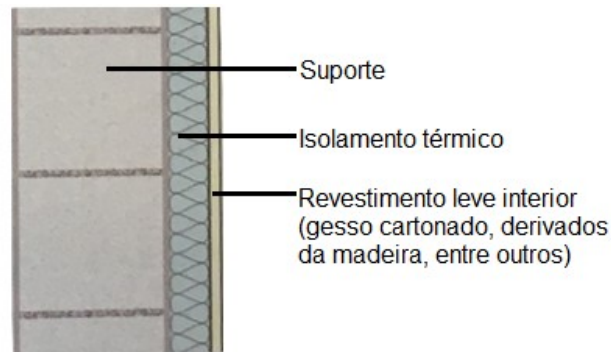


Figura 3.25: Esquema do sistema de isolamento térmico pelo interior com revestimento aderente [adaptado de [Alves, *et al.*, 2011]]

O isolamento térmico é portanto revestido por placas pré-fabricadas, constituídas por materiais leves, geralmente gesso laminado (Figura 3.26), podendo também utilizar-se derivados da madeira (Figura 3.27). Estas placas são aderidas diretamente ao isolamento térmico. No caso das placas de madeira, podem ser utilizadas placas de MDF (*Medium Density Fibreboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) ou aglomerados de madeira, sendo a última opção a mais corrente entre as soluções de revestimento em madeira [Nunes, 2008].

As placas de madeira, com o devido tratamento, servem de acabamento final, enquanto que as placas de gesso laminado necessitam de receber uma camada de acabamento, existindo diversos tipos de acabamentos disponíveis, mas sendo a pintura o mais corrente [Nunes, 2008].



Figura 3.26: Solução de isolamento pelo interior com revestimento em gesso laminado [Amorim, 2015]



Figura 3.27: Solução de isolamento pelo interior com revestimento em madeira [Amorim, 2015]

A possibilidade de ocorrência de condensações na fachada deve ser analisada, de forma a evitar a migração de humidade para o interior das paredes. Assim sendo, o revestimento aplicado sobre as placas de isolamento térmico deve ser ter uma boa resistência à difusão de vapor de água, caso contrário é necessário recorrer-se a sistemas que incluam uma barreira pára-vapor, no lado quente do isolamento térmico, como por exemplo uma película de polietileno [ACEPE, 2014].

Existem no mercado soluções de placas isolantes pré-fabricadas em gesso laminado que permitem a sua aplicação, não só em ambientes interiores secos, como também húmidos, como cozinhas e I.S. (como é o caso da placa de gesso laminado hidrófuga que possui um agente hidrófugo para diminuir a absorção de água e por conseguinte reforçar a resistência á ação direta da água e humidade), e existem também soluções que permitem um bom desempenho face ao fogo (como é o caso da placa de gesso laminado anti-fogo que é reforçada com fibra de vidro para melhorar a reação ao fogo da alma de gesso) [(Gyptec), (Pladur)]. O revestimento em aglomerado de madeira também existe no mercado com um comportamento adequado à humidade e à resistência ao fogo [Nunes, 2008].

Em edifícios com anomalias na fachada relacionadas com humidades por infiltração ou condensações superficiais, não devem ser utilizadas soluções de isolamento térmico por colagem no paramento interior, pois existe o risco de destacamento da solução, devendo-se portanto recorrer à fixação mecânica [ACEPE, 2014]. A aplicação das placas de gesso laminado requer atenção aos respetivos remates em esquinas e ligações com janelas, portas e outros elementos da fachada [ACEPE, 2014].

3.5.6 Contra-fachada pelo lado interior

Uma das possíveis soluções de reforço do isolamento térmico de fachadas pelo interior consiste na execução de uma contra-fachada na face interior da parede exterior. A solução de isolamento térmico com contra-fachada divide-se em dois tipos de soluções [Anselmo, *et al.*, 2004]:

- Contra-fachada em alvenaria de tijolo (Figura 3.28 solução à esquerda);
- Contra-fachada em gesso laminado (Figura 3.28 solução à direita).

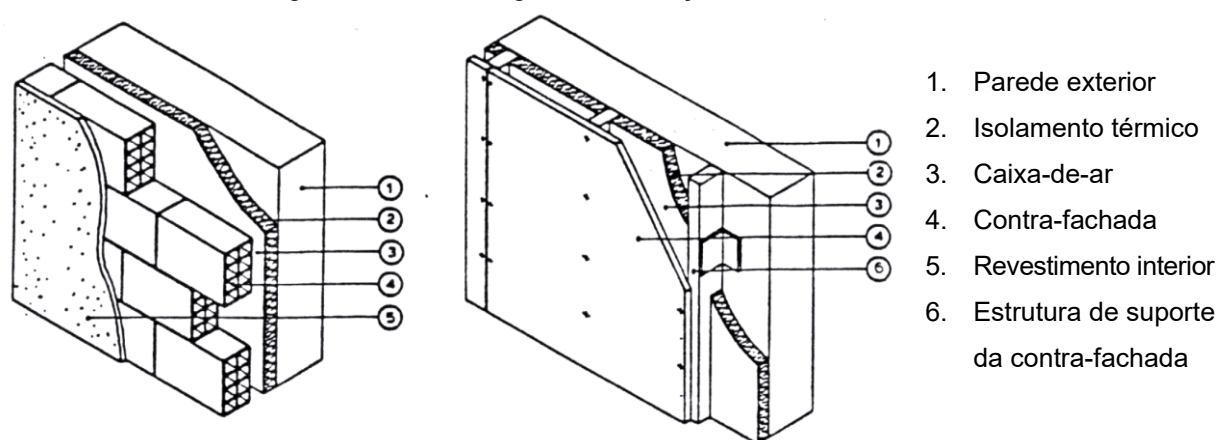


Figura 3.28: Contra-fachada de alvenaria (solução à esquerda) e contra-fachada de gesso laminado (solução à direita) [adaptado de [Anselmo, *et al.*, 2004]]

A contra-fachada em alvenaria de tijolo consiste na aplicação de uma camada de isolamento térmico colada ao suporte e na posterior execução de um pano de alvenaria leve de tijolo, separado do isolamento térmico e do suporte por uma caixa-de-ar [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Guimarães, 2011)].

A contra-fachada em placas de gesso laminado é realizada através de uma estrutura de apoio metálica ou em madeira, fixa mecanicamente ao paramento interior da fachada e que suporta as placas de gesso laminado. Por sua vez, o isolamento térmico é aplicado junto à parede pré-existente, estando desligado das placas de gesso laminado [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Guimarães, 2011)]. Esta solução diferencia-se da solução de reforço térmico com placas isolantes pré-fabricadas com revestimento aderente, pelo facto de, no caso da solução com contra-fachada, o revestimento em gesso laminado é não aderente, ou seja este não é fixado diretamente ao isolamento térmico, podendo existir uma pequena caixa-de-ar intermédia. A caixa-de-ar deve ter uma espessura de pelo menos 20 mm [Silva, 2013]. Devem ser garantidas boas condições de suporte, para a fixação mecânica da estrutura de apoio [Silva, 2013].

Em situações que não requeiram soluções com resistências térmicas muito elevadas, como em casos em que se verifique um clima ameno e moderado e com exigências térmicas menos gravosas, uma solução de reabilitação possível passa pela execução de apenas uma contra-fachada (em alvenaria de tijolo ou em placas de gesso laminado), criando uma parede dupla, com uma caixa-de-ar, excluindo-se a aplicação do isolamento térmico [Appleton, 2011].

3.5.7 Revestimento da parede com argamassas térmicas

Esta solução consiste na aplicação de revestimentos com características termicamente superiores aos revestimentos tradicionais, sendo constituídos por argamassas de agregados leves, cuja massa volúmica é inferior a 600 kg/m^3 [Malanho & Veiga, 2012]. Estes rebocos podem incorporar adições que melhoram o seu isolamento térmico, como por exemplo grânulos de EPS (Figura 3.29), ICB (Figura 3.30), perlite, vermiculite e vidro expandido [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Correia, 2014)]. O revestimento é formado por duas camadas, aplicando-se inicialmente o reboco isolante diretamente no suporte, normalmente por projeção, e posteriormente é aplicada uma camada de acabamento armado com uma rede de fibra de vidro, para garantir a resistência mecânica da solução [Malanho & Veiga, 2012].



Figura 3.29: Argamassa térmica projetada com agregados em EPS [Correia, 2010]



Figura 3.30: Argamassa térmica projetável agregados de ICB [Secil Argamassas, 2014]

As argamassas térmicas podem ser aplicadas pelo interior ou pelo exterior de fachadas, tanto em construção nova de edifícios como em obras de reabilitação, dado que existem formulações de argamassas térmicas compatíveis com suportes antigos (como por exemplo, argamassas à base de cal) [(Aguiar & Monteiro, 2004), (Correia, 2014)].

As argamassas térmicas estão sujeitas a marcação CE, tendo de respeitar a norma harmonizada EN 998-1 [CEN, 2010], que exige nomeadamente uma classe de reação ao fogo A1 (se o material for orgânico), um fator de resistência à difusão do vapor de água (μ) inferior a 15 e um coeficiente de capilaridade de classe w1, cujo valor tem de ser inferior ou igual a $0,4 \text{ [kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}]$ [Malanho & Veiga, 2012].

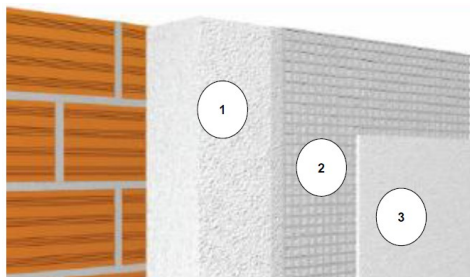
Comparativamente com as argamassas tradicionais, que possuem, de acordo com o ITE 50 [Matias & Santos, 2006], um coeficiente de condutibilidade térmica de $1,3 \text{ [W/(m} \cdot \text{°C)]}$, para uma massa volúmica seca de $1800 \text{ a } 2000 \text{ kg/m}^3$, as argamassas térmicas possuem melhores propriedades térmicas, uma vez que o requisito térmico para estas argamassas, segundo a EN 998-1 [CEN, 2010], obriga a valores para o coeficiente de condutibilidade térmica inferiores ou iguais a $0,1 \text{ [W/(m} \cdot \text{K)]}$, para a categoria T1 e inferiores ou iguais a $0,2 \text{ [W/(m} \cdot \text{K)]}$, para a categoria T2 [Correia, 2014].

No entanto, para a sua aplicação, é necessário analisar a relação entre a espessura de argamassa térmica a executar e os valores de U que se obtém para as soluções construtivas reabilitadas, de forma a determinar qual a espessura necessária a aplicar em fachadas de edifícios antigos, para que se obtenham valores de U que cumpram os requisitos térmicos. Para isso, apresentam-se de seguida algumas soluções de argamassa térmicas existentes no mercado.

Uma das soluções existentes no mercado é uma argamassa térmica projetável mecanicamente, constituída por ligantes mistos, agregados de muito baixa densidade EPS e adições, destinada à execução de rebocos exteriores e interiores de fachadas [Correia, 2010]. Segundo o catálogo, esta solução é aplicável tanto em

suportes de alvenaria de tijolo, betão, blocos de betão e alvenaria de pedra, é permeável ao vapor de água e possui um coeficiente de condutibilidade térmica de 0,069 [W/(m.K)] [Secil Argamassas, 2014].

Este sistema é constituído por uma camada de argamassa térmica projetada com uma espessura de 2 a 10 cm, seguida de uma camada regularização, que tem como objetivo regularizar a superfície e conferir maior resistência mecânica à solução, sendo armada com uma rede de fibra de vidro, e por fim seguida de uma camada de acabamento (areado fino ou acrílico colorido, sendo que no segundo caso é aplicado um primário) [Correia, 2010]. Na Figura 3.31 apresenta-se esquematicamente a solução com acabamento areado fino. A espessura a aplicar pode variar entre os 2 e os 10 cm, permitindo diferentes valores de U da solução construtiva, sendo que segundo os valores apresentados pelo fabricante é necessário aplicar, por exemplo, para uma alvenaria de pedra de 60 cm de espessura, uma argamassa com 10 cm de espessura, para que seja possível verificar as exigências regulamentares atuais, para zonas climáticas I1, ou seja para que se possa verificar um valor de U inferior a 0,5 [W/(m².°C)] [Secil Argamassas, 2014].



1. Argamassa térmica
2. Barramento armado
3. Acabamento fino

Figura 3.31: Sistema de revestimento com argamassa térmica projetada com agregados em EPS [adaptado de [Correia, 2010]]

No mercado também existe uma solução de argamassa térmica (Figura 3.32), que se trata de um reboco mineral isolante, aplicado por projeção mecânica ou manual. Segundo o fabricante, este reboco é compatível com suportes antigos, tratando-se de um ligante à base de cal, com baixa densidade, elevada permeabilidade ao vapor de água e com um coeficiente de condutibilidade térmica de 0,042 [W/(m.K)] [Weber, 2016]. Segundo os valores apresentados em [Weber, 2016], este sistema permite obter valores de U inferiores a 0,5 [W/(m².°C)] em paredes antigas de pedra calcária (2500-2700 kg/m³) com 60 cm de espessura, argamassa térmica com 6 cm de espessura e reboco interior de 2 cm de espessura, verificando os requisitos térmicos para a zona climática I1.

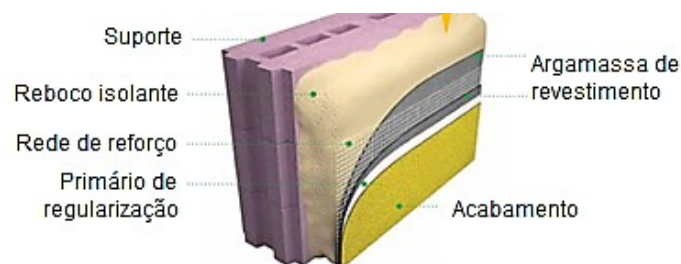


Figura 3.32: Sistema de argamassa térmica [adaptado de [Weber, 2016]]

Outra solução, que melhora o desempenho térmico das argamassas, é a incorporação de materiais de mudança de fase (PCM – “Phase Change Material”). Os PCM’s são materiais que têm a capacidade de mudar de estado em função da temperatura ambiente. Quando a temperatura ambiente aumenta e ultrapassa o ponto de fusão do PCM, este passa do estado sólido ao estado líquido e nesta passagem absorve e armazena a energia calorífica ambiente. Seguidamente, quando a temperatura ambiente ultrapassa o ponto de solidificação do PCM, este passa do estado líquido ao estado sólido e nesta passagem liberta o calor que havia anteriormente armazenado, até solidificar [Aguiar, Alves, & Cunha,

2012]. Assim, os PCM's têm a capacidade de armazenar calor, quando a temperatura ambiente é mais elevada (durante o dia), e de libertar o calor retido, quando a temperatura ambiente é inferior (durante a noite). [Aguiar & Monteiro, 2004]. Logo, esta propriedade dos PCM's contribui para o aumento do conforto térmico interior dos edifícios, uma vez que reduz a magnitude das flutuações de temperatura no espaço interior, otimizando a inércia térmica das fachadas [(Aguiar, Alves, & Cunha, 2012), (Almendros-Ibáñez, *et al.*, 2012), (Bosch, *et al.*, 2016)].

Os PCM's podem dividir-se em materiais orgânicos, como os parafínicos e os não-parafínicos (ácidos gordos e polietileno glicol), em materiais inorgânicos, como os sais hidratados (PCM mais estudado) e os sais metálicos, e em misturas eutécticas (composição de dois ou mais compostos de natureza orgânica, inorgânica ou ambas [(Aguiar, Alves, & Cunha, 2012), (Almendros-Ibáñez, *et al.*, 2012)]. A sua incorporação é feita por encapsulamento, podendo ser através de microencapsulamento ou macroencapsulamento [Aguiar, Alves, & Cunha, 2012].

A formulação de rebocos com PCM é feita através da substituição de uma porção de areia por PCM. A percentagem ideal de PCM a incorporar na argamassa deve ser analisada através de ensaios laboratoriais, pois caso a quantidade de PCM aplicada seja insuficiente, este não irá adquirir as propriedades térmicas adequadas, e caso seja excessiva, reduzirá a resistência mecânica da argamassa, dado que a resistência mecânica do PCM é inferior à dos restantes componentes da argamassa e dado que com o aumento da percentagem de PCM, exige-se uma maior quantidade de água, por razões de trabalhabilidade da argamassa [Bosch, *et al.*, 2016]. Segundo Aguiar, Alves, & Cunha [2012], a argamassa térmica com melhor comportamento é a que tem incorporado 20% de PCM.

Existem também estudos que procuram determinar qual a temperatura ótima de mudança de fase do PCM, que maximiza a sua capacidade de armazenar e libertar calor, sendo que segundo os ensaios realizados por Almendros-Ibáñez, *et al.* [2012], a temperatura ideal não é exata, variando de 5°C a 35°C [Bosch, *et al.*, 2016]. A incorporação de PCM para melhoria do desempenho térmico de argamassas é algo que tem vindo a ser estudado nos últimos tempos e já existem atualmente algumas soluções comerciais [Aguiar, Alves, & Cunha, 2012].

3.6 Vantagens e condicionantes de cada solução de isolamento térmico

3.6.1 *External Thermal Insulation Composite System (ETICS)*

A reabilitação térmica com recurso a ETICS revela-se ser, do ponto de vista energético, uma das soluções mais eficiente [(Alves, *et al.*, 2011), (Anselmo, *et al.*, 2004), (Braga, *et al.*, 2009)]. Esta solução, ao ser aplicada pelo exterior, permite que o isolamento térmico seja contínuo ao longo da fachada, o que por conseguinte permite a correção das pontes térmicas planas e lineares, responsáveis não só pelo aumento de trocas de calor com o exterior, mas também pelo aparecimento de condensações internas e superficiais no paramento interior da fachada. Assim, através da aplicação de ETICS, é possível mitigar a ocorrência de anomalias, como fungos e bolores, causadas pela existência de paramentos húmidos [(ACEPE, 2014), (Alves, *et al.*, 2011), (Braga, *et al.*, 2009)].

Uma vantagem da aplicação de ETICS, bastante relevante em casos de reabilitação de edifícios

antigos, é o facto de sendo o isolamento térmico aplicado pelo exterior, este permite tirar partido da forte inércia térmica comum em fachadas de edifícios antigos [(ACEPE, 2014), (Alves, *et al.*, 2011), (Braga, *et al.*, 2009)]. Ao estar aplicado pelo exterior, o isolamento térmico possibilita a existência de trocas de calor entre a parede exterior e o ambiente interior, pois a massa da parede está em contacto direto com o ar interior. Desta forma, através de uma intervenção de reabilitação térmica com recurso a ETICS, é possível aumentar a resistência térmica da parede, mantendo a sua capacidade de armazenar calor (Figura 3.33) [Appleton, 2011]. Caso o isolamento térmico seja aplicado pelo interior, cria-se uma barreira à passagem de calor entre a parede exterior e o ar interior, que impede a absorção e posterior libertação de calor pela parede para o ambiente interior, anulando assim a inércia térmica das fachadas (Figura 3.34) [Braga, *et al.*, 2009].

O comportamento do material isolante do ETICS também influencia o fenómeno de inércia térmica das fachadas, existindo materiais com capacidade superior de produzir maiores tempos de atraso da onda térmica, como é o caso do ICB, comparativamente com outros materiais como o EPS, o MW e o XPS [(ITeCons, 2010), (Malanho & Veiga, 2012)].



Figura 3.33: Efeito do isolamento pelo exterior na inércia térmica [Gomes & Silva, 2015]

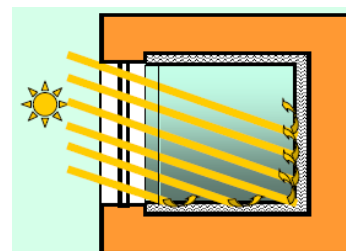


Figura 3.34: Efeito do isolamento pelo interior na inércia térmica [Gomes & Silva, 2015]

O ETICS, ao ser aplicado pelo exterior, cria não só uma menor perturbação da comodidade dos ocupantes (Figura 3.35), comparativamente com soluções de reforço térmico pelo interior cuja aplicação exige intervenção pelo interior do edifício, como também mantém intacta a área do espaço interior dos edifícios [(ACEPE, 2014), (APFAC, 2015), (Silva, 2013)].

Além disso, o ETICS funciona como barreira protetora do suporte contra os agentes atmosféricos, tais como, variações higrotérmicas (ciclos de absorção e evaporação de água e variações térmicas), penetração de água e incidência de radiação solar, contribuindo para o aumento de durabilidade das fachadas [(ACEPE, 2014), (APFAC, 2015), (Braga, *et al.*, 2009)]. Contudo, ao estar exposto aos agentes climatéricos, verifica-se muitas vezes a existência de anomalias em fachadas com ETICS, como destacamento, manchas ou fendilhação do seu revestimento [(Nunes, 2008), (Silva, 2013)]. Logo como prevenção, o ETICS deve ser aplicado corretamente e deve existir uma manutenção periódica dos edifícios [Brito, *et al.*, 2016].

A utilização de ETICS, em obras de reabilitação de fachadas, permite, tal como ilustra a Figura 3.36, a correção de anomalias existentes em rebocos ou revestimentos antigos, como fissuras, manchas, irregularidades, e oferece uma renovação estética aos edifícios reabilitados, dispondo de vários tipos de acabamentos possíveis [(ACEPE, 2014), (APFAC, 2015), (Brito, *et al.*, 2016)]. Desta forma, a colocação de isolamento térmico pelo exterior é uma mais-valia para edifícios antigos cuja envolvente se encontra com um certo estado de degradação, atuando simultaneamente ao nível do desempenho

térmico e ao nível da funcionalidade estética das fachadas, melhorando assim o seu estado de conservação [(Appleton, 2011), (Brito, *et al.*, 2016)]. Assim sendo, o ETICS pode ser recomendado para edifícios cujo revestimento necessite de ser substituído [(Guimarães, 2011), (Nunes, 2008)].

Todavia, se para certos edifícios a renovação do aspeto exterior é uma vantagem, para outros edifícios, a alteração do aspeto exterior pode ser uma desvantagem. A aplicação de ETICS não permite a preservação da aparência original do edifício, uma vez que é executada exteriormente sobre a fachada pré-existente. Por esse motivo, esta solução não é apropriada para a reabilitação térmica de edifícios antigos com valor arquitetónico ou patrimonial pois, devido à sua relevância, o aspeto exterior destes edifícios deve ser preservado [(Brito, *et al.*, 2016), (Nunes, 2008)]. Desta forma, o constrangimento arquitetónico e cultural é provavelmente o maior impedimento para a opção de aplicar ETICS, sob o risco de descaracterizar o traço arquitetónico e perder a referência patrimonial destes edifícios.

O ETICS é uma solução de isolamento de rápida e simples aplicação, exceto em fachadas que possuam bastantes saliências e ornamentos, como varandas, guarnição de portas e janelas, socos, cornijas e colunas/pilastras, que dificultam o processo de execução de ETICS, pois exigem maior complexidade na execução dos remates, sendo que se os remates não forem corretamente executados, estes constituirão pontos singulares de fluxo de calor [(Alves, *et al.*, 2011), (Nunes, 2008), (Silva, 2013)]. Além disso e indo ao encontro do aspeto referido no parágrafo anterior, a sua aplicação pode comprometer a própria arquitetura da fachada, dado que a sua aplicação interfere com os elementos existentes, como por exemplo a guarnição em pedra dos vãos, que perdem a sua função e a sua importância estética, pois devido à espessura do ETICS, estes deixam de ser elementos salientes na fachada [Brito, *et al.*, 2016]. Nesse sentido, pode existir a necessidade de alterar ou substituir os elementos da fachada, com a consequência de possível descaracterização dos traços arquitetónicos dos edifícios antigos.

Existem estudos que vêm propor medidas de integração arquitetónica do ETICS na reabilitação, sendo que segundo Brito, *et al.* [2016] existem soluções possíveis como: a redução da espessura do isolamento térmico, junto à guarnição dos vãos (com resultado de integração arquitetónica médio); a remoção e recolocação da guarnição dos vãos após colocação do isolamento térmico (com resultado de integração arquitetónica bom); o prolongamento do peitoril existente através do ETICS reforçado com perfis metálicos (com resultado de integração arquitetónica razoável, embora só seja exequível em peitoris rebocados), entre outros, sendo que geralmente quanto melhor forem as medidas de integração arquitetónica do ETICS, maior o custo associado. É de mencionar que o referido estudo destina-se a edifícios de habitação construídos a partir de meados do século XX. Deve-se por isso analisar, em cada caso de reabilitação, as limitações envolvidas como: a necessidade de preservar a arquitetura do edifício, através da ponderação do quão se pode alterar o aspeto exterior das fachadas; a viabilidade económica e técnica das soluções de remates do sistema analisadas, entre outros.

Comparativamente com outras soluções, como por exemplo o reforço do isolamento térmico de fachadas pelo interior, a execução de ETICS possui um custo mais elevado [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Guimarães, 2011)]. Em zonas expostas ao público como é o caso dos pisos térreos, o ETICS está mais vulnerável a solicitações mecânicas (choques), comprometendo a sua durabilidade, tal como se pode observar na Figura 3.37 [(Alves, *et al.*, 2011), (Anselmo, *et al.*, 2004)]. Sendo, a resistência

mecânica do material isolante e o reforço do reboco com armadura (como rede de fibra de vidro), fatores importantes para a prevenção da degradação do sistema de isolamento térmico.

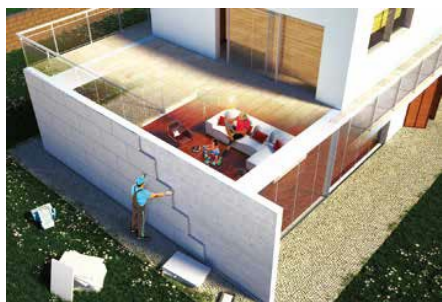


Figura 3.35: Reabilitação com ETICS, mantendo a atividade normal do edifício por ser executada no exterior [APFAC, 2015]



Figura 3.36: Renovação estética de fachadas com anomalias existentes, através da aplicação de ETICS [APFAC, 2015]



Figura 3.37: Degradação do ETICS, por suscetibilidade aos choques [Malanho & Veiga, 2012]

As obras para execução do ETICS estão expostas às condições climáticas, por serem executadas no exterior, o que pode comprometer as propriedades do sistema, se este for aplicado sob condições adversas, tais como chuva, neve, ventos fortes e radiação solar intensa [(APFAC, 2014), (Anselmo, *et al.*, 2004)]. Como consequência pode verificar-se, por exemplo, a aplicação do isolamento térmico sobre suportes encharcados ou insuficientemente secos, que por conseguinte conduz à falta de aderência do sistema ao suporte e à absorção de água pelo material isolante. Os constrangimentos atmosféricos podem conduzir também ao atraso na aplicação do reboco, que deve ser aplicado logo após a secagem do produto de colagem, para que o isolamento térmico não fique sujeito a uma exposição prolongada à radiação solar (que em aproximadamente 4 dias provoca a deterioração do material), comprometendo assim a eficácia e durabilidade do isolamento térmico [(Anselmo, *et al.*, 2004), (APFAC, 2014), (Nunes, 2008)].

No caso de fachadas nas quais se verifique a existência de humidades ascensionais, a utilização de ETICS deve ser evitada, uma vez que o ETICS impede a evaporação do vapor de água que circula por capilaridade na parede, aumentando consequentemente a carga de humidade presente no suporte. O mesmo se aplica a suportes muito espessos e porosos, através dos quais é fácil a passagem do vapor de água, pois com a aplicação de ETICS introduz-se uma barreira à libertação do vapor de água [APFAC, 2015], em particular com a utilização de materiais isolantes resistentes à difusão do vapor de água como é o caso do XPS, sendo mais apropriada nestes casos a utilização de matérias mais permeáveis como o MW e o ICB. Consequentemente, em ambos os casos, a barreira criada pelo ETICS poderá conduzir ao aparecimento de manchas no paramento interior da fachada e à degradação do próprio isolamento térmico [Nunes, 2008].

3.6.2 Fachada ventilada

Sendo um sistema de isolamento térmico aplicado pelo exterior, a adoção da fachada ventilada está sujeita praticamente aos mesmos condicionalismos que o ETICS (como por exemplo, dificuldade de execução de remates em saliências e ornamentos; não preservação do aspeto original das fachadas, entre outros); e possui maioritariamente as mesmas vantagens (como por exemplo, proteção do suporte contra agentes atmosféricos; otimização da inércia térmica das paredes; correção de pontes térmicas e redução da probabilidade de ocorrência de condensações; renovação estética; manutenção da área útil interior; aplicação sem perturbação do normal funcionamento do edifício, entre outros). Assim, as

fachadas ventiladas podem também ser recomendadas para edifícios antigos com elevado estado de degradação do revestimento exterior, que deve ser removido e substituído, por motivos de melhoria do estado de conservação exterior nas fachadas. Contudo, não é sugerida a sua adoção em edifícios com valor histórico ou arquitetónico, sob risco de descaracterizar o edifício.

Convém, no entanto, referir que esta é uma solução bastante eficiente do ponto de vista energético, pois, não só é aplicada pelo exterior, como a caixa-de-ar existente permite um melhor isolamento térmico e também acústico [Nunes, 2008].

A ventilação natural da fachada, feita através da circulação da lâmina de ar existente nesta solução, reduz, durante o Inverno, o risco de condensações internas, pois mantém o suporte e o isolamento térmico secos, uma vez que permite a saída ou evaporação da água pela caixa-de-ar, quer se trate de água de infiltração que entre acidentalmente através das juntas do revestimento para o interior da câmara-de-ar, como também de vapor de água, proveniente do interior do edifício e que atravessa o suporte e o isolamento térmico e sai pela câmara-de-ar [(ACEPE, 2014), (Alves, *et al.*, 2011), (Braga, *et al.*, 2009)]. No entanto, existe a possibilidade de ocorrência de condensações na superfície exterior do revestimento, propiciando o aparecimento de manchas e bolores no acabamento da fachada ventilada [Nunes, 2008]. No Verão, a radiação solar absorvida pela fachada é retida na caixa-de-ar, impedindo o sobreaquecimento do espaço interior e assim melhorando o conforto térmico do interior do edifício [Nunes, 2008].

Contudo, e como já mencionado na descrição das fachadas ventiladas, o facto de existir uma caixa-de-ar ao longo da fachada, propicia a propagação do fogo entre pisos, em caso de incêndio. Para prevenir esta desvantagem, devem ser tomadas as medidas anteriormente descritas no subcapítulo 3.5.2.

A fachada ventilada possui um revestimento formado por peças descontínuas fixadas separadamente à estrutura de suporte, o que permite uma fácil colocação e substituição das peças danificadas que constituem o revestimento, facilitando o processo de manutenção e aumentando a durabilidade do sistema de isolamento térmico [Nunes, 2008]. Os revestimentos, constituídos por materiais como a pedra natural, são mais resistentes ao choque, comparativamente com o ETICS [Alves, *et al.*, 2011].

No caso de sistemas com o revestimento aderente ao isolamento térmico (isto é, sem lâmina de ar), deve ser garantida a compatibilidade do ponto de vista de variações dimensionais, entre os materiais, de forma a evitar variações entre as respetivas dilatações térmicas e o conseqüente desenvolvimento de tensões entre o isolamento térmico e o revestimento. Contrariamente, na fachada ventilada, as placas que formam o revestimento são elementos desligados do isolamento térmico, logo estas não estão sujeitas à ocorrência de fissurações criadas por tensões entre o revestimento e o isolamento térmico, o que permite que o isolamento térmico e o revestimento não tenham de ser completamente compatíveis [(Nunes, 2008), (Braga, *et al.*, 2009)]. Desta forma, a solução de revestimento da fachada ventilada dota este tipo de solução de isolamento térmico de uma elevada durabilidade. A variedade de escolha quanto às placas de revestimento torna esta solução bastante atrativa.

Embora este sistema possa ser aplicado em qualquer tipo de suporte com uma espessura mínima recomendável de 20 cm, é necessário garantir a resistência e a estabilidade do suporte, face às solicitações impostas sobretudo: pela estrutura de fixação, que cria a caixa-de-ar e que é fixada à alvenaria; e pelo

revestimento exterior cujos esforços são transmitidos ao suporte através das fixações [(Mendes, 2009), (Silva, 2012)]. Assim sendo, a aplicação desta solução pode não ser apropriada em edifícios antigos, pois embora as suas fachadas sejam elementos tipicamente pesados, o estado de conservação (resistência, estabilidade e coesão) da alvenaria pode comprometer a sua aplicação, devendo este ser verificado.

Embora a fachada ventilada seja uma solução com ótimo desempenho térmico, um dos fatores mais condicionantes na escolha desta solução é o seu elevado custo de investimento, dado que os materiais utilizados para o revestimento (como pedra natural e ladrilhos cerâmicos) são acabamentos dispendiosos e dado que a instalação de fachadas ventiladas requer mão-de-obra especializada [(Alves, *et al.*, 2011), (Nunes, 2008)].

3.6.3 Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas

A injeção de isolamento na caixa-de-ar em edifícios antigos com paredes duplas é uma solução especialmente vantajosa quando se pretende manter intacto o aspeto dos paramentos interior e exterior das fachadas. Isto porque, a aplicação do isolamento térmico é feita apenas por furos de injeção localizados pontualmente na fachada, logo a reposição dos paramentos reduz-se a um mínimo de operações, que se limitam à vedação dos furos realizados [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Guimarães, 2011), (Silva, 2012)]. Assim sendo, trata-se de uma solução de isolamento térmico que permite a preservação do valor arquitetónico dos edifícios reabilitados.

Dado que o isolamento térmico é aplicado na caixa-de-ar de paredes duplas, é possível manter intacta a área útil interior dos edifícios, contudo não protege a fachada das ações exteriores provocadas pelos agentes atmosféricos, dado que é aplicada pelo exterior, e não elimina as pontes térmicas, por ser uma solução descontínua ao longo da fachada. Esta solução reduz a inércia térmica, mas não a anula completamente, pois o isolamento térmico cria uma barreira às trocas de calor entre o pano exterior e o ambiente interior do edifício, mas permite manter alguma inércia térmica, conseguida através da massa do pano interior que por estar em contacto com o ambiente interior, consegue absorver e posteriormente libertar calor para o ambiente interior, contribuindo para a amortização das flutuações térmicas dentro do edifício.

A aplicação desta solução requer mão-de-obra especializada [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Knauf Insulation, 2012)]. E a sua execução torna-se complexa em fachadas recortadas, ou com geometria irregular, ou com ligadores entre panos.

As condições existentes da caixa-de-ar podem comprometer o desempenho desta solução de isolamento térmico. Se a espessura da caixa-de-ar for pequena ou se nela estiverem contidos detritos ou argamassa, a distribuição homogénea do isolamento térmico ao longo da fachada é comprometida [(Anselmo, *et al.*, 2004), (Appleton, 2011), (Guimarães, 2011)]. Assim, a operação de injeção de isolamento na caixa-de-ar é principalmente condicionada pela dificuldade de garantia da sua eficácia [Appleton, 2011].

3.6.4 Isolamento térmico pelo interior

Pelas razões descritas anteriormente, esta é a solução mais adequada para edifícios antigos com valor histórico ou arquitetónico, dado que não têm qualquer impacto no especto exterior da fachada [(ACEPE, 2014), (Alves, *et al.*, 2011), (Berardinis, *et al.*, 2014)]. Também no caso de edifícios com acabamentos

complexos, com saliências e ornamentos, o isolamento térmico pelo interior é mais utilizado [Nunes, 2008].

Embora uma solução de isolamento térmico pelo interior não atua ao nível da aparência exterior da fachada, caso se verifique que o revestimento exterior se encontra degradado, mas que se considere mais viável a aplicação do isolamento térmico pelo interior, pode-se substituir o reboco existente, não sendo um impedimento atuar também ao nível da recuperação do aspeto exterior da fachada [Nunes, 2008].

Os sistemas de isolamento térmico pelo interior são simples de aplicar e mais económicos, comparativamente com as soluções de isolamento térmico pelo exterior [(Appleton, 2011), (Nunes, 2008), (Guimarães, 2011)]. A implementação de placas pré-fabricadas (isolamento térmico com revestimento aderente) é uma operação rápida, uma vez que efetua-se a aplicação do isolamento térmico e do revestimento interior na mesma operação [ACEPE, 2014].

O isolamento térmico, ao ser aplicado pelo interior, diminui a área útil do edifício, principalmente quando existe uma caixa-de-ar, sendo a solução com contra-fachada em alvenaria de tijolo o caso que mais condiciona a área útil interior do edifício. Assim sendo, a solução de placas isolantes pré-fabricadas com revestimento aderente e a solução em ITICS são as soluções pelo interior que melhor otimizam o espaço interior [(ACEPE, 2014), (Alves, *et al.*, 2011), (CCE, 2000)]. No entanto, embora as soluções de isolamento térmico pelo interior com caixa-de-ar retirem maior área útil, estas proporcionam um melhor desempenho térmico e acústico da fachada, comparativamente às soluções pelo interior sem caixa-de-ar, sendo que a solução com contra-fachada em alvenaria de tijolo é aquela que oferece maior resistência térmica às trocas de calor [Nunes, 2008]. Além disso, a existência da caixa-de-ar funciona como proteção do ambiente interior face a humidades [Appleton, 2011], criando uma barreira à movimentação da água vinda do exterior e permitindo a evaporação do vapor de água, especialmente se a caixa-de-ar for ventilada [Nunes, 2008].

A introdução de uma contra-fachada em alvenaria de tijolo exige uma avaliação estrutural, pois o seu peso próprio pode introduzir esforços significativos na estrutura [Alves, *et al.*, 2011].

As obras de implementação do isolamento térmico são realizadas no interior do edifício, o que condiciona o seu normal funcionamento, criando um constrangimento para os seus utilizadores [(Alves, *et al.*, 2011), (Appleton, 2011)].

Ao ser aplicado pelo interior, o sistema de isolamento térmico não atua como camada protetora da fachada contra o exterior, deixando-a exposta aos agentes atmosféricos (Appleton, 2011). Assim sendo, as anomalias que possam existir num edifício antigo, devido a variações hidrotérmicas, como fissurações, empolamento e destacamento do revestimento exterior), têm elevada possibilidade de se repetir após a reabilitação térmica da fachada, uma vez que sendo o isolamento térmico colocado pelo interior, a fachada contínua exposta aos mesmos fenómenos [Nunes, 2008].

Como já havia sido mencionado, a aplicação do isolamento térmico pelo interior das fachadas elimina a inércia térmica da envolvente [(Alves, *et al.*, 2011), (Appleton, 2011)]. No caso da contra-fachada em alvenaria de tijolo, esta permite que haja alguma inércia térmica, derivada da massa do pano adicionado à parede existente, visto que o pano de alvenaria de tijolo se encontra do lado interior do isolamento térmico [Alves, *et al.*, 2011]. Além disso, o isolamento térmico pelo interior é descontínuo ao longo da fachada, logo não se consegue eliminar as pontes térmicas, obtendo-se uma performance térmica menos

eficiente e permanecendo o risco de ocorrência de condensações na fachada [(CCE, 2000), (Nunes, 2008)]. Além disso, a aplicação do isolamento térmico pelo interior potencia o risco de ocorrência de condensações internas na interface entre o isolamento térmico e o suporte [Alves, *et al.*, 2011].

3.6.5 Revestimento da parede com argamassas térmicas

O recurso a argamassas térmicas é uma das soluções com maior facilidade de aplicação, adequando-se a qualquer tipo de geometria das fachadas e a qualquer tipo de pormenores presentes nas fachadas [Correia, 2014]. Além disso possui uma aderência contínua ao suporte.

Para além da melhoria térmica das fachadas, estas argamassas permitem também um incremento das propriedades acústicas da envolvente, sendo que segundo Correia [2014], estas apresentam um desempenho acústico melhorado comparativamente com outras soluções. Estes revestimentos possuem uma adequada permeabilidade ao vapor de água [Correia, 2014], deixando a parede “respirar”, o que é um aspeto vantajoso em suportes porosos como os que existem em edifícios antigos, caso contrário o revestimento impediria a passagem do vapor de água presente no suporte, acumulando-se água na interface entre o suporte e o revestimento, que criaria tensões na interface, e conduziria à degradação do revestimento implementado, comprometendo assim a durabilidade da solução.

Porém, é uma solução 2 a 3 vezes menos eficaz que a maioria das soluções, pois não tem o mesmo comportamento térmico que os isolamentos térmicos propriamente ditos, tendo um coeficiente de transmissão térmica superior, o que impede que esta solução cumpra facilmente os requisitos térmicos expectáveis, logo é muitas vezes utilizada em simultâneo com outras soluções de isolamento térmico, servindo como solução de complemento [Anselmo, *et al.*, 2004].

3.7 Conclusões do capítulo

Com este capítulo conclui-se que as preocupações ambientais da atualidade despoletaram um interesse crescente pela adoção de medidas que promovam a eficiência energética dos edifícios. Embora ainda haja muito a fazer em Portugal para diminuir os consumos energéticos, existem metas quanto à redução dos consumos, acordadas pelos vários estados membros da EU, sendo que para o sector da construção existe atualmente uma regulamentação que define os requisitos térmicos a verificar em edifícios, de forma a mitigar os seus consumos energéticos em equipamentos de climatização do espaço interior. Dado que as normas são relativamente recentes, os edifícios antigos não dispõem de envolventes que por si só garantam as condições de conforto térmico desejadas pelos utilizadores, embora as fachadas antigas tenham algumas características térmicas interessantes como uma forte inércia térmica. A regulamentação atual prevê a isenção de verificação térmica para a reabilitação de edifícios de habitação construídos há pelo menos 30 anos, caso sejam devidamente justificadas as limitações envolvidas numa intervenção de reabilitação. De forma a contornar possíveis inviabilidades económicas, existem financiamentos externos para aplicação de isolamento térmico em fachadas e coberturas de edifícios habitacionais construídos até 1990. A obrigação de apresentação de certificação energética de edifícios e frações existentes, no ato de venda ou aluguer, funciona também como incentivo à reabilitação térmica.

As soluções de reforço do isolamento térmico de fachadas contribuem não só para o aumento do

coeficiente de transmissão térmica das fachadas, mas também contribui para a prevenção da ocorrência de anomalias como manchas de humidade, fungos e bolores, desenvolvidos nas superfícies sujeitas a condensações superficiais, principalmente se o isolamento térmico for aplicado pelo exterior.

Existem várias soluções a ponderar numa obra de reabilitação térmica em fachadas: ETICS; fachada ventilada; e isolamento térmico pelo interior, como ITICS, placas isolantes pré-fabricadas com revestimento aderente, isolamento térmico com contra-fachada em gesso laminado ou alvenaria de tijolo; e argamassas térmicas. As suas vantagens e desvantagens apresentam-se, de forma sintetizada, na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Síntese das vantagens e desvantagens das diversas soluções de isolamento térmico aplicadas em fachadas

Solução	Vantagens	Desvantagens
ETICS	<ul style="list-style-type: none"> Bastante eficiente do ponto de vista térmico Correção das pontes térmicas e consequente redução do risco de condensações Preservação da inércia térmica Rápida e simples aplicação em paramentos pouco ornamentados Comodidade dos ocupantes Mantém intacta a área do espaço interior Renovação estética das fachadas Funciona como barreira protetora do suporte contra os agentes atmosféricos 	<ul style="list-style-type: none"> Problemas de durabilidade do revestimento do sistema (presença frequente de anomalias) Exige manutenção periódica Não permite a preservação da aparência original de edifícios com valor arquitetónico ou patrimonial Complexidade de execução de remates devido a constrangimentos arquitetónicos Custo de investimento elevado Vulnerável a solicitações mecânicas (choques) Execução expostas às condições climatéricas Não é apropriado para fachadas com humidades ascensionais e/ou muito porosas
Fachada ventilada	<ul style="list-style-type: none"> Bastante eficiente do ponto de vista térmico Correção das pontes térmicas e consequente redução do risco de condensações Preservação da inércia térmica Comodidade dos ocupantes Mantém intacta a área do espaço interior Renovação estética das fachadas Funciona como barreira protetora do suporte contra os agentes atmosféricos Reduz o risco de condensações internas no Inverno, e retém radiação solar, no Verão Fácil manutenção Elevada durabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> Não permite a preservação da aparência original de edifícios com valor arquitetónico ou patrimonial Complexidade de execução de remates devido a constrangimentos arquitetónicos Custo de investimento mais elevado Execução expostas às condições climatéricas Propicia a propagação do fogo entre pisos, se não for devidamente seccionada Exige que o suporte (alvenaria) tenha capacidades de resistência, estabilidade e coesão
Injeção de isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas	<ul style="list-style-type: none"> Manter intacto o aspeto dos paramentos interior e exterior das fachadas Manter intacto a área útil interior 	<ul style="list-style-type: none"> Não protege a fachada das ações exteriores provocadas pelos agentes atmosféricos Reduz a inércia térmica, mas não a anula completamente Não elimina as pontes térmicas Requer mão-de-obra especializada Complexidade de execução, dependendo das características da fachada A eficácia da sua aplicação depende das condições existentes da caixa-de-ar
Isolamento térmico pelo interior	<ul style="list-style-type: none"> Preservação do aspeto exterior em edifícios antigos com valor histórico ou arquitetónico Aplicação simples e económica 	<ul style="list-style-type: none"> Diminui a área útil do edifício Constrangimento para os seus utilizadores Não atua como camada protetora da fachada contra o exterior Elimina a inércia térmica Não elimina as pontes térmicas
Argamassas térmicas	<ul style="list-style-type: none"> Maior facilidade de aplicação Incremento das propriedades acústicas Permeabilidade ao vapor de água 	<ul style="list-style-type: none"> Menos eficaz termicamente que a maioria das soluções

Estes são os pressupostos teóricos, que se concluem da pesquisa bibliográfica realizada. Como complemento à discussão desta temática, interessa também analisar quais as soluções que mais se utilizam em obras de reabilitação, quais destas vantagens e desvantagens são identificadas na prática, e quais as limitações que surgem numa intervenção de reabilitação de edifícios antigos, sendo que este estudo será apresentado no capítulo seguinte.

4 Trabalho de campo

4.1 Considerações iniciais

De acordo com a bibliografia de referência, verifica-se que existe uma consciencialização quanto à necessidade de reduzir os consumos energéticos globais, para os quais o sector da construção contribui com uma parcela considerável. Assim sendo, a redução dos gastos energéticos para climatização dos edifícios é uma contribuição para a poupança energética do setor da construção. A eficiência energética é atualmente um fator exigido na construção nova de edifícios, através da regulamentação térmica. No entanto, esta preocupação deve também ser considerada na área da reabilitação, sendo que existe hoje em dia a obrigação de apresentar a classe energética de qualquer imóvel para venda ou aluguer, de forma a incentivar a consideração da eficiência energética na tomada de decisão de compra ou arrendamento de imóveis.

A reabilitação térmica apresenta vários desafios quando aplicada em fachadas de edifícios antigos, exigindo a análise quanto à viabilidade das diversas soluções de isolamento térmico existentes no mercado. Desta forma, consoante a obra de reabilitação, deve-se procurar recorrer à solução que melhor se ajusta aos condicionalismos presentes.

Para isso, nos capítulos anteriores foi apresentado o levantamento bibliográfico e estado da arte, que incidiu nas seguintes temáticas:

- As soluções construtivas de fachadas em edifícios antigos e as diferentes épocas construtivas;
- A importância de reabilitar edifícios antigos em Portugal - não só ao nível do estado de conservação dos elementos do edifício, mas também ao nível funcional, melhorando as condições de conforto térmico;
- O comportamento térmico das fachadas existentes em edifícios antigos;
- As exigências térmicas regulamentares e a certificação energética na reabilitação;
- As preocupações ambientais e as metas europeias para a redução dos consumos energéticos;
- As soluções existentes de isolamento e reabilitação térmica de fachadas.

No presente capítulo, pretende-se compreender a realidade existente no mercado relativamente à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos. Procura-se assim analisar, para diferentes casos de estudo, quais as razões que levam à adoção de uma determinada solução de isolamento térmico, em detrimento de outra, e quais as vantagens e condicionantes associadas. Tenta-se também perceber se, atualmente, a maioria das obras de reabilitação exclui a utilização de isolamento térmico nas fachadas antigas e quais as respetivas razões. Para isso, selecionaram-se algumas obras de reabilitação de edifícios antigos realizadas em Portugal, com diferentes realidades ao nível da correção térmica das fachadas, de forma a verificar se os pressupostos teóricos são transpostos para a prática de mercado. Em complemento, apresenta-se o parecer de especialistas na área da reabilitação, de forma a complementar as conclusões retiradas da análise aos diferentes casos de estudo. Por fim, propõe-se um modelo, apresentado num fluxograma, para apoio à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos, com base nos casos de estudo apresentados e nas entrevistas realizadas, permitindo

synthetizar as variáveis e condicionantes que devem ser analisadas numa intervenção de reabilitação em fachadas de edifícios antigos.

4.2 Metodologia de trabalho

A metodologia utilizada no trabalho de campo consiste na procura e análise de casos de estudo, que permitam tirar conclusões relativamente à aplicação de isolamento térmico nas fachadas, em intervenções de reabilitação de edifícios antigos (com época de construção até 1960). Para isso, o trabalho de campo passou pela procura de intervenções de reabilitação, em curso ou já concluídas, determinando quais as características pré-existentes dos edifícios reabilitados e quais as decisões de reabilitação adotadas para as fachadas.

Assim, procurou-se reunir casos de estudo em que estivesse prevista, ou já tivesse sido aplicada, alguma solução de isolamento térmico nas fachadas, com o intuito de analisar as vantagens e as condicionantes que levaram à decisão de optar por um determinado tipo de solução de isolamento térmico.

O trabalho de campo incidiu também na recolha de casos de estudo relativos a obras de reabilitação em que não tivesse sido aplicada qualquer solução de isolamento térmico nas fachadas existentes, com vista a: compreender as restrições envolvidas; determinar se se recorre preferencialmente a outros tipos de soluções de melhoria do desempenho térmico dos edifícios, em detrimento da utilização de isolamento térmico nas fachadas existentes.

De forma a facilitar a obtenção de informações relevantes para a análise dos casos de estudo foram realizadas fichas de inspeção, tendo-se optado pela formulação de dois modelos distintos: um destinado a obras de reabilitação com incorporação de isolamento térmico nas fachadas existentes; outro a obras nas quais não existiu correção térmica das fachadas existentes. Estas fichas tipo de inspeção são apresentadas nos Anexos 4.I e 4.II, respetivamente.

Foram estabelecidos 32 contactos, tendo-se obtido resposta de apenas 20, sendo que das respostas obtidas conseguiu-se reunir 12 casos de estudo. Para cada um foi possível fazer uma entrevista e preencher a ficha de inspeção e, na maioria dos casos, foi permitida também uma visita à obra em estudo, de forma a permitir obter informação mais detalhada. Além disso, em alguns casos de estudo foi ainda disponibilizada documentação relativa ao projeto de reabilitação.

Em simultâneo com o trabalho de campo, foram realizadas entrevistas a três especialistas na área da Reabilitação, com o intuito de obter o seu parecer sobre o tema em análise.

4.3 Caracterização dos casos incluídos no trabalho de campo

Os casos de estudo foram divididos em duas vertentes principais: obras de reabilitação com aplicação de solução isolamento térmico nas fachadas existentes; obras de reabilitação sem melhoria térmica das fachadas existentes. A segunda vertente engloba obras nas quais se aplicaram soluções de isolamento térmico apenas em fachadas novas e obras sem qualquer fachada melhorada termicamente. A descrição que se apresenta relativamente aos casos de estudo tem por base as

respostas obtidas pelo preenchimento das fichas de inspeção, a documentação disponibilizada (como peças escritas e desenhadas de arquitetura, projeto de verificação do comportamento térmico, projeto de condicionamento acústico, mapa de quantidades e arquivo fotográfico de obra, que foram fornecidos nalguns casos de estudo) e as informações obtidas nas entrevistas com os técnicos responsáveis.

4.3.1 Descrição de casos de reabilitação térmica de fachadas existentes

i) Caso de estudo A: Conjunto de edifícios na Av. Duque de Loulé, Lisboa

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação em curso de um conjunto urbano de quatro edifícios, delimitados na Figura 4.1, dos quais três se situam na Av. Duque de Loulé, Lisboa, e o restante se localiza na Rua Luciano Cordeiro, Lisboa, estando prevista a sua conclusão em Agosto de 2017. Os edifícios serão destinados a habitação, à exceção do piso térreo reservado a comércio.



Figura 4.1: Delimitação do conjunto urbano reabilitado do caso de estudo A [arquivo de obra]

Nesta obra foram reabilitados os três edifícios localizados na Av. Duque de Loulé, sendo que toda a estrutura (interior e exterior) do edifício de gaveto, de tipologia Gaioleira, foi preservada, enquanto que nos restantes edifícios apenas se mantiveram as fachadas e os núcleos de escadas existentes constituídos por paredes de alvenaria de pedra. A preservação destes elementos deveu-se ao interesse arquitetónico de influência Parisiense dos edifícios em causa, utilizando-se para o efeito estruturas de contenção das paredes. O número de pisos acima do solo manteve-se igual, tendo, no entanto, sido acrescentados quatro pisos enterrados, na escavação dos quais foram executadas estacas que permitiram suportar a estrutura existente que se manteve. O edifício situado na Rua Luciano Cordeiro corresponde a construção nova, uma vez que será construído de raiz, e por essa razão a descrição deste caso de estudo não abrange o projeto deste edifício. Na Figura 4.2 apresentam-se os edifícios em fase de obra e na Figura 4.3 é ilustrada a maquete virtual dos edifícios já reabilitados.

O edificado em estudo foi construído em 1904, tratando-se de uma construção Gaioleira com fachadas formadas por paredes simples de alvenaria ordinária de pedra com 70-80 cm de espessura e alvenaria mista de pedra e tijolo com 20 cm de espessura na zona envolvente dos vãos envidraçados (Figura 4.4 a) e b)). Os revestimentos são constituídos por rebocos de cal aérea, com acabamento em pintura e, em certas zonas, com elementos de cantaria. As fachadas desempenham um papel estrutural, garantindo a estabilidade dos edifícios, sendo que estas foram reforçadas através da aplicação de rede armada e projeção de betão com 8 cm de espessura.

Para esta reabilitação foi executado um projeto de Comportamento Térmico, que seguiu a regulamentação térmica de acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto [A.R., 2013b], e cumpriu os requisitos térmicos exigidos pelo REH para a área de habitação e pelo RECS para a área comercial.



Figura 4.2: Fachada dos edifícios A durante a fase de obra de reabilitação



Figura 4.3: Maquete virtual da fachada dos edifícios A após a intervenção de reabilitação [arquivo de obra]

Segundo o projeto, a solução da intervenção pelo exterior não será considerada, dada a necessidade de preservar os traços arquitetónicos e o aspeto exterior dos edifícios, uma vez que os edifícios constam na lista de Bens da Carta Municipal do Património Edificado e Paisagístico. De acordo com o PDM (Plano Director Municipal), devem ser preservadas as características arquitetónicas e deve ser respeitado o critério de autenticidade dos imóveis constantes nesta lista de forma a garantir o reconhecimento da sua época de construção e a preservação da identidade histórica e cultural da cidade.

Além disso, existe complexidade na execução de remates de um sistema de isolamento térmico pelo exterior num paramento exterior que possui uma diversidade de ornamentos e saliências, como varandas, guarnição dos vãos de portas e janelas, colunas/pilastras, cornijas e socos em cantaria, tal como se pode observar na Figura 4.5.



a)



b)

Figura 4.4: Fachada dos edifícios A



Figura 4.5: Pormenor do paramento exterior da fachada dos edifícios A

Desta forma, está por isso prevista a aplicação de isolamento térmico pelo interior das fachadas existentes através de placas isolantes compósitas pré-fabricadas com revestimento em gesso laminado. A fixação do sistema de isolamento térmico é realizada mecanicamente, através de uma estrutura de fixação que separa o isolamento térmico e as placas de gesso laminado do suporte, através de um espaço de ar não ventilado.

O projeto das fachadas pode dividir-se no geral em quatro soluções construtivas. As paredes exteriores diminuem de espessura na zona envolvente dos vãos envidraçados, existindo a aplicação de um material isolante distinto do material aplicado na zona corrente das fachadas. Assim, para a zona corrente da fachada será aplicada uma camada de 6 cm de XPS, enquanto que na zona envolvente

dos vãos envidraçados será aplicada uma camada de 6 cm de ICB. Não foi no entanto possível recolher mais informação para justificar as razões que levaram à decisão de utilizar diferentes materiais isolantes, com espessuras idênticas.

Além disso, a fachada de tardoz possui uma espessura inferior às restantes fachadas (principal, laterais e saguões entre edifícios), sendo por isso aplicada uma camada de betão no exterior e outra no interior, enquanto que nas restantes fachadas a projeção do betão é apenas feita pelo interior. Desta forma, as soluções construtivas das fachadas existentes são formadas pelos sistemas de isolamento térmico descritos, do exterior para o interior das fachadas, na Tabela 4.1, com o respetivo valor de U determinado no projeto de verificação do comportamento térmico.

Tabela 4.1: Descrição das soluções construtivas das fachadas, incluindo as soluções de isolamento térmico, do edifício A

	Zona Corrente da Parede	Zona envolvente dos vãos envidraçados
Fachadas principal, laterais e saguões entre edifícios	<p>Caso A: PE 1: U= 0,39 [W/m².°C]:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revestimento exterior (5 cm); • Alvenaria ordinária de pedra (80 cm); • Betão com rede armada (8 cm); • Espaço de ar não ventilado (1 cm); • XPS com 60 mm de espessura; • Sobreposição de duas placas de gesso laminado hidrofugado (1,5 cm cada placa); • Revestimento interior (2 cm) com camada de regularização e acabamento liso. 	<p>Caso A: PE 3: U= 0,47 [W/m².°C]:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revestimento exterior (5 cm); • Alvenaria mista de pedra e tijolo (20 cm); • Betão com rede armada (8 cm); • Espaço de ar não ventilado (1 cm); • ICB com 110-120 kg/m³ de massa volúmica e 60 mm de espessura; • Sobreposição de duas placas de gesso laminado hidrófugado (1,5 cm cada placa); • Revestimento interior (2 cm) com camada de regularização e acabamento liso.
Fachada de tardoz	<p>Caso A: PE 2: U= 0,39 [W/m².°C]:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revestimento exterior (3 cm); • Betão com rede armada (5 cm); • Alvenaria ordinária de pedra (70 cm); • Betão com rede armada (8 cm); • Espaço de ar não ventilado (1 cm); • XPS com 60 mm de espessura; • Sobreposição de duas placas de gesso laminado hidrofugado (1,5 cm cada placa); • Revestimento interior (2 cm) com camada de regularização e acabamento liso. 	<p>Caso A: PE 4: U= 0,46 [W/m².°C]:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revestimento exterior (3 cm); • Betão com rede armada (5 cm); • Alvenaria mista de pedra e tijolo (20 cm); • Betão com rede armada (8 cm); • Espaço de ar não ventilado (1 cm); • ICB com 110-120 kg/m³ de massa volúmica e 60 mm de espessura; • Sobreposição de duas placas de gesso laminado hidrofugado (1,5 cm cada placa); • Revestimento interior (2 cm) com camada de regularização e acabamento liso.

Legenda: XPS - Poliestireno expandido extrudido; ICB - Aglomerado de cortiça expandida.

ii) Caso de estudo B: Casa Henrique Sommer

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação em curso de um edifício pertencente à Câmara Municipal de Cascais, designado de *Casa Henrique Sommer* e localizado no Largo da Assunção, em pleno centro histórico desta vila. Este edifício foi construído no período entre 1880 e 1930, com a finalidade de habitação de veraneio. Após a sua recuperação, passará a ser um edifício de serviços, com o propósito de funcionar como Arquivo Histórico Municipal de Cascais, onde estarão guardados documentos do Concelho, que reportam até ao século XIV.

Nesta obra de reabilitação existiu a preocupação de manter o aspeto exterior do edifício e de preservar a sua arquitetura e os seus traços de casa habitacional. Assim sendo, foram mantidas as fachadas existentes, recorrendo-se a estruturas de contenção para as suportar durante a obra, tal como se pode observar na Figura 4.6. As fachadas são constituídas por paredes simples de alvenaria de pedra ordinária com aproximadamente 60 cm de espessura e desempenham uma função estrutural. O edifício foi deixado ao abandono nas últimas décadas, com a conseqüente degradação do revestimento exterior das fachadas antes da intervenção, o qual é constituído por argamassas bastardas e acabamento em pintura. É apresentado, na Figura 4.7, o estado de conservação do edifício antes da obra de reabilitação e, na Figura 4.8, o edifício na fase final da obra.



Figura 4.6: Contenção das fachadas existentes do edifício B [arquivo de obra]



Figura 4.7: Aspeto exterior do edifício B antes da intervenção [arquivo de obra]



Figura 4.8: Aspeto exterior do edifício B na fase final da obra de reabilitação

Tal como no caso de estudo anterior, também neste caso não é praticável a aplicação de isolamento térmico pelo exterior por razões de inviabilidade arquitetónica e de dificuldade de aplicação no suporte existente, também constituído por diversos elementos arquitetónicos salientes no paramento exterior. Assim sendo, recorreu-se à aplicação de isolamento térmico pelo interior com placas isolantes compósitas pré-fabricadas em MW com revestimento aderente em placas de gesso laminado, fixadas mecanicamente, tal como previsto em projeto, embora não tenha sido seguida nenhuma regulamentação térmica, segundo os dados recolhidos na ficha de inspeção. Este sistema de isolamento, embora não se trate de um sistema com contra-fachada dado que o isolamento térmico não está desligado das placas de gesso laminado, possui um espaço de ar não ventilado entre o isolamento térmico e o suporte, concretizado através da estrutura de fixação do primeiro, tal como acontece no caso de estudo A.

Antes da aplicação do sistema de isolamento térmico foi necessário reparar algumas anomalias existentes no paramento interior da fachada e foi aplicada uma rede de aço galvanizado como medida de reforço das paredes (Figura 4.9). Até ao momento (fase final da obra), não surgiu nenhuma anomalia após aplicação do isolamento térmico.

Nas Figuras 4.10 e 4.11 é possível observar o sistema de isolamento térmico aplicado em obra. Para além da melhoria do desempenho térmico das fachadas, recorreu-se também à substituição da caixilharia dos vãos envidraçados, de forma a melhorar térmica e acusticamente a envolvente.



Figura 4.9: Reforço da fachada existente com rede metálica [arquivo de obra]



Figura 4.10: Vista em perfil do sistema de isolamento térmico aplicado



Figura 4.11: Vista de frente da solução de isolamento térmico aplicada pelo interior com placas de gesso laminado

iii) Caso de estudo C: Edifício em Coimbra

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação terminada em Outubro de 2016 de um edifício abrangido pelo programa de reabilitação da Coimbra Viva SRU (Sociedade de Reabilitação Urbana), localizado na Rua da Moeda, no centro histórico de Coimbra. Este edifício foi construído no período entre 1880 e 1930, sendo que as fachadas possuem uma função estrutural e são formadas por paredes simples de alvenaria de pedra com 60 cm de espessura, revestidas com argamassa de cal aérea, acabamento em caiação, e guarnecimento dos vãos em cantaria (Figura 4.12).

Para a reabilitação deste edifício existiram muitas restrições por parte das entidades licenciadoras, como a Coimbra Viva SRU e a Direcção Regional de Cultura do Centro (DRCC), que exigiram a preservação do património arquitetónico, uma vez que a localização do imóvel é considerada zona de proteção do património da UNESCO, limitando assim a gama de soluções possíveis para a correção térmica das fachadas. Além disso, do lado do cliente existiu uma exigência quanto à viabilidade económica. Desta forma, optou-se por aplicar isolamento térmico pontualmente na fachada, nomeadamente nas fachadas interiores dos saguões e nas paredes exteriores de um terraço (Figura 4.13), tendo-se recorrido à solução de ETICS com placas de XPS coladas à parede de alvenaria de pedra. Nas restantes paredes exteriores procedeu-se apenas à reparação do reboco que se encontrava degradado e substituição das caixilharias cuja madeira estava apodrecida.

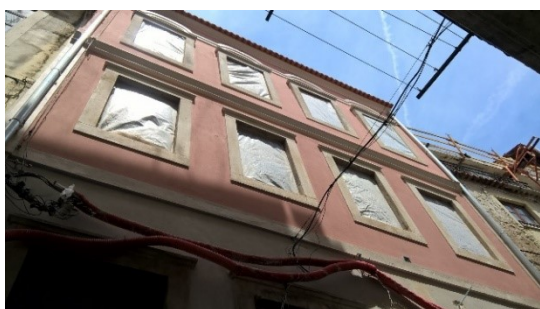


Figura 4.12: Aspeto exterior do edifício C em fase final de obra [arquivo de obra]

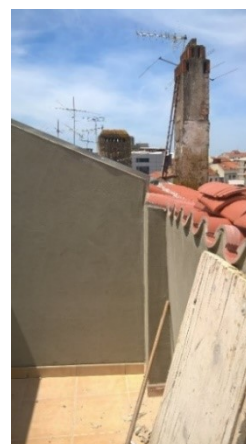


Figura 4.13: Parede exterior do terraço existente no edifício C [arquivo de obra]

Nesta obra não foi executado um projeto de verificação do comportamento térmico, tendo sido pedida a sua isenção por se tratar de um edifício em zona patrimonial. No entanto, segundo informação recolhida em entrevista, as fachadas do edifício conseguem dotá-lo de um bom desempenho térmico no Verão, através da sua inércia térmica. Contudo e de acordo também com a opinião profissional divulgada, no Inverno manifestam-se os inconvenientes no comportamento térmico do edifício devido à carência de isolamento térmico, agravada pela proximidade entre edifícios vizinhos que diminui a incidência de radiação solar nas fachadas (Figura 4.14).



Figura 4.14: Rua da Moeda com largura muito estreita, com o edifício C à esquerda sombreado pelo edifício vizinho [imagem retirada do Google Maps]

iv) Caso de estudo D: Moradia em Alvalade

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação em curso de um edifício de habitação unifamiliar (Figura 4.15), localizado em Alvalade. Este edifício foi construído no período entre 1930 e 1960, na transição para os edifícios recentes, sendo constituído por uma combinação entre uma laje de betão armado e fachadas tradicionais com função também estrutural, correspondendo a uma tipologia estrutural mista. Estas últimas são formadas por paredes simples de alvenaria de tijolo maciço com espessuras que variam entre 40 cm no tardo e aproximadamente 50 cm na restante envolvente. O revestimento exterior existente é constituído por argamassa cimentícia e acabamento em pintura e encontrava-se em bom estado de conservação antes da intervenção.

Embora não tenha sido seguida a regulamentação térmica, foi aplicado nesta obra de reabilitação um sistema de isolamento térmico em ETICS (Figura 4.16) com placas de ICB de 6 cm de espessura e 105-125 kg/m³ de massa volúmica, aplicadas através de colagem e fixação mecânica, revestidas por reboco reforçado com rede de fibra de vidro e acabamento final.



Figura 4.15: Fachada do edifício D em fase de aplicação de isolamento térmico

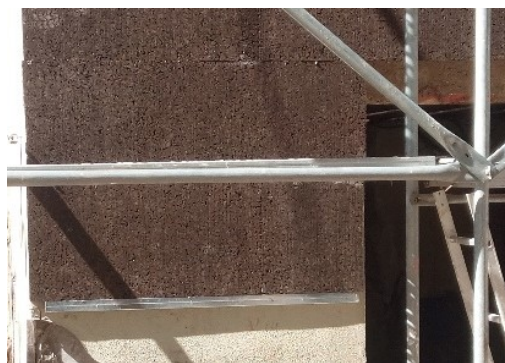


Figura 4.16: Pormenor do perfil de arranque do ETICS aplicado no edifício D

A solução de reabilitação térmica permite resolver as zonas de ponte térmica plana e linear, dado que é aplicada pelo exterior. Segundo informação apurada durante a visita à obra, a escolha pelo ICB como material isolante deveu-se, entre outros fatores, à sua resistência mecânica aos choques e boa

permeabilidade ao vapor de água que impede a excessiva acumulação de vapor de água, permitindo que a parede “respire”.

Devido ao aumento em espessura que existe após a aplicação das placas de isolamento térmico pelo exterior face ao paramento inicial, a guarnição dos vãos deixa de ser um elemento saliente na fachada, tendo-se optado por substituir estes elementos por novas cantarias com maior espessura.

v) Caso de estudo E: Moradia em Carcavelos

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação em curso de um edifício de habitação unifamiliar, localizado em Carcavelos. O edifício foi construído na década de 50, um período de transição para os edifícios recentes, e possui uma estrutura porticada em betão armado. As paredes exteriores são duplas em alvenaria de tijolo, com 11 cm de espessura no pano exterior e 15 cm no pano interior, e têm apenas função de compartimentação. O revestimento exterior era, antes da intervenção, constituído por uma camada de reboco cimentícia com acabamento em pintura. Este revestimento encontrava-se degradado e possuía anomalias causadas por infiltrações, as quais necessitaram de reparação antes da aplicação do sistema de isolamento térmico. Nas Figuras 4.17 e 4.18 apresentam-se as fachadas principal e de tardoz, respetivamente, antes da intervenção.



Figura 4.17: Fachada principal do edifício E [arquivo de obra]



Figura 4.18: Fachada de tardoz do edifício E [arquivo de obra]

Para esta obra, foi seguida a regulamentação térmica e foi possível cumprir os requisitos térmicos aplicáveis. O edifício, antes de reabilitado, possuía classe energética D, segundo o certificado da ADENE, no qual também se incluía um conjunto de propostas de melhoria para obtenção da classe energética B: instalação de bomba de calor para preparação de águas quentes sanitárias; instalação de sistema solar térmico individual; substituição da caixilharia existente; aplicação de isolamento térmico na cobertura; e instalação de ar condicionado para climatização.

Nesta reabilitação, optou-se também pela intervenção ao nível do comportamento térmico das fachadas existentes. Foram vários os intervenientes envolvidos neste projeto de reabilitação, sendo que uma das propostas para a reabilitação térmica do edifício consistia na aplicação do sistema ETICS nas fachadas existentes, dado o seu contributo para a eficiência energética. Contudo, esta proposta foi excluída por razões de inviabilidade arquitetónica, dado que iria descaracterizar o aspeto exterior do edifício. Assim, para salvaguardar a sua arquitetura, optou-se pela injeção de espuma de poliuretano (PUR) na caixa-de-ar das paredes duplas existentes, preenchendo a totalidade desta com 6 cm de espessura deste material. Esta solução permitiu a introdução de isolamento térmico, sem alteração dos paramentos

interior e exterior das fachadas. De forma a garantir o total enchimento da caixa-de-ar com PUR, foram aplicados tubos de injeção ao longo das fachadas e o processo de injeção de PUR num tubo era realizado até este começar a sair no tubo seguinte, significando que estava colmatada toda a envolvente do tubo no qual se injetou o material.

Para a correção das pontes térmicas planas foram aplicadas placas de isolamento térmico em XPS, com 6 mm de espessura. As placas foram coladas pelo lado interior das vigas, até 10 cm abaixo da sua altura, para garantir uma adequada correção da ponte térmica, sendo que se aplicaram também placas de gesso laminado na restante altura dos pisos, no paramento interior das fachadas, por questões de nivelamento com as placas isolantes.

Neste edifício existe um desnível topográfico, sendo a fachada principal formada por dois pisos acima do solo e a fachada de tardoz constituída por três pisos acima do solo. Assim sendo, existe uma parede exterior enterrada, na qual foi executado um sistema de impermeabilização e drenagem de água, incluindo a aplicação pelo exterior de placas em XPS com 6 cm de espessura, revestidas com argamassa sintética de comportamento melhorado, para impermeabilização e isolamento térmico da parede enterrada. Este sistema foi aplicado através de uma escavação prévia do terreno em talude.

4.3.2 [Análise crítica sobre os casos com reabilitação térmica das fachadas existentes](#)

A reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos apresenta diversas condicionantes, que conduzem à adoção de diferentes soluções de isolamento térmico. Nos casos de estudo apresentados foram identificadas as seguintes soluções: aplicação, pelo interior, de isolamento térmico revestido com placas de gesso laminado e fixado mecanicamente a uma estrutura de suporte, permitindo a existência de uma lâmina de ar, em paredes simples; injeção de PUR, em paredes duplas; e aplicação de ETICS, pontualmente ou ao longo de toda a fachada, em paredes simples.

Estas foram as soluções económica e tecnicamente mais viáveis para os casos encontrados. No entanto, é de referir que outras soluções de isolamento térmico descritas no capítulo 3, como a fachada ventilada, ITICS, e argamassas com comportamento térmico melhorado, também são soluções possíveis de se aplicar em fachadas de edifícios antigos, devendo-se em cada caso analisar as vantagens e condicionantes implicadas na sua execução. As soluções de isolamento térmico pelo interior, fixada diretamente à parede com revestimento aderente e com contra-fachada, também não se encontram presentes nos casos de estudo, no entanto nos casos A e B, recorreu-se a uma solução que tem semelhanças com as ambas as soluções, pois trata-se de uma solução semelhante à contra-fachada em gesso laminado, dado que possui uma lâmina de ar, no entanto possui o revestimento aderente ao isolamento térmico, contrariamente ao que se verifica na solução típica com contra fachada, na qual o isolamento térmico está fixado diretamente ao suporte e existe uma lâmina de ar entre este e o revestimento.

Através do preenchimento das fichas de inspeção foi possível fazer um levantamento das vantagens e desvantagens apontadas para cada solução de isolamento térmico em causa. A consulta às respostas obtidas de um dos casos de estudo é possível através do Anexo 4.III: Preenchimento da ficha de inspeção tipo do caso de estudo C com isolamento térmico nas fachadas existentes. Com vista a perceber as diferenças entre as respostas obtidas no trabalho de campo, relativamente às vantagens

e desvantagens associadas a cada solução, e a informação teórica apresentada no capítulo anterior, que teve por base uma pesquisa bibliográfica, é feita a análise comparativa que se apresenta no Anexo 4.IV: Síntese das vantagens e desvantagens das soluções de isolamento térmico de cada caso de estudo. Esta informação foi obtida através do preenchimento das fichas de inspeção pelos técnicos qualificados e responsáveis pelas obras de reabilitação, assinalando-se depois se cada resposta obtida tem correspondência com a informação bibliográfica e com as ilações tiradas no capítulo 3. Verifica-se que muitas das vantagens e desvantagens apontadas no preenchimento das fichas de inspeção coincidem com a análise teórica das soluções de isolamento térmico efetuada no capítulo 3, sobretudo nos casos de estudo com a adoção de ETICS ou de injeção de material isolante (PUR) na caixa-de-ar.

No entanto, para o isolamento térmico pelo interior com placas isolantes e gesso laminado, fixadas mecanicamente com espaço de ar não ventilado entre o sistema e o suporte (correspondente aos casos A e B), foram assinaladas diversas vantagens da solução que, não só não são referidas nos pressupostos teóricos, como também a sua inexistência é apresentada na bibliografia como desvantagens desta solução. Por exemplo, segundo os dados obtidos nas fichas de inspeção, uma solução de isolamento térmico pelo interior permite a correção de pontes térmicas e previne o aparecimento de condensações e consequentes anomalias. Todavia, foi discutido no capítulo anterior que uma solução de isolamento térmico pelo interior tem como desvantagens a impossibilidade de correção de pontes térmicas e a resultante impossibilidade de prevenir o aparecimento de condensações e consequentes anomalias. Possivelmente este facto pode dever-se a um desconhecimento sobre o tema, dado que não existiram medidas de correção térmica, embora se trate da opinião de engenheiros qualificados e com experiência na área da reabilitação. Também foram apontadas outras vantagens como a facilidade de aplicação em fachadas com geometria irregular, que no entanto está mais associada teoricamente à aplicação de argamassas térmicas, e a fácil manutenção e elevada durabilidade, que no entanto está mais associada teoricamente à fachada ventilada. Porém, existe alguma coerência entre as respostas obtidas e os pressupostos teóricos, como o facto de uma solução de isolamento térmico pelo interior permitir preservar o aspeto exterior original das fachadas, possuir um custo de investimento mais económico, eliminar a inércia térmica das fachadas e reduzir a área útil interior do edifício.

É de referir que as respostas obtidas têm uma certa subjetividade associada, dado que dependem da opinião do inquerido, verificando-se por exemplo para uma mesma solução de isolamento térmico - ETICS, a existência de opiniões contraditórias entre casos de estudo: no caso de estudo C, apontou-se como vantagem a possibilidade de uma aplicação rápida e simples, contrariamente à resposta obtida no caso de estudo D, no qual foi apontada como desvantagem da solução a existência de uma aplicação complexa, que requer mão-de-obra especializada. No caso E, isto também sucede, mas, tratando-se das respostas obtidas para um único caso de estudo, possivelmente a opinião relativamente à injeção de PUR na caixa-de-ar é de que a sua aplicação é rápida, mas requer mão-de-obra especializada.

Apesar de alguma contradição existente entre a informação recolhida e a literatura técnica, é importante salientar que a informação recolhida baseou-se no parecer de técnicos qualificados no ramo da Engenharia Civil e da Arquitectura, tratando-se de projetistas e diretores de obra responsáveis pelas intervenções de reabilitação em causa com, na sua maioria, experiência profissional superior a 20 anos.

Os dados facultados em cada caso de estudo foram na sua maioria facultados por profissionais distintos, salvo os casos C e E que foram fornecidos pela mesma fonte.

Não obstante as vantagens e desvantagens associadas à aplicação das soluções de isolamento térmico presentes nos casos de estudo, e assinaladas no preenchimento das fichas de inspeção, é apresentada de seguida uma análise crítica dos casos de estudo, que tem por base as descrições e a caracterização efetuada de cada um. Com esta análise crítica resumem-se as principais vantagens e condicionalismos que influenciaram de forma decisiva a escolha quando à solução de isolamento térmico a adotar nas fachadas dos edifícios analisados, e discutem-se as principais desvantagens que advêm da sua aplicação. Assim, a análise que se segue traduz as principais conclusões extraídas nesta Dissertação relativamente aos casos de estudo A a E.

Nos casos de estudo A, B e C, a escolha das soluções de isolamento térmico das fachadas é limitada por se tratarem de edifícios antigos, construídos no período entre 1880 e 1930, com valor arquitetónico e patrimonial que impede a adoção de soluções de isolamento térmico pelo exterior ao longo da fachada. Assim, foi possível adotar, nos casos A e B, um sistema de isolamento térmico pelo interior, constituído por placas de isolamento térmico revestidas com placas de gesso laminado, permitindo aumentar a resistência térmica das fachadas e preservar o aspeto exterior original dos edifícios. Todavia, a aplicação de sistemas de isolamento térmico pelo interior: anula a forte inércia térmica das fachadas existentes nestes edifícios, e que é conseguida através de espessuras iguais ou superiores a 60 cm, agravando sobretudo o conforto térmico interior no Verão; não permite a correção de pontes térmicas; e reduz a área útil interior. Estas desvantagens são expostas por muitos autores, como [Alves, *et al.*, 2011], [Appleton, 2011], [CCE, 2000], entre outros. Assim sendo, é uma solução menos eficiente termicamente, comparando com uma solução pelo exterior, embora seja uma solução mais viável em edifícios antigos, quando se pretende preservar a sua aparência exterior e quando existe uma complexa guarnição do paramento exterior das fachadas.

A reabilitação térmica das fachadas pode estar também limitada à aplicação pontual de isolamento térmico, como no caso C, sendo possível a execução de ETICS em paramentos exteriores pouco visíveis, preservando os traços principais do edifício. Neste caso não existe uma melhoria térmica significativa ao longo da fachada, pois trata-se de uma obra de reabilitação isenta de verificação quanto ao comportamento térmico da envolvente em que impera a necessidade de preservação do património, dado tratar-se de um edifício localizado numa zona protegida pela UNESCO.

No caso de edifícios antigos construídos no período entre 1930 e 1960, existe uma tipologia mista, de transição para os edifícios recentes, com paredes exteriores mais aligeiradas e sem presença de isolamento térmico, pois são edifícios construídos anteriormente à existência de regulamentação térmica, em que se verifica um menor desempenho térmico das fachadas. No geral, na reabilitação destes edifícios é dada uma menor relevância à preservação do seu aspeto exterior, comparativamente com edifícios mais antigos cujas autenticidade e identidade histórica e cultural devem ser preservadas. Assim sendo, através da análise do caso D, é possível perceber que na reabilitação de edifícios construídos entre 1930 e 1960 já existe uma maior liberdade para executar uma correção térmica nas fachadas, sem os constrangimentos apresentados nos casos A, B e C. Desta forma, no caso D, pretende-se que na reabilitação do edifício exista uma renovação estética do seu aspeto exterior que, aliada à necessidade de melhorar o comportamento térmico

das fachadas, conduziu à aplicação de ETICS. Logo, o facto de existirem menores condicionalismos permitiu a adoção da solução que melhor otimiza o desempenho térmico da envolvente.

Contudo, embora estes edifícios possuam no geral menor relevância patrimonial comparando com edifícios mais antigos, na sua reabilitação pode ser pretendida a preservação arquitetónica das fachadas, condicionando a escolha de soluções de reabilitação térmica, como acontece no caso E. Nessa situação, e tirando partido do facto de a fachada ser formada por paredes duplas, foi possível fazer a injeção de material isolante (PUR) na caixa-de-ar, permitindo manter o aspeto dos paramentos exterior e interior da fachada. Neste caso foi possível manter alguma inércia térmica das paredes, correspondente à massa do pano interior, pois o isolamento térmico injetado apenas cria uma barreira à absorção e libertação de calor do pano exterior para o ambiente interior. Recorreu-se ainda a medidas de correção das pontes térmicas planas, descritas anteriormente, permitindo um correto isolamento térmico das fachadas.

Em termos de execução, foram utilizadas técnicas descritas anteriormente que procuram garantir o correto preenchimento da caixa-de-ar, no entanto e como mencionado na literatura por autores como [Anselmo, *et al.*, 2004] e [Appleton, 2011], trata-se de uma aplicação complexa, que requer mão-de-obra especializada e onde é difícil garantir a eficácia da solução. Na Tabela 4.2 apresenta-se uma síntese da análise crítica aos casos de estudo.

Tabela 4.2: Síntese da análise crítica aos casos de estudo A a E

Síntese da análise crítica aos casos com reabilitação térmica das fachadas existentes					
Casos de estudo	Época de construção	Principais constrangimentos do edifício	Solução de isolamento térmico adotada	Principais vantagens	Principais desvantagens
Caso A	1880-1930	Necessidade de manter o aspeto exterior das fachadas para preservação do valor arquitetónico e patrimonial do edifício	Isolamento térmico pelo interior com placas de MW revestidas com gesso laminado	Preservação do aspeto original das fachadas	Elimina a inércia térmica das paredes exteriores existentes e diminui a área útil interior
Caso B			Aplicação de ETICS em zonas pouco visíveis		
Caso C					
Caso D	1930-1960	-	Sistema composto de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)	Renovação do aspeto exterior	Poderia ter como desvantagem a descaracterização da arquitetura do edifício, mas neste caso não existe a necessidade da sua preservação
Caso E		Necessidade de manter o aspeto exterior das fachadas para preservação dos traços arquitetónicos	Injeção de PUR na totalidade da caixa-de-ar	Garante maior eficiência energética	

4.3.3 Descrição de casos sem reabilitação térmica nas fachadas existentes

Verificou-se, através do trabalho de campo desenvolvido, que muitas das obras de reabilitação de edifícios antigos em Portugal não recorrem à aplicação de isolamento térmico nas fachadas existentes, sendo exemplo disso os casos de estudo F a L, que se apresentam de seguida. A análise destes casos tem como principal objetivo perceber quais as razões que levaram à ausência de ações de melhoria térmica das fachadas existentes e se existiram preocupações térmicas ao nível dos restantes elementos da envolvente.

4.3.3.1 Aplicação de isolamento térmico nas fachadas novas

i) Caso de estudo F: Hotel na Freguesia da Sé, Lisboa

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação em curso de um hotel, localizado na Rua Cais de Santarém, em Lisboa. Com época de construção entre 1880 a 1930, este edifício possui paredes exteriores em alvenaria de pedra ordinária com um pano de aproximadamente 80 cm de espessura, que desempenham uma função estrutural (Figura 4.19).

Nesta obra de reabilitação existiu uma ampliação em altura do edifício original e também a reconstrução de algumas zonas do edifício, tendo-se preservado as fachadas existentes (presentes nos pisos 0 e 1) e executado novas fachadas nas zonas acrescentadas e reconstruídas (Figura 4.20). Segundo informação divulgada, devido à forte inércia térmica das fachadas existentes conseguida através da sua elevada espessura, não foi aplicada nenhuma solução de isolamento térmico, tendo-se procedido apenas ao seu reforço estrutural com projeção de betão que foi revestido com duas placas de gesso laminado no paramento interior. Foi ainda executado o restauro dos paramentos exteriores com remoção por picagem do antigo revestimento até se encontrar o suporte original, e aplicação de novo revestimento, reforçado com rede de fibra de vidro em zonas de maior tendência de fissuração e reforçado com armadura metálica inoxidável ou galvanizada fixa mecanicamente ao suporte e posicionada a meio da espessura prevista para o reboco quando a espessura do reboco é superior a 6 cm. Assim sendo, considerou-se, neste projeto de reabilitação que as fachadas existentes possuem um comportamento térmico satisfatório, com forte inércia térmica, e decidiu-se aplicar soluções de isolamento térmico apenas nas fachadas novas.

As novas fachadas são constituídas por blocos térmicos de argila expandida, existindo duas soluções distintas: uma solução consiste na execução de paredes duplas em blocos térmico de betão leve de argila expandida com 11 cm de espessura em cada pano, aplicação de placas de lã mineral com 5 cm de espessura na caixa-de-ar, fixadas ao pano interior, deixando uma lâmina de ar junto ao pano exterior, e aplicação de placas em gesso laminado no revestimento interior; a outra solução trata-se de uma fachada ventilada, com placas de lã mineral com 5 cm de espessura aplicadas sobre parede simples de blocos térmicos de betão leve de argila expandida com 25 cm de espessura, e com revestimento exterior formado por placas de Pedra de Lioz com 4 cm de espessura (Figura 4.21).

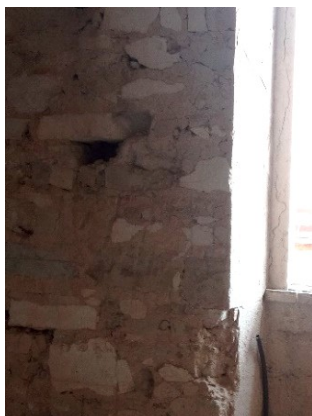


Figura 4.19: Parede exterior existente, no edifício F, em alvenaria ordinária de pedra

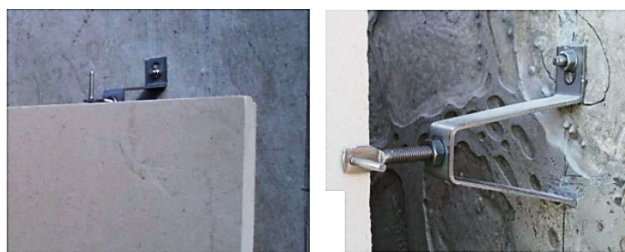


Figura 4.20: Fachada principal do edifício F, com estruturas existente e acrescentada



Figura 4.21: Parede nova exterior com blocos de argila expandida e fachada ventilada

Contrariamente aos sistemas de fachada ventilada mais comuns e apresentados no capítulo 3, neste caso não existiu uma estrutura de suporte, sendo que o revestimento foi fixado diretamente ao suporte através de um sistema de fixação mecânica denominado “Pata Mecânica” que se destinada a revestimentos em pedra natural e que perfura o isolamento térmico (Figura 4.22 a) e b)). Este sistema pode ser consultado no catálogo (Halfen, 2010). Tal como referido no capítulo anterior (subcapítulo 3.5.2) e de acordo com Guimarães [2011] e Silva [2013] e segundo recomendação do LNEC, o espaçamento da lâmina de ar deve ser no mínimo de 20 mm, para garantir que esta é fortemente ventilada (Figura 4.23). Assim sendo, embora não exista uma estrutura de suporte, também neste sistema deve ser respeitada a espessura mínima recomendada para a lâmina de ar.



a) b)
Figura 4.22: Pormenor do sistema de fixação do revestimento utilizado na fachada ventilada [LNEC, 2012]

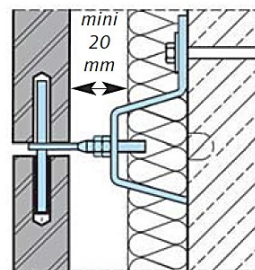


Figura 4.23: Sistema de fixação do revestimento utilizado na fachada ventilada [Halfen, 2010]

Na restante envolvente do edifício, está prevista a aplicação de isolamento térmico na cobertura pertencente à construção nova, e introdução de caixilharia com corte térmico e acústico. Nesta reabilitação foi tida uma maior preocupação do ponto de vista acústico, tendo sido apenas seguido o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [A.R., 2008b], através do projeto de condicionamento acústico, não tendo existido um projeto de comportamento térmico.

ii) Caso de estudo G: Hotel na Rua Rosa Araújo, Lisboa

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação, terminada em 2015, de um hotel situado na Rua Rosa Araújo, em Lisboa. Este edifício foi construído em 1902, enquadrando-se no período de construção gaioleira, tendo paredes exteriores em alvenaria de pedra com função estrutural e com espessura que varia (em altura) entre os 70 aos 50 cm. As paredes exteriores encontravam-se antes da intervenção revestidas com argamassa de cal aérea em deficiente estado de conservação, principalmente na zona de gaveto.

À semelhança do caso anterior, este edifício também foi ampliado, sendo a envolvente constituída por paredes existentes e paredes novas. Na fachada existente não foi aplicado isolamento térmico, passando a sua reabilitação apenas pela: remoção do reboco existente através de sistema de jato de água sobre pressão e picagem através de meios mecânicos; aplicação de novo reboco exterior de cal aérea hidrofugado; restauro das guarnições (molduras, “cachorros” de suporte das varandas, e outros elementos de cantaria) da fachada; aplicação de lâmina de betão pelo interior; e remoção dos elementos decorativos, regularização da superfície e aplicação de novo revestimento no paramento interior da fachada existente. No caso das fachadas novas foram aplicadas várias soluções de isolamento térmico.

Na Tabela 4.3 resume-se as soluções construtivas adotadas nas fachadas existentes e novas, com os elementos construtivos descritos no sentido do exterior para o interior.

Tabela 4.3: Descrição das soluções construtivas das fachadas existentes e novas do edifício G, após reabilitação

Soluções construtivas das fachadas existentes e novas após reabilitação	
<p>Parede exterior existente (Pisos 0 a 4):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revestimento exterior (tinta aquosa 100% acrílica); • Reboco exterior hidrofugado; • Alvenaria de pedra (50 a 70 cm); • Betão armado projetado (15 cm); • Estuque projetado; • Revestimento interior (várias soluções em função do compartimento). 	<p>Parede exterior nova (Pisos 5 e 6): Sistema de isolamento térmico pelo interior com contra-fachada em gesso laminado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revestimento exterior (tinta aquosa 100% acrílica); • Betão armado (15cm); • XPS com 30mm de espessura e 25 kg/m³ de massa volúmica; • Lâmina de ar; • Placa de gesso laminado (13 mm) aplicada através de estrutura de fixação; • Revestimento interior (várias soluções em função do compartimento).
<p>Parede exterior nova (parte da parede de tardo, dos pisos 0 a 4): Sistema de isolamento térmico na caixa-de-ar de parede dupla:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revestimento exterior (tinta aquosa 100% acrílica); • Reboco exterior hidrofugado; • Alvenaria de tijolo vazado (11 cm); • Caixa-de-ar (4 cm); • XPS com 30 mm de espessura e 25 kg/m³ de massa volúmica; • Alvenaria de tijolo vazado (15 cm); • Estuque projetado; • Revestimento interior (várias soluções em função do compartimento). 	<p>Parede exterior nova (parede de empena): Isolamento térmico pelo interior com contra-fachada em gesso laminado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Junta de separação com o edifício adjacente em EPS com 20 kg/m³ de massa volúmica; • Alvenaria de tijolo vazado (15cm); • Placa semi-rígida de MW com 40 mm de espessura e 70 kg/m³ de massa volúmica; • Lâmina de ar; • Sobreposição de duas placas de gesso laminado (13 mm cada placa) aplicadas através de estrutura de fixação; • Revestimento interior (várias soluções em função do compartimento).

Legenda: XPS - Poliestireno expandido extrudido; EPS - Poliestireno expandido; MW – Lã mineral.

Para além das soluções de isolamento térmico nas fachadas novas, a melhoria térmica do edifício foi conseguida através de aplicação de isolamento térmico na cobertura nova e substituição da caixilharia. A solução aplicada na cobertura, com isolamento térmico em XPS com 3 cm de espessura, membrana alveolar e chapa de zinco, é estendida às paredes exteriores do último piso (piso 7). A espessura utilizada é muito reduzida face às exigências regulamentares atuais para o isolamento térmico da envolvente de edifícios em Portugal, pelo que se considera que se poderia ter aproveitado esta intervenção para incrementar de forma mais significativa o isolamento desta construção.

Segundo o preenchimento da ficha de inspeção, para esta obra de reabilitação foi seguida a regulamentação térmica exigida a este tipo de intervenção, embora, segundo informação divulgada, tenha existido uma maior preocupação quanto às exigências acústicas, tendo sido cumprido o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [A.R., 2008b], através do projeto de condicionamento acústico.

Na Figura 4.24 apresenta-se o edifício antes da intervenção de reabilitação e, na Figura 4.25, é ilustrado o aspeto exterior do edifício após intervenção.



Figura 4.24: Aspeto exterior do Edifício G antes da intervenção de reabilitação [arquivo de obra]



Figura 4.25: Aspeto exterior do Edifício G após reabilitação

iii) Caso de estudo H: Edifício na Avenida da Liberdade, Lisboa

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação em curso de um edifício (Figura 4.26) destinado a habitação e comércio, localizado na Avenida da Liberdade, em Lisboa. O edifício foi construído no período de 1880 a 1930, mais concretamente no final do século XIX, com uma construção gaioleira. As fachadas são paredes mistas, constituídas por alvenaria de pedra e tijolo, com uma espessura que varia em altura entre 1 m a 60 cm, desempenhando uma função estrutural (Figura 4.27). Antes da intervenção (Figura 4.28), as fachadas eram revestidas com argamassa bastarda, que se encontrava em avançado estado de degradação, e acabamento em pintura, com algumas zonas de azulejo e cantaria.



Figura 4.26: Maquete virtual da fachada do edifício H após a intervenção de reabilitação [w10]



Figura 4.27: Fachada existente do edifício H em alvenaria de pedra e tijolo



Figura 4.28: Aspeto exterior do edifício H antes da intervenção [imagem retirada do Google Maps]

Nesta intervenção não está prevista a reabilitação térmica das fachadas existentes, sendo as intervenções nas fachadas limitadas ao reforço estrutural, através da aplicação de malha de fibra de carbono e posterior aplicação de reboco na face exterior, e através da aplicação de rede de metal distendido e posterior aplicação de reboco na face interior. A melhoria do desempenho térmico do edifício é efetuada ao nível da cobertura, que se trata de construção nova dado que o edifício foi ampliado em altura, tendo-se optado pela utilização de isolamento térmico (10 cm de espessura de XPS) pelo interior da vertente, e ao nível dos vãos envidraçados com aplicação de nova caixilharia com corte térmico e acústico.

Nesta obra, para além da recuperação do edifício existente, foi reconstruída parte do edifício (extremidade do edifício localizada na Rua Rosa Araújo), dando lugar a uma nova estrutura em betão

armado com paredes exteriores duplas de tijolo vazado com função de compartimentação. Para a construção das fachadas novas optou-se pela aplicação de isolamento térmico, em XPS com 6 cm de espessura, na caixa-de-ar junto ao paramento interior. Segundo as informações da ficha de inspeção, para esta obra de reabilitação foi seguida a regulamentação térmica e foram cumpridos os requisitos exigidos para este tipo de edifício e intervenção, no entanto foi mencionado na visita à obra que existiu uma maior preocupação quanto às exigências de desempenho acústico do edifício.

iv) Caso de estudo I: Moradia na Freguesia do Castelo, Lisboa

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação, terminada em 2012, de um edifício unifamiliar destinado a habitação, situado na Rua do Recolhimento, em Lisboa. Trata-se de uma pequena edificação, com piso térreo e sótão, na zona antiga de Lisboa, e pensa-se que esta moradia tenha sido construída no período entre 1755 a 1880, com fachadas em alvenaria de pedra ordinária, constituídas por um pano com uma espessura que varia entre 60 a 70 cm, desempenhando um papel estrutural.

Esta moradia (Figura 4.29) situa-se numa zona histórica habitacional, sendo abrangida pelo Plano de Urbanização do Núcleo Histórico de Alfama e da Costa do Castelo, pelo que a sua reabilitação esteve isenta da aplicação do regulamento térmico. Não obstante, foi realizado um projeto de comportamento térmico, tendo sido seguida a regulamentação em vigor na altura da intervenção de reabilitação - Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril [A.R., 2006] - com o intuito da emissão da certificação energética.

Nesta reabilitação, manteve-se a maioria das fachadas existentes (representadas na Figura 4.30 à esquerda, canto inferior esquerdo e no topo, que é uma parede fronteira com edifício adjacente), tendo sido reconstruída a fachada de tardo a sul (representada na Figura 4.30 à direita) e parte da fachada poente (representada na Figura 4.30 no canto inferior direito).



Figura 4.29: Alçado principal do edifício I [arquivo de obra]

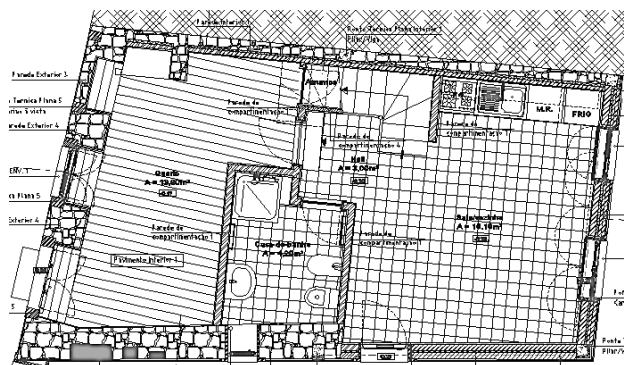


Figura 4.30: Planta do piso 0 do edifício I [arquivo de obra]

Embora se tenha realizado o projeto de comportamento térmico, não existiu reabilitação térmica das fachadas existentes, tendo se adotado soluções de isolamento térmico apenas nas fachadas a edificar e na cobertura. Verifica-se no entanto, através do projeto disponibilizado, que as fachadas existentes cumprem os valores de coeficiente de transmissão térmica máximos estipulados na regulamentação em vigor na altura de intervenção reabilitação [A.R., 2006], definidos para a zona climática em que a moradia se localiza (classe I1). É de referir que, caso fossem seguidos os requisitos térmicos da regulamentação atual – Portaria n.º 379-A/2015 ([A.R., 2015], não seriam cumpridos os valores máximos exigidos para o coeficiente de transmissão térmica, dado que são agora bastante mais exigentes. Assim, para o projeto térmico realizado,

o U_{\max} definido para as fachadas tinha o valor de $1,8 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$, diferenciando-se do valor atual de $0,5 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$ para a zona climática I1. Para uma fachada de 56 cm de espessura do suporte, revestida com um reboco exterior com acabamento em pintura e por um revestimento interior em estuque projetado sobre reboco mineral de regularização à base de cal (*caso I: PE 1*), o valor de U é $1,75 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$, e para uma fachada de 66 cm, com o mesmo revestimento (*caso I: PE 2*), o valor de U é $1,59 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$.

As fachadas reconstruídas são paredes duplas de alvenaria de tijolo vazado de 11 cm cada pano, com caixa-de-ar de 4 cm de espessura totalmente preenchida com isolamento térmico em XPS e com um revestimento semelhante às fachadas existentes (*caso I: PE 3*), possuindo um valor de U de $0,53 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$ que se aproxima das exigências térmicas atuais. No alçado sul existe uma parede reconstruída no sótão, cuja solução construtiva passa por um revestimento exterior em chapa de zinco seguido pelo interior de um painel de fibra de madeira (MDF – *medium-density fiberboard*), de um isolamento térmico em XPS, de um isolamento acústico em MW e de um revestimento interior em gesso laminado (*caso I: PE 4*), sendo que esta solução de parede tem um valor de U de $0,40 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$, o que se trata de uma solução do ponto de vista térmico bastante eficiente. Nesta solução, ambas as placas isolantes possuem 4 cm de espessura e são fixadas lado a lado, verificando-se uma solução semelhante na cobertura. Na envolvente que se manteve, existe uma pequena secção onde a fachada antiga tem apenas uma espessura de 20 cm (*caso I: PE 5*), o que conduziu a um valor de U de $2,75 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$ que não verifica sequer o regulamento em vigor na altura da intervenção, contudo esta zona permaneceu sem correção térmica, uma vez que, como referido anteriormente, esta reabilitação esteve isenta das verificações regulamentares térmicas.

4.3.3.2 *Sem qualquer reabilitação térmica das fachadas*

i) Caso de estudo J: Edifício na Freguesia da Misericórdia, Lisboa

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação, terminada em 2016, de um edifício destinado a habitação e comércio, situado na Rua da Misericórdia, em Lisboa. Este edifício foi construído no final do século XIX e possui uma tipologia estrutural gaioleira, com fachadas em alvenaria de pedra ordinária (Figura 4.31) com um pano cuja espessura diminui em altura com uma variação de aproximadamente 10 cm, verificando-se no piso térreo uma espessura de 80 cm. Tratam-se assim de paredes estruturais, revestidas com argamassa de cal aérea e acabamento em azulejo na fachada principal, e por pintura na fachada de tardoz. Segundo as inspeções realizadas nesta intervenção, existiram várias obras de remodelação, com alterações estruturais, tendo estas incidido mais ao nível das paredes interiores, não existindo alterações ao nível das paredes exteriores.

Nesta obra de reabilitação não se recorreu à aplicação de isolamento térmico nas fachadas, sendo que nestas apenas existiu a reparação do revestimento que se encontrava bastante deteriorado, sobretudo na fachada de tardoz, tendo-se ainda procedido ao restauro do painel de azulejo existente, na fachada principal (Figura 4.32), e à aplicação integral de novo revestimento, com reboco em cal e estuque, primário e acabamento em tinta mineral, na fachada de tardoz (Figura 4.33).

A cobertura foi substituída por uma nova estrutura metálica ligeira munida de isolamento térmico aplicado sobre a vertente inclinada, constituído por painéis de MW com 10 cm de espessura e 150 kg/m^3 de massa volúmica, e revestido por uma membrana alveolar e revestimento em chapas de zinco. Dado que o último

piso (atual piso 5), que corresponde ao antigo sótão, foi totalmente reconstruído com um rebaixamento de 20 cm em relação à cota do antigo sótão, optou-se, tal como no caso de estudo G, pelo prolongamento do mesmo revestimento existente na cobertura e provido do isolamento térmico, descrito anteriormente.



Figura 4.31: Fachada do edifício J em alvenaria de pedra, durante a intervenção [arquivo de obra]

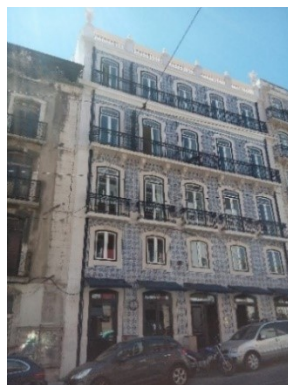


Figura 4.32: Fachada principal do edifício J após reabilitação



Figura 4.33: Fachada de tardoz do edifício J após reabilitação

Segundo a informação da ficha de inspeção, para esta obra de reabilitação foi seguida a regulamentação térmica exigida a este tipo de intervenção, embora tenha existido uma maior preocupação quanto às exigências acústicas, tendo sido seguido cumprido o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [A.R., 2008b], através do projeto de condicionamento acústico. No geral, a correção térmica da envolvente do edifício restringiu-se apenas à aplicação de isolamento térmico na cobertura e na nova fachada do último piso, à substituição da caixilharia, e à instalação de um sistema mecânico de climatização.

ii) Caso de estudo K: Casa-Museu Duarte Pinto Coelho,

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação, terminada em 2013, da Casa-Museu Duarte Pinto Coelho, situada na Av. Rei Humberto II de Itália, em Cascais. Este edifício foi construído na época entre 1880 e 1930 e destinava-se a habitação, sendo, antes da atual intervenção de reabilitação, a residência dos guardas do palácio habitado na altura pelos Condes de Castro Guimarães. Neste momento tanto o antigo palácio como a antiga casa dos guardas são património da Câmara Municipal de Cascais, e funcionam como espaço museológico do concelho.

O edifício em análise (Figura 4.34) é formado por paredes exteriores em alvenaria ordinária de pedra, com aproximadamente 60 cm de espessura, com uma função estrutural que garante a estabilidade do edifício. Embora já tenha existido no passado a reabilitação do revestimento exterior, este encontrava-se em estado de elevada degradação antes da intervenção, sendo constituído por cal aérea e acabamento em pintura. O revestimento exterior (reboco e acabamento) foi assim substituído nesta intervenção, tendo-se preservado a solução pré-existente, através da utilização dos mesmos materiais.

Dado que nesta Casa-Museu decorrem exposições de pintura e porcelanas, existem exigências quanto ao ambiente interior do edifício, que deve ter adequadas condições térmicas e de humidade, de forma a preservar adequadamente as obras em exposição, especialmente quando se tratam de pinturas. Assim sendo, a preocupação em garantir um ambiente interior propício à conservação das obras expostas foi prevista no projeto de reabilitação do edifício, tendo-se optado pelas seguintes medidas: execução de portas corta-vento (Figura 4.35); substituição dos vãos envidraçados, tendo-se aplicado

nova caixilharia de madeira, mas com vidro duplo com corte térmico (Figura 4.36); aplicação de isolamento térmico na cobertura.

Na intervenção do edifício verificou-se que a estrutura pré-existente da cobertura, constituída por elementos de madeira, se encontrava em mau estado de conservação, com a madeira apodrecida devido à existência de infiltrações na cobertura e à presença de insetos xilófagos. Por este motivo, a cobertura foi reconstruída, tendo-se executado uma nova estrutura em madeira semelhante à pré-existente. Para prevenir o aparecimento de infiltrações e para melhorar o desempenho térmico da cobertura, foi aplicado sobre a nova estrutura uma solução de isolamento térmico em painel sandwich (sistema composto por conjunto de 2 chapas metálicas intercaladas por uma camada de PUR), revestido posteriormente com telha lusa.



Figura 4.34: Aspeto exterior do Edifício K após reabilitação



Figura 4.35: Porta principal com sistema corta-vento



Figura 4.36: Janela com vidro duplo com corte térmico, caixilharia de madeira e guarnição pré-existente

Apesar da atenção dada à cobertura e aos vãos (portas e janelas), não existiu a correção térmica das fachadas e não foi seguida a regulamentação térmica. Existiram diversas razões apontadas para não se ter aplicado uma solução de isolamento térmico nas fachadas: a inviabilidade arquitetónica, que impediu a aplicação de isolamento térmico pelo exterior, pois pretendeu-se nesta reabilitação preservar o aspeto exterior original do edifício; a inviabilidade técnica de aplicar isolamento térmico pelo interior, pois esta solução implica a redução da área útil interior, o que para este edifício seria condicionante dado que os espaços interiores possuem áreas reduzidas; e a inviabilidade económica. Além disso, foi considerado no projeto de reabilitação que as fachadas existentes possuem uma forte inércia térmica, através da sua elevada espessura de aproximadamente 60 cm, e são por isso elementos da envolvente que já possuem um desempenho térmico satisfatório, segundo o projetista responsável desta obra.

iii) Caso de estudo L: Museu do Aljube - Resistência e Liberdade, Lisboa

Este caso de estudo trata-se de uma obra de reabilitação, terminada em 2015, do Museu do Aljube - Resistência e Liberdade (Figura 4.37), situado na freguesia de Santa Maria Maior, em Lisboa. O edifício construído anteriormente ao Terramoto de 1755, era utilizado como estabelecimento prisional, tendo sido reabilitado e adaptado para museu em memória dos presos políticos da Ditadura Salazarista. O edifício sofreu algumas modificações em intervenções de reabilitação passadas, possuindo influências da construção Pombalina. As fachadas são mistas constituídas por alvenaria ordinária de pedra com blocos de tijolo maciço (Figura 4.38) e possuem aproximadamente 1 m de espessura no piso térreo

(Figura 4.39), sendo esta ligeiramente inferior nos pisos superiores.



Figura 4.37: Fachada do edifício L após reabilitação



Figura 4.38: Parede exterior mista de alvenaria de pedra e tijolo



Figura 4.39: Fachada do piso térreo com espessura de aproximadamente 1 m

Segundo a informação divulgada, devido à elevada espessura das paredes exteriores que promove a sua forte inércia térmica não foi considerada a aplicação de isolamento térmico nas fachadas. Revestiram-se assim apenas estas paredes pelo interior com placas de gesso laminado (sem material isolante adjacente), e existiram apenas correções térmicas na cobertura existente, através da aplicação de isolamento térmico em MW pelo interior em teto falso, bem como a substituição de algumas caixilharias. Foi, no entanto, necessário manter algumas caixilharias originais, prejudicando o comportamento térmico e acústico da envolvente, de forma a manter as grades originais da antiga prisão e a não descaracterizar o aspeto exterior de estabelecimento prisional.

Segundo informação apurada, existiu nesta obra de reabilitação uma maior preocupação acústica, especialmente nas frações do edifício que servem como auditório.

4.3.4 Análise crítica sobre os casos recolhidos sem reabilitação térmica das fachadas existentes

Dos casos de estudo apresentados anteriormente (casos F a L), nos quais não foi aplicado/não está prevista a aplicação de isolamento térmico nas fachadas existentes dos edifícios, pode-se constatar que existem vários aspetos semelhantes nas suas descrições, destacando-se a principal razão apontada para não se ter optado por melhorar termicamente as fachadas existentes: a forte inércia térmica das paredes exteriores, associada à sua elevada espessura (que varia nestes casos entre 40 cm a 1 m). Através da Tabela 4.4 é exposta a síntese de alguns dos diferentes parâmetros descritos anteriormente, que traduzem os pontos fulcrais para a análise crítica dos casos de estudo F a L.

Verifica-se assim que, a decisão de não reabilitar termicamente as fachadas existentes deve-se sobretudo ao facto de estas possuírem uma espessura elevada (que varia nestes casos entre 40 cm a 1 m). Isto resulta por se tratarem de edifícios construídos anteriormente a 1930, e conduz nestes casos a uma perceção, por parte dos intervenientes do projeto de reabilitação, de que as fachadas existentes são elementos da envolvente com um comportamento térmico satisfatório, excluindo-se, por isso, a aplicação de isolamento térmico. No entanto em alguns casos foram também enunciadas, no preenchimento das fichas de inspeção, mais condicionantes que impediram a aplicação de isolamento térmico nas fachadas existentes, como a inviabilidade arquitetónica que condicionou a aplicação pelo exterior, a redução do espaço interior, que condicionou a aplicação pelo interior, e a inviabilidade económica.

Tabela 4.4: Síntese dos principais dados recolhidos dos casos de estudo F a L para análise crítica e exposição de conclusões

Síntese dos principais dados recolhidos dos casos de estudo sem isolamento térmico das fachadas existentes							
Caso de estudo	Forte inércia térmica das fachadas existentes*	Fachadas novas com isolamento térmico	Aplicação de isolamento térmico na cobertura		Correção térmica dos vãos envidraçados	A regulamentação térmica aplicável foi seguida	Maior preocupação acústica do que térmica
			Construção nova	Estrutura existente			
F	X	X	X		X		X
G	X	X	X		X	X	X
H	X	X	X		X	X	X
I		X	X		X	X	
J	X	X	X		X	X	X
K	X		X		X		
L	X			X	X		X

* Principal razão apontada para a decisão de não se recorrer a uma solução de isolamento térmico nas fachadas existentes.

Desta forma, a reabilitação das fachadas de edifícios antigos resume-se muitas vezes à reparação ou substituição do revestimento e, em alguns casos, também ao reforço estrutural com projeção de betão e aplicação de armadura (rede de fibra de vidro, malha metálica, entre outros). Na descrição dos casos de estudo G, H, J e K, é mencionado o estado de conservação do revestimento existente nas fachadas anteriormente à reabilitação, contudo não foi possível apurar quais as anomalias existentes no revestimento antes das intervenções, dado que a informação recolhida nas fichas de inspeção não foi específica, tendo sido apenas mencionado que o revestimento se encontrava com elevado estado de degradação, sendo esta uma afirmação qualitativa que não permite aferir exatamente quais as anomalias existentes. Assim, um reboco com deficiente estado de conservação pode possuir anomalias, como destacamento, empolamento, fissuração, manchas, entre outros, e acabamentos em azulejo (caso K) podem possuir anomalias, como descolamento de peças, perda do vidro, fissuração, manchas, entre outros.

Verifica-se também nestes casos de estudo que a introdução de isolamento térmico na envolvente exterior ocorre, numa obra de reabilitação, sobretudo em elementos de construção nova, quando existe a ampliação ou a reconstrução parcial do edifício. Assim sendo, o campo de atuação quanto à melhoria térmica da envolvente dos edifícios antigos restringe-se mais correntemente à aplicação de isolamento térmico nas coberturas e nas fachadas novas, sendo que nos elementos existentes o nível de atuação é mais reduzido ou inexistente. Além disso também se verifica uma atuação generalizada ao nível da correção térmica e acústica dos vãos envidraçados. Isto porque, existindo a necessidade de substituição dos elementos como a caixilharia e o vidro por atingirem o fim da vida útil física, a melhoria térmica acaba por existir porque se adotam novos materiais e soluções que respondem às exigências modernas e através de um melhor comportamento térmico, como a caixilharia e o vidro duplo com corte térmico. Por outro lado, os vãos envidraçados são elementos da envolvente mais frágeis termicamente e através dos quais existem maiores trocas de calor, sendo por isso mais corrente a sua correção térmica.

Embora esteja expresso em algumas das fichas de inspeção que se seguiu a regulamentação térmica, constatou-se através das entrevistas realizadas aos técnicos responsáveis que, na maioria dos casos de estudo, existiu uma maior preocupação quanto ao comportamento acústico dos edifícios, por se localizarem numa zona urbana que produz bastante ruído. Tornou-se por isso fundamental a correção

acústica dos vãos envidraçados, que em edifícios antigos são elementos da envolvente muito frágeis acusticamente. Nos casos de estudo F, G e J foi disponibilizado o projeto de condicionamento acústico, tendo sido portanto nestes casos seguido o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [A.R., 2008b], mas não foi fornecida nenhuma documentação de verificação do comportamento térmico dos edifícios. No caso I existiu uma preocupação quanto à verificação do desempenho térmico, tendo sido disponibilizado o projeto de verificação do comportamento térmico, mas não se procedeu mais uma vez à correção térmica das fachadas existentes, por se tratar de um edifício localizado num centro histórico.

Fazendo uma análise comparativa entre os valores de U obtidos para as soluções construtivas das fachadas dos casos A e I, é possível relacionar o comportamento térmico entre fachadas antigas com isolamento térmico pelo interior (caso A: PE 1, PE 2, PE 3 e PE 4), fachadas antigas sem isolamento térmico (caso I: PE 1, PE 2 e PE 5) e fachadas novas (caso I: PE 3 e PE 4). Através da Figura 4.40 constata-se que as soluções de fachadas existentes (caso A) e fachadas edificadas durante a intervenção de reabilitação (caso I), ambas com aplicação de isolamento térmico, possuem valores de U muito inferiores às soluções de fachadas existentes sem correção térmica (caso I).

Os edifícios dos casos A e I localizam-se em Lisboa, sendo esta uma zona climática I1. Relacionando com os valores do U_{max} regulamentares para a zona climática I1, verifica-se que as soluções de fachadas antigas com melhoria térmica, projetadas na reabilitação do edifício A, cumprem os requisitos estipulados nas normas desenvolvidas, incluindo as alterações normativas mais recentes com maior exigência térmica, estipuladas em [A.R., 2015]. No caso I, foi seguida regulamentação mais antiga – RCCTE de 2006 [A.R., 2006] - e verificou-se o seu cumprimento ao nível do U_{max} , à exceção da solução PE 5, dado que esta possui uma espessura de 20 cm, sendo bastante inferior à espessura típica de fachadas de edifícios antigos, que varia normalmente entre 40 cm a 1 m, existindo nestes casos uma maior resistência térmica. Verifica-se também que, no caso das paredes existentes reabilitadas no caso I sem adoção de isolamento térmico, o seu comportamento térmico cumpre o valor do U_{max} de 1,8 [W/m².°C], estipulado no RCCTE de 2006 [A.R., 2006], sendo esta a regulamentação em vigor na altura da reabilitação ao edifício I, e cumpre o valor do U_{max} de 1,75 [W/m².°C], exigido no regulamento posterior [A.R., 2013b]. No entanto, dado que com as evoluções normativas os requisitos térmicos têm-se tornado cada vez mais exigentes, o seu comportamento térmico já não cumpre o valor do U_{max} de 0,5 [W/m².°C] estipulado no regulamento atual [A.R., 2015].

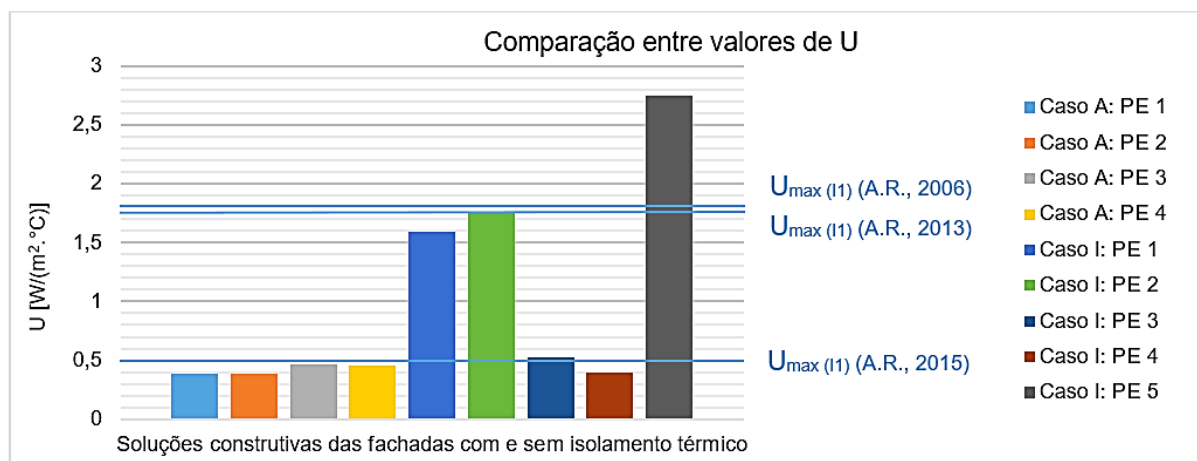


Figura 4.40: Comparação entre os valores de U das fachadas dos casos A e I e os valores de U_{max} dos regulamentos (a descrição das soluções encontra-se detalhada nos subcapítulos 4.3.1 e 4.3.3, com a respetiva sigla)

4.4 Informação recolhida nas entrevistas realizadas no trabalho de campo

De forma a complementar as conclusões realizadas da análise crítica dos casos de estudo apresentados, foram realizadas, no decorrer do trabalho de campo, entrevistas a três especialistas na área da reabilitação (E1, E2 e E3). Os profissionais entrevistados possuem uma extensa carreira desenvolvida em diversos domínios, incluindo: a investigação na área da reabilitação no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e no Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), sendo também autores de diversas publicações da especialidade; a área da educação e da formação académica; e a área de projeto, abrangendo temáticas como a conservação e reabilitação de edifícios. Destas entrevistas, que se debruçaram sobre o tema desta Dissertação, foi possível reunir a informação que se apresenta de seguida.

Segundo E1, numa obra de reabilitação existe uma conjugação de vários parâmetros e necessidades que devem ser analisados, tanto ao nível da preservação do património, como do reforço estrutural, da melhoria do desempenho térmico e acústico, entre outros. É portanto, na sua opinião, necessário verificar se todos estes parâmetros podem ser conjugados.

De acordo com E3, a melhoria térmica das fachadas de edifícios antigos é um fator importante na reabilitação e deve ser efetuada. Contudo, dado que esta questão não é tão crítica em Portugal comparando com países com climas mais agressivos, verifica-se que, na prática, existe um menor investimento na reabilitação térmica. E3 mencionou também que, através de estudos realizados relativamente ao binómio valor de investimento e período de retorno associado a uma reabilitação térmica, se verificou que atualmente grande parte da população vive com temperaturas diferentes (acima/abaixo) das temperaturas de conforto, por motivos de poupança energética, conduzindo a um gasto de cerca de 10% do consumo energético esperado. Este aspeto, que advém de opções de poupança económica, tem por contraponto o aumento do período de retorno do investimento na reabilitação térmica de edifícios em funcionamento. Nestes casos, para garantir uma temperatura de conforto do espaço interior dos edifícios, é necessário não só fazer a correção térmica da envolvente, mas também alterar o comportamento dos utilizadores, resultando num aumento dos consumos energéticos que fará encolher o período de retorno do investimento na reabilitação térmica. Para verificar se estas intervenções são economicamente viáveis, têm de se comparar com o mesmo edifício reabilitado mas sem melhoria térmica da envolvente (considerando as mesmas temperaturas de conforto), situação em que o consumo energético será muito superior.

Já no caso de obras de reabilitação de imóveis para venda ou aluguer, a melhoria térmica das fachadas faz todo o sentido e apresenta um custo de investimento residual comparando com os valores investidos nas restantes intervenções de reabilitação do edifício, de acordo com E3. Deve existir, no entanto, uma expectativa realista quanto ao impacto que o investimento no isolamento térmico nas fachadas tem na eficiência global do edifício, uma vez que o uso de aparelhos elétricos (como computadores, aparelhos electrodomésticos, entre outros) e da iluminação, influenciam muito os consumos totais de um edifício. Ainda na sua opinião, para se garantir uma maior eficiência energética global do edifício deve-se não só atuar na diminuição das trocas de calor pela envolvente do edifício, mas também deve existir uma preocupação por parte da indústria em produzir aparelhos elétricos energeticamente eficientes, complementando assim a reabilitação térmica dos edifícios.

Segundo E2, a reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos deve ser efetuada preferencialmente em conjugação com uma adequada ventilação natural do edifício. Contudo, pela sua experiência, verifica-se na prática a existência de um significativo número de casos em que não são adotadas medidas de melhoria térmica das fachadas em obras de reabilitação de edifícios antigos. Esta situação ocorre devido aos diversos condicionalismos envolvidos nestas intervenções, especialmente quando se tratam de edifícios classificados ou localizados em centros históricos, nos quais poderá ser aceitável a não aplicação de isolamento térmico nas fachadas, caso estas possuam uma espessura muito elevada.

É unânime, segundo as respostas obtidas nestas entrevistas, a importância da existência de um justo equilíbrio entre a melhoria técnica, dotando os edifícios de melhores condições de habitabilidade, e a conservação do valor patrimonial. Foi também unânime a opinião de que os edifícios antigos possuem normalmente uma relevância arquitetónica e patrimonial que condiciona a aplicação do isolamento térmico nas fachadas, dado que o valor patrimonial é um fator imperativo na conservação destes edifícios. Assim sendo, foi também concluído que, embora a aplicação de ETICS seja uma das soluções mais eficientes energeticamente, esta apresenta dificuldades acentuadas em edifícios antigos, devido à consequente descaracterização arquitetónica e à dificuldade de execução de remates das guarnições que constituem os traços arquitetónicos das fachadas. Além disso, de acordo com E2, os vãos envidraçados de edifícios antigos possuem tipicamente uma guarnição em cantaria que normalmente, numa aplicação de ETICS na fachada, não é revestida com o isolamento térmico. O ETICS é assim apenas aplicado na zona rebocada da fachada, criando zonas de ponte térmica nas guarnições dos vãos, que comprometem o correto desempenho térmico da fachada, sendo nestes casos preferível a sua aplicação apenas em empenas cegas.

Assim sendo, podem considerar-se outras soluções, como a aplicação de isolamento térmico pelo interior das fachadas de edifícios antigos que, segundo todos os entrevistados, permite manter o aspeto exterior das fachadas antigas e diminuir o seu coeficiente de transmissão térmica, melhorando o seu desempenho térmico. No entanto, obteve-se também o parecer geral em todas as entrevistas realizadas que esta solução revela como principal desvantagem a eliminação da inércia térmica. Foi ainda apontado de forma unânime que as fachadas antigas possuem um comportamento térmico satisfatório no Verão, precisamente dada a sua inércia térmica conseguida através da elevada espessura que chega a atingir ordens de grandeza de 1 m. Assim, foi também concluído pelos entrevistados que, com a aplicação de isolamento térmico pelo interior das paredes exteriores, aumenta-se a sua resistência térmica, mas agrava-se a temperatura de conforto do espaço interior no Verão. Além disso, foi também mencionado por E1 e E3 que a aplicação de isolamento térmico pelo interior das fachadas reduz a área útil interior do edifício, o que pode ser um grande constrangimento em edifícios antigos, que muitas vezes possuem compartimentações interiores com áreas reduzidas. Segundo E1, dado que nos edifícios antigos, na zona dos vãos envidraçados existe tipicamente uma diminuição da espessura das paredes, é pontualmente aplicado por vezes isolamento térmico com contra-fachada apenas nessas zonas.

De acordo com E1, em casos em que se verifique a necessidade da substituição do revestimento, torna-se uma vantagem o recurso a rebocos térmicos, uma vez que se conjuga a necessidade de reparação com a possibilidade de melhoria térmica das paredes. Por vezes, segundo E1, também se justifica a utilização destes rebocos na reabilitação de paredes com humidades ascensionais e

cristalização de sais. Contudo, segundo E1 e E2, a aplicação de argamassas térmicas não traz um benefício significativo na melhoria térmica de fachadas antigas, dado que as argamassas térmicas possuem uma condutibilidade térmica superior aos restantes materiais isolantes, correndo-se ainda o risco, segundo E1, de incompatibilidade física, química e mecânica com o suporte.

A partir de meados do século XX, de acordo com E1, as fachadas tornaram-se elementos com maior carência de isolamento térmico, dada a diminuição de espessura e utilização de outros materiais como o tijolo furado. Além disso, segundo E1, muitas vezes a caixa-de-ar das paredes duplas não possui uma correta ventilação e drenagem, sendo preferível preencher a caixa-de-ar com material isolante.

Assim sendo, foi referido e concluído em todas as entrevistas realizadas que a aplicação de isolamento térmico em edifícios antigos deve ser analisada caso a caso, sendo mais correntes as intervenções ao nível da caixilharia aliada à preocupação acústica, e ao nível das coberturas.

4.5 Modelo de apoio à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos

Com base no trabalho de campo desenvolvido, traduzido na: descrição dos casos de estudo analisados a partir das respostas fornecidas nas fichas de inspeção, entrevistas, visitas aos edifícios e documentação disponibilizada; análise crítica das soluções adotadas para reabilitar os edifícios estudados; análise e conclusões das entrevistas a especialistas na área da reabilitação; foi realizado um fluxograma com o objetivo de servir de apoio à decisão relativamente à solução a aplicar na reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos, devendo esta ser sempre suportada pela ponderação de todas as condicionantes envolvidas em cada caso. Convém mencionar, no entanto, que não existe uma receita para a tomada de decisão sobre qual a solução específica a adotar, devendo-se sempre analisar caso a caso a viabilidade das várias soluções disponíveis. O fluxograma de apoio ao projetista quanto à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos (construídos até 1960) está representado na Figura 4.41.

É de referir também que, na tomada de decisão quanto à escolha de qualquer uma das soluções de isolamento térmico, e para além dos fatores condicionantes apresentados no fluxograma, deve-se também ter em consideração outros parâmetros de decisão, como a durabilidade e o processo de aplicação da solução de isolamento térmico, entre outros. Além disso, a escolha do material isolante também influencia o comportamento da solução de isolamento térmico, sendo que as características dos principais materiais isolantes utilizados foram enunciadas no subcapítulo 3.5. Assim sendo, o fluxograma de apoio ao projetista apresentado deve ser encarado como uma síntese geral das principais ponderações a realizar na reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos, existindo diversas vantagens e desvantagens associadas a cada solução, que foram discutidas com maior profundidade ao longo da Dissertação. Deve-se ter também presente que, em cada uma das intervenções preconizadas, tem de ser seguido o regulamento aplicável ao projeto de térmica para o edifício e zona climática em questão.

O fluxograma da Figura 4.41 possui pontos críticos de decisão, cujos principais fatores a considerar e avaliar são apresentados nas tabelas 4.5 a 4.10, correspondendo cada uma a um ponto crítico de decisão, permitindo assim suportar o fluxograma com informação mais detalhada relativa às opções de decisão a tomar e, por conseguinte, auxiliando o processo de determinação da resposta à pergunta colocada.

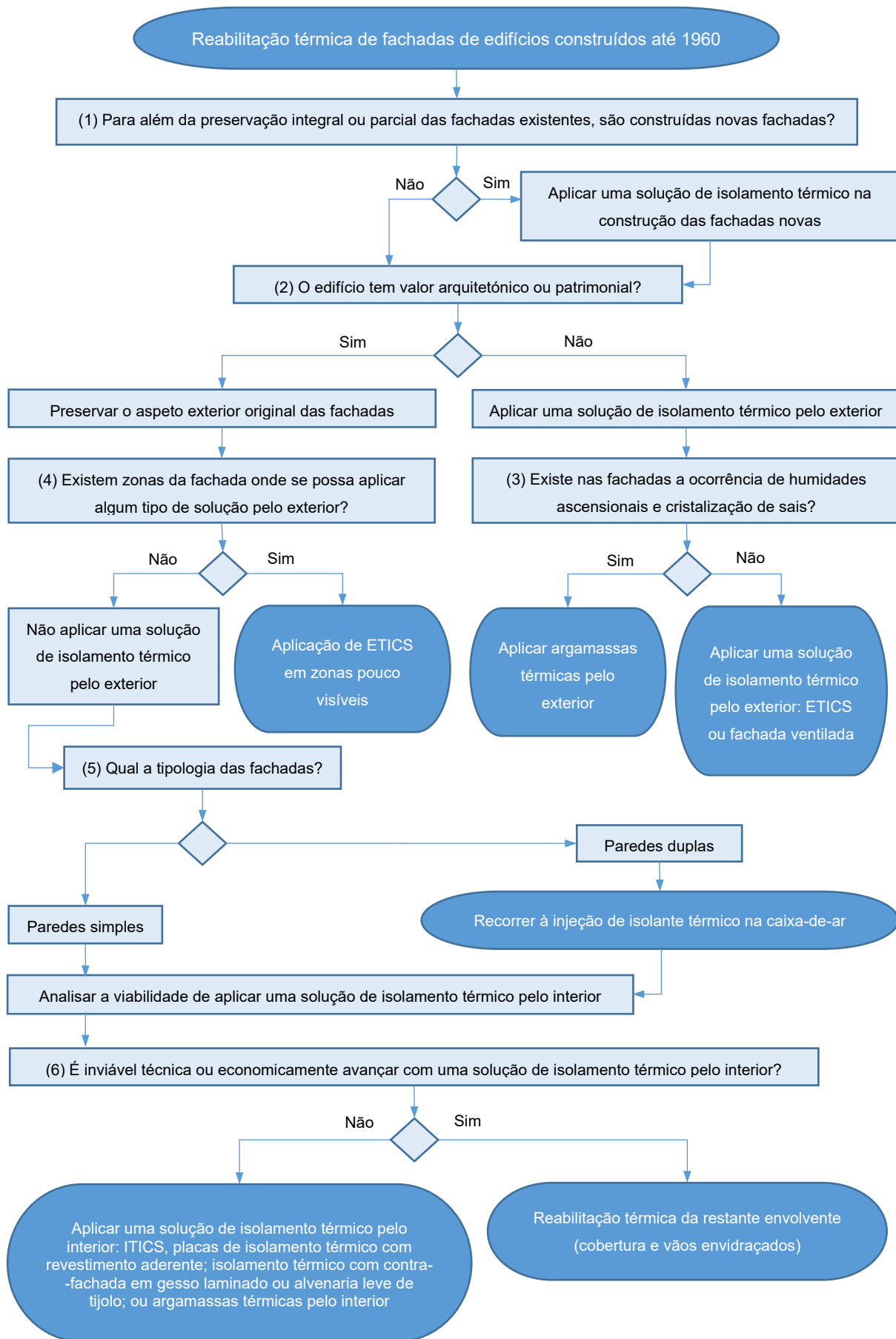


Figura 4.41: Fluxograma de apoio à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos

Tabela 4.5: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (1) do fluxograma

(1) Para além da preservação integral ou parcial das fachadas existentes, são construídas novas fachadas?	
<ul style="list-style-type: none"> • Em reabilitações de edifícios antigos, existe por vezes a necessidade de executar novas fachadas, devendo-se analisar o seu contributo para desempenho térmico da envolvente. 	<p>Sim. → Nas zonas da envolvente, onde sejam edificadas novas fachadas, deve-se incluir uma solução de isolamento térmico na sua solução construtiva. De seguida, devem ser analisadas as hipóteses de melhoria térmica das fachadas existentes.</p> <hr/> <p>Não. → Avançar para o processo de decisão relativamente à ação de melhoria térmica a adotar das fachadas existentes, que foram preservadas.</p>

Tabela 4.6: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (2) do fluxograma

(2) O edifício tem valor arquitetónico ou patrimonial?	
<ul style="list-style-type: none"> • Pretende-se preservar o aspeto original do edifício? ou • As fachadas possuem uma complexidade de guarnições e saliências que constituem os seus traços arquitetónicos? 	<p>Sim. → Não é recomendável a aplicação de uma solução de isolamento térmico pelo exterior, sob o risco de descaracterizar o aspeto exterior do edifício. Além disso, a sua aplicação implica dificuldades de execução dos remates das guarnições e saliências existentes.</p> <hr/> <p>Não. → É preferível optar por uma solução de isolamento térmico pelo exterior, tirando partido das suas vantagens.</p>

Tabela 4.7: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (3) do fluxograma

(3) Existe nas fachadas a ocorrência de humidades ascensionais e cristalização de sais?	
<ul style="list-style-type: none"> • Na sua ocorrência, a solução de isolamento térmico não deve criar uma barreira à passagem de água com sais dissolvidos, pois criar-se-iam tensões entre a solução e o suporte, comprometendo a durabilidade do material isolante e a aderência da solução à parede. 	<p>Sim. → A utilização de argamassas térmicas é a solução muitas vezes recomendada neste caso. No entanto é uma solução com menor resistência térmica, comparativamente com outras soluções.</p> <hr/> <p>Não. → Recomenda-se a utilização de uma solução mais eficiente termicamente: ETICS ou fachada ventilada. Estas soluções são as que oferecem melhor correção de pontes térmicas, mantêm a inércia térmica das fachadas e permitem também renovar o aspeto exterior das fachadas. O ETICS é uma solução mais comum na reabilitação, comparativamente com a fachada ventilada, possivelmente devido ao seu custo de investimento, que é mais reduzido face ao custo associado à fachada ventilada. A escolha do material isolante do sistema ETICS também é importante, sendo preferível, em fachadas de edifícios antigos, a utilização de materiais mais permeáveis ao vapor de água, como MW e ICB, dado que as fachadas de edifícios antigos são normalmente paredes de alvenaria de pedra, ou seja são elementos porosos.</p>

Tabela 4.8: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (4) do fluxograma

(4) Existem zonas da fachada onde se possa aplicar algum tipo de solução pelo exterior?	
<ul style="list-style-type: none"> • Pretende-se preservar o aspeto original do edifício. Deve ser analisada a possibilidade de aplicar ETICS em zonas da fachada que sejam pouco visíveis, de forma a não descaracterizar a arquitetura do edifício. • O ETICS é uma solução termicamente eficiente, no entanto, ao ser aplicado pontualmente, não permite a correção térmica da restante fachada. Assim, deve analisar-se se uma solução de isolamento térmico pelo interior permite um melhor desempenho térmico das fachadas. 	<p>Sim. → Aplicação de ETICS em zonas pouco visíveis da fachada.</p> <hr/> <p>Não. → Não aplicar uma solução de isolamento térmico pelo exterior.</p>

Tabela 4.9: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (5) do fluxograma

(5) Qual a tipologia?	
<ul style="list-style-type: none"> • Não sendo possível aplicar uma solução de isolamento térmico pelo exterior, como ETICS, deve-se ponderar a utilização de outras soluções. Na sua escolha devem ser analisadas quais as soluções possíveis, dependendo da tipologia da fachada em causa. 	<p>Parede dupla. → Recomenda-se a análise entre dois tipos de soluções. Neste caso, é possível a injeção de isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas, pois permite a preservação do aspeto exterior e interior da fachada. Porém, é necessário ter em consideração a dificuldade de garantia de eficácia do processo de enchimento da caixa-de-ar. Caso não seja viável, deve ser analisada a possibilidade de aplicação de isolamento térmico pelo interior.</p> <hr/> <p>Parede simples. → Para este caso existe um conjunto de soluções de isolamento térmico pelo interior, pelo que deve ser analisada a viabilidade da sua aplicação.</p>

Tabela 4.10: Informação detalhada do Ponto crítico de decisão (6) do fluxograma

(6) É inviável técnica ou economicamente avançar com uma solução de isolamento térmico pelo interior?	
<ul style="list-style-type: none"> • A perda de inércia térmica das fachadas e/ou a redução da área útil das compartimentações do edifício apresentam um constrangimento que se impõe ao ganho de resistência térmica conseguido através de uma solução de isolamento térmico pelo interior? <li style="text-align: center;">ou • A condicionante económica inviabiliza a sua aplicação? 	<p>Sim. → Após análise das vantagens e desvantagens, se não for possível aplicar uma solução de isolamento térmico nas fachadas, dadas as condicionantes envolvidas, devem ser tomadas medidas de reabilitação térmica na restante envolvente (cobertura e vãos envidraçados).</p> <hr/> <p>Não. → Aplicar uma solução de isolamento térmico pelo interior: ITICS, placas de isolamento térmico com revestimento aderente; isolamento térmico com contra-fachada em gesso laminado ou alvenaria leve; ou argamassas térmicas pelo interior.</p>

Embora muitos dos casos de estudo analisados não recorram à reabilitação térmica das fachadas existentes, devido sobretudo às condicionantes indicadas ao longo do fluxograma (valor arquitetónico ou patrimonial do edifício, possível perda de inércia térmica das fachadas e redução da área útil interior), deve-se sempre partir do princípio que deve existir a reabilitação térmica das fachadas dos edifícios antigos. Em última análise, se não se verificar a viabilidade deste tipo de intervenção no edifício em causa, devem-se adotar outras medidas de correção térmica na restante envolvente (cobertura e vãos envidraçados) por onde também ocorrem trocas de calor significativas.

4.6 Conclusões do capítulo

Após o trabalho de campo desenvolvido e analisado, é possível concluir com este capítulo que, apesar dos benefícios da reabilitação térmica expressos na bibliografia de referência, na prática em Portugal não existe um estímulo suficiente à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos. O sector da reabilitação tem crescido em Portugal, existindo hoje em dia a preocupação em preservar o património edificado, no entanto verifica-se, através dos casos de estudo analisados, que ainda não existe de forma significativa nestas intervenções o recurso a soluções de isolamento térmico das fachadas de forma a dotar os edifícios antigos dos níveis de conforto exigidos atualmente. De facto, verifica-se através dos casos analisados que, embora existam diversas soluções de isolamento térmico, a sua aplicação em fachadas de edifícios antigos apresenta diversas condicionantes que se impõem à sua adoção, como os conditionalismos arquitetónicos, dado que em edifícios antigos existe habitualmente a necessidade de preservar a sua arquitetura e possível valor patrimonial. Assim, soluções pelo exterior, como ETICS, são apenas viáveis em edifícios que tenham a possibilidade de renovação estética, sendo mais provável a possibilidade da sua aplicação em edifícios construídos posteriormente a 1930. Em edifícios mais antigos é possível adotar soluções de isolamento térmico pelo interior, as quais também apresentam desvantagens e são menos eficientes termicamente. Verificou-se também no trabalho de campo que existe uma noção de que a inércia térmica das fachadas existentes é suficiente para garantir um comportamento térmico satisfatório, sendo mais corrente a correção térmica da cobertura, vãos envidraçados e fachadas novas. Além disso, segundo algumas entrevistas realizadas nos casos de estudo, verifica-se que impera a preocupação relativamente ao comportamento acústico da envolvente, face à preocupação térmica.

Estas conclusões são feitas de acordo com a informação reunida, cuja disparidade de detalhe na descrição entre casos de estudo se deve à dificuldade que existiu durante o trabalho de campo.

5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Conclusões finais

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo teórico e prático relativamente às medidas de reabilitação térmica em fachadas de edifícios antigos, construídos até 1960, que contou também com a opinião de especialistas na área da reabilitação, com o objetivo de determinar quais as soluções mais apropriadas, quais os condicionalismos envolvidos e quais as exigências regulamentares aplicáveis a fachadas de edifícios executados até este período. A abordagem realizada a edifícios antigos é distinta da realizada a edifícios novos. De facto, os edifícios antigos, construídos até 1960, possuíam tipologias construtivas distintas das executadas atualmente, com fachadas constituídas em geral por paredes simples de alvenarias de pedra, tijolo ou mistas, com espessuras elevadas, que podiam variar entre 40 cm a 1 m; ou por paredes duplas de pedra e/ou tijolo, que surgiram apenas em 1950. Dada a sua espessura, as fachadas antigas possuem uma forte inércia térmica, que favorece o comportamento térmico dos edifícios antigos. No entanto, não têm incorporado qualquer tipo de solução de isolamento térmico, dado que a sua utilização surgiu posteriormente à sua construção, com o desenvolvimento da regulamentação térmica, em 1990. Assim sendo, a reabilitação térmica contribui para o aumento da resistência térmica das fachadas e para a mitigação de anomalias devidas às condensações superficiais e internas, que muitas vezes ocorrem em edifícios antigos, devido à carência de isolamento térmico nas fachadas. De acordo com o projeto de verificação do comportamento térmico do caso de estudo I, os valores de U das fachadas existentes sem isolamento térmico, embora verifiquem os requisitos térmicos dos regulamentos anteriores, não conseguem cumprir as exigências térmicas da regulamentação atual, imposta mais especificamente à construção nova, mas que traduz as exigências de conforto dos utilizadores atuais. Apesar do contributo da reabilitação térmica no aumento da resistência das soluções construtivas às trocas de calor, existem vários condicionalismos envolvidos na aplicação de isolamento térmico em fachadas de edifícios antigos. Dadas as limitações, quer ao nível de inviabilidade técnica, funcional, arquitetónica e/ou económica existentes muitas vezes em intervenções em edifícios antigos, a lei atual, através de [A.R., 2014], prevê que estes possam estar isentos do cumprimento dos mesmos requisitos térmicos a que está sujeita a construção nova. Tal não quer dizer que nada se faça em relação à qualidade térmica de edifícios antigos, devendo a possibilidade de melhoria térmica ser sempre analisada. Pode-se concluir que geralmente os edifícios construídos até 1930 têm um valor arquitetónico e patrimonial associado, que condiciona o campo de ação quanto à correção térmica das fachadas. Nestes casos, a reabilitação térmica das fachadas está limitada à execução de isolamento térmico pelo interior, dado que a sua aplicação pelo exterior iria descaracterizar o aspeto dos edifícios, que deve ser preservado. Assim sendo, as soluções aplicadas pelo interior permitem aumentar a resistência térmica das fachadas, mantendo o aspeto exterior dos edifícios. Nesse sentido, permitem melhorar o desempenho térmico das fachadas, especialmente no Inverno, diminuindo as perdas de calor. Através dos valores de U para as fachadas reabilitadas termicamente com adição de soluções de isolamento térmico pelo interior determinados no projeto de verificação do comportamento térmico do caso de estudo A, conclui-se que essa adição permitiu o estabelecimento de valores de U que cumprem os requisitos térmicos atualmente exigidos para a construção nova, indo assim ao encontro das necessidades de conforto da sociedade atual. No

entanto, as soluções de isolamento térmico também apresentam desvantagens, como a perda de inércia térmica das fachadas existentes, que pode potenciar o sobreaquecimento dos edifícios no Verão, dado que a temperatura de conforto do espaço interior dos edifícios antigos no Verão é sobretudo conseguida através da inércia térmica das fachadas, que absorve o calor vindo do exterior durante o dia, e liberta-o à noite, impedindo que exista um excesso de calor no espaço interior. Além disso, reduz a área útil interior dos edifícios, sendo um fator condicionante em edifícios antigos, dado que estes possuem normalmente compartimentações com áreas reduzidas. Todavia, pode-se também concluir que, no caso de edifícios construídos entre 1930 e 1960, num período de transição para os edifícios modernos, existe uma maior liberdade de ação para melhorar o comportamento térmico das fachadas, dado que estes edifícios possuem normalmente uma menor importância arquitetónica e patrimonial. Assim sendo, nestes casos é possível recorrer a soluções termicamente mais eficientes, como o ETICS e a fachada ventilada que, ao serem aplicadas pelo exterior, permitem tirar partido da inércia térmica das fachadas e corrigir as pontes térmicas, diminuindo o risco de ocorrência de condensações superficiais e internas nas fachadas e consequentes anomalias, como manchas de humidade e colonização de fungos e bolores. No caso de edifícios construídos entre 1950 e 1960 com paredes exteriores duplas, também é possível recorrer-se à injeção de material isolante na caixa-de-ar. Esta pode ser uma solução interessante, sobretudo se existir a preocupação em manter os traços arquitetónicos do edifício, no entanto a sua aplicação requer mão-de-obra especializada e é difícil garantir a eficácia da sua aplicação. Existem também outras soluções, como as argamassas térmicas. Pode-se concluir que estas apresentam um maior coeficiente de condutibilidade térmica, e por isso são menos eficazes termicamente que as restantes soluções. No entanto, podem ser interessantes como complemento a outra solução de isolamento térmico ou podem também ser adotadas nos casos em que o revestimento necessite de ser substituído e exista a presença de humidades ascensionais e cristalização de sais na fachada, devendo para a sua utilização ser analisada a compatibilidade física, mecânica e química entre a argamassa e o suporte. Atualmente continuam a ser desenvolvidos diversos estudos de argamassas com comportamento térmico melhorado, na procura do estabelecimento de melhores características do seu comportamento.

Conclui-se, por fim, que não existe uma receita para a reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos, sendo necessário analisar caso a caso quais as vantagens e desvantagens das diversas soluções de isolamento térmico e quais os condicionalismos existentes nos edifícios antigos que podem limitar o campo de ação na correção térmica das fachadas. Deve-se partir do princípio que deve ser executado um projeto de verificação do comportamento térmico na reabilitação de edifícios antigos, procurando melhorar termicamente toda a envolvente dos edifícios e, por conseguinte, analisando a viabilidade de se atuar ao nível das fachadas. Nesse sentido, na presente Dissertação foi elaborado um modelo, que inclui um fluxograma e tabelas de apoio, validado com casos de estudo reais e com opiniões de especialistas na área da reabilitação, com o intuito de oferecer um contributo à reabilitação térmica de fachadas de edifícios antigos.

5.2 Desenvolvimentos futuros

A reabilitação térmica surge como resposta às exigências a nível europeu quanto à diminuição dos consumos energéticos e ao aumento da eficiência energética dos edifícios. Existe também em Portugal uma

consciencialização crescente relativamente à importância ambiental e ao impacto que o sector da construção tem na emissão de gases poluentes, através, por exemplo, dos consumos energéticos em aparelhos de climatização. Nesse sentido, os requisitos térmicos para a construção nova têm vindo a tornar-se cada vez mais exigentes, salientando-se as novas exigências normativas para o valor do U_{max} dos elementos opacos da envolvente, em vigor desde 31 de Dezembro de 2015, que reduziram para mais de metade os valores máximos permitidos para a verificação do U das soluções construtivas destes elementos.

A apresentação de certificação energética no caso de imóveis para venda ou aluguer é obrigatória, em edifícios novos ou existentes, e tem como objetivo tornar a eficiência energética num fator de escolha para o comprador e motivar o vendedor a implementar medidas de eficiência energética. A eficiência energética deve por isso tornar-se num parâmetro cada vez mais importante na escolha do consumidor, incentivando assim um aumento da reabilitação térmica do parque edificado.

No entanto, tal como se constatou através do trabalho de campo desenvolvido, a área da reabilitação não tem acompanhado os progressos da construção nova ao nível do desempenho térmico da envolvente dos edifícios, sendo que não tem existido uma preocupação suficiente quanto à adoção de medidas de correção térmica das fachadas em edifícios antigos. Este facto deve-se não só às condicionantes envolvidas numa reabilitação de edifícios antigos, que dificultam a aplicação de uma solução de isolamento térmico nas fachadas, mas também a uma perceção, muito generalizada pelos intervenientes em ações de reabilitação, de que a forte inércia térmica das fachadas antigas, conseguida através de espessuras elevadas que podem variar entre 40 cm a 1 m, garante um comportamento térmico satisfatório, não sendo imperativo atuar no sentido da sua melhoria térmica. Desta forma, constatou-se que as correções térmicas em intervenções de edifícios antigos se restringem muitas vezes a elementos da envolvente, cuja vida útil física terminou e cujo comportamento térmico é mais frágil, como a cobertura e os vãos envidraçados (caixilharia e vidros). É necessário por isso que se desenvolva uma consciencialização quanto à importância da reabilitação térmica, não só nestes elementos da envolvente, mas também nas fachadas, dotando-as de um melhor comportamento térmico. Apesar das limitações existentes, deve sempre ser analisada a possibilidade de se adotar uma solução de isolamento térmico nas fachadas, ponderando as vantagens e os condicionalismos envolvidos.

Também foi possível constatar-se, através do trabalho de campo, que existe, na reabilitação de edifícios antigos em centros urbanos, uma maior preocupação quanto aos requisitos acústicos da envolvente, tendo sido disponibilizado o projeto de condicionamento acústico, em muitos dos casos de estudo, mas tendo sido no entanto raramente apresentado um projeto de verificação do comportamento térmico. Assim sendo, deve existir um maior incentivo não só à adoção de soluções de isolamento térmico, mas também deve existir um maior rigor na reabilitação térmica, complementando a escolha de uma solução com um estudo que determine qual o comportamento térmico da envolvente antes e após a intervenção. Assim sendo, deve existir uma implementação prática do modelo desenvolvido nesta Dissertação, de forma a procurar cumprir estes objetivos. Considera-se também importante, que se aprofunde e continue o estudo realizado, através por exemplo de outras Dissertações, aplicando este modelo a mais casos práticos, para o validar de forma mais abrangente, incluindo a eventual divisão do estudo em zonas climáticas mais extremas. Recomenda-se também, por fim, um estudo semelhante ao desenvolvido, aplicado a coberturas e vãos envidraçados.

Referências bibliográficas

- ABRANTES V.; FREITAS, V.; SERRA e SOUSA, A.; SILVA, R.; SOUSA, H.. **Manual de Alvenaria de Tijolo**. Coimbra: APICER, CTCV, FCTUC, 2000.
- ACEPE. **Guia de Reabilitação Térmica de Edifícios com Aplicação em EPS**. Lisboa: ACEPE, 2014.
- ADENE – Agência para a Energia. **Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes**, Despacho n.º 11020/2009, de 30 de Abril § D.R. 2ª série – N.º 84 - 17410-17416, 2009.
- ADENE – Agência para a Energia. **Guia de Eficiência Energética**. Lisboa, ADENE: 2012.
- AGUIAR, J.; MONTEIRO, José. **Argamassas para reboco interior com propriedades térmicas melhoradas**, em Eventos Paralelos da Concreta 2004 - Marcação CE obrigatória em Argamassas: uma garantia de Qualidade, organizado pela APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, Porto: 2004.
- AGUIAR, José; ALVES, Vítor; CUNHA, Sandra. **Argamassas Térmicas Sustentáveis: O Contributo dos Materiais de Mudança de Fase**, em 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, 2012.
- AGUIAR, José; APPLETON, João; CABRITA, A. M. Reis. **Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais**. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2014.
- AGUIAR, José; CARVALHO, Fernando; SILVA, António Santos; VEIGA, Maria do Rosário. **Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos**. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004.
- ALMENDROS-IBÁÑEZ, J. A; BELMONTE, J.F.; IZQUIERDO-BARRIETOS, M. A. ; MOLINA, A. E.; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ. **A numerical study of external building walls containing phase change materials (PCM)**. Applied Thermal Engineering, Vol. 47, p. 73-85, 2012.
- ALVES. Sandro; FERREIRA, Cláudia; FREITAS, Vasco Peixoto de; GIMARÃES, Ana. **Edifícios Existentes – Medidas de Melhoria de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior**. Miraflores: ADENE - Agência para a Energia, Março de 2011.
- Amorim Isolamentos, S. A. **Catálogo 2015**.
- ANELI, S.; GAGLIANO, A.; NOCERA, F. **Thermodynamic analysis of ventilated façades under different wind conditions in summer period**. Energy and Buildings, Vol. 122, p. 131-139, 2016.
- ANSELMO, Isabel; MALDONADO, Eduardo; NASCIMENTO, Carlos. **Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais**. Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia, Edição DGGE/IP-3E, 2004.
- APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, em parceria com IC – Instituto da Construção e LFC – Laboratório de Física das Construções. **Patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS**. Relatório — LFC-IC-282A-2014. Porto: Dezembro de 2014.
- APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção. **ETICS: External Thermal Insulation Composite System – Manual de Aplicação**. Coimbra: APFAC, 2015.

APPLETON, João. **Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção**. Amadora: Edições Orion, 2ª Edição, 2011.

Assembleia da República. **Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) — Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções**, Portaria n.º 379--A/2015 de 22 de Outubro § D.R. 1.ª série — N.º 207 — 9196-(14)-9196-(17), 2015.

Assembleia da República. **Regime excecional para reabilitação de edifícios**, Decreto-Lei n.º 53/2014 de 8 de Abril § D.R. 1.ª série — N.º 69 — 2337 – 2340, 2014.

Assembleia da República. **Publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo dos valores que integram o presente despacho**, Despacho n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro § D.R. 2.ª série — N.º 234 — 35088-(58) - 35088-(87), 2013a.

Assembleia da República. **Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)**, Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto § D.R. 1ª série – N.º 159 – 4988 – 5004, 2013b.

Assembleia da República. **Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) — Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções**, Portaria 349--B/2013 de 29 de Novembro § D.R. 1.ª série — N.º 232 — N.º 6624-(18) - 6624-(29), 2013c.

Assembleia da República. **Fundo de Eficiência Energética (FEE)**, Decreto-Lei n.º 50/2010 de 20 de Maio § D.R. 1.ª série — N.º 98 — 1739 – 1740, 2010.

Assembleia da República. **Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior**, Despacho n.º 10250/2008, de 8 de Abril § D.R. 2.ª série — N.º 69 — 15550 – 15556, 2008a.

Assembleia da República. **Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios**, Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho § D.R. 1.ª série — N.º 110 — 3359 – 3372, 2008b.

Assembleia da República. **Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**, Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril § D.R. 1ª série-A – Nº67 - 2468-2513, 2006a.

Assembleia da República. **Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios**, Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril § D.R. 1ª série-A – Nº67 – 2411 – 2415, 2006b.

Assembleia da República. **Regime de renda condicionada**, Decreto-Lei n.º 329-A/2000 de 22 de Dezembro § D.R. 1ª série-A – N.º 294 — 7444-(2) - 7444-(4), 2000.

Assembleia da República. **Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**, Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro § D.R. 1.ª série — N.º 31 – 490 – 504, 1990.

AZEVEDO, Hélder. **Reforço de estruturas de Alvenaria de Pedra, Taipa e Adobe com elementos de Madeira Maciça**. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Construção. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

BELÉM, Margarida da Cunha e TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa. **Diálogos de edificação- Estudo de técnicas tradicionais de construção**. Porto: CRAT - Centro Regional de Artes Tradicionais, 1998.

BERARDINIS, Pierluigi de; FRIEDMAN, Avi; MARCHIONNI, Chiara; ROTILIO, Marianna. **Improving the energy-efficiency of historic masonry buildings. A case study: A minor centre in the Abruzzo region, Italy.** Energy and Buildings, Vol. 80, p. 415-423, 2014.

BORGES, Pedro. **Certificação energética de edifícios existentes – Estudo sobre a melhoria do desempenho térmico das paredes exteriores e respectiva análise técnico-económica.** Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Construções Civis. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

BOSCH, Montserrat; CABEZA, Luisa F; FERNANDEZ, Ana I.; HAURIE, Laia; SERRANO, Susana. **Single layer mortars with microencapsulated PCM: Study of physical and thermal properties, and fire behaviour.** Energy and Buildings, Vol. 111, p. 393-400, 2016.

BRAGA, Ana Marta. PIEDADE, António Canha da; RODRIGUES, António Moret. **Térmica de edifícios.** Amadora: Edições Orion, 1ª Edição, 2009.

BRÁS, Ana; FAUSTINHO, Pedro; ROCHA, Ana. **Integrated approach for school buildings rehabilitation in a Portuguese city and analysis of suitable third party financing solutions in EU.** Journal of Building Engineering, Vol. 3, p. 79-93, 2015.

BRITO, Jorge de; CRUZ, Carlos Oliveira; FERNANDES, Claribel. **Architectural integration of ETICS in building rehabilitation.** Journal of Building Engineering, Vol. 5, p. 178-184, 2016.

BRITO, Jorge de; FREITAS, Vasco Peixoto; HENRIQUES, Dulce Franco; MOURA, Rita; PINHO, Fernando F. S.; SILVA, Maria João Falcão da. **Reflexão sobre a estratégia para a Reabilitação em Portugal.** Lisboa e Porto: PTPC – Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção, 2015.

CCE –Centro para a conservação de energia. **Energy Rehabilitation Methodology for Buildings Located in Urban Areas – A SAVE II Programme Action.** Amadora: Abril de 2000.

CHO, Soolyeon; MARTINEZ-MOLINA, Antonio; TORT-AUSINA, Isabel; VIVANCOS, José-Luis. **Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 61, p. 70-85, 2016.

CLÍMACO, Nuno. Reabilitação, **Eficiência e Certificação Energética.** Energia – Guia de Eficiência Energética nos Edifícios. Este guia é parte integrante das revistas Indústria e Ambiente e Construção Magazine. 9ª Edição, p. 8-10, Maio de 2015.

Construlink.com. **Dossier técnico-económico: Fachada Ventilada.** Outubro de 2006.

CORREIA, André, **ISODUR-Isolamento Térmico Projectado: Contribuição das Argamassas e dos ETICS para a Eficiência Energética dos Edifícios,** em seminário apresentado pela Secil Argamassas, na Tektónica, Lisboa, 13 de Maio 2010.

CORREIA, André. **Argamassas térmicas, uma solução na melhoria do desempenho térmico de edifícios,** em seminário Fachadas Energeticamente Eficientes, apresentado pela APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, na Tektónica, Lisboa: 2014.

Expresso. **Sismos em Portugal - Onde vivem os habitantes de Lisboa.** Oeiras: Jornal Expresso, 2016.

FARIA, Paulina. **Argamassas para reabilitação. Funções, constituintes e características.** Pedra & Cal, Revista n.º 35. Lisboa: GECORPA, 2007.

FRAGOSO, Rui. **O novo enquadramento legal do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE)**, em encontro 2013. Miraflores: ADENE - Agência para a Energia, 16 Dezembro 2013.

FREITAS, Vasco Peixoto (Coordenador). **Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos.** Porto: OERN, 2012.

FREITAS, Vasco Peixoto. **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior: Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido – ETICS.** Maxit – Tecnologias de Construção e Renovação, Lda. Relatório – HT 191A/02. Porto: 2002.

FEE - Fundo de Eficiência Energética. **Aviso para apresentação de candidatura ao fundo de eficiência energética – Edifício Eficiente 2015.** Lisboa: PNAEE - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética, 2015.

GOMES, Maria da Glória; SILVA, Cristina Matos. **Térmica de edifícios**, folhas de apoio de Conforto Ambiental em Edifícios. Mestrado em Construção, IST - Instituto Superior Técnico. Lisboa: 2015.

GONÇALVES, Teresa; VEIGA, Maria do Rosário. **Acabamentos para paredes exteriores de edifícios antigos**, em *Encontro 1997 Materiais de Construção, Inovação e Qualidade*. Lisboa, ISMAG, Maio de 1997.

GUIMARÃES, Miguel. **Estratégias de reabilitação térmica em edifícios habitacionais.** Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Construção. Lisboa: IST - Instituto Superior Técnico, 2011.

Gyptec (Gyptec Ibérica - Gessos Técnicos, S.A). **Catálogo de Placas de Gesso Laminado** [Documento consultado em Maio de 2016].

Halfen. **Fixações mecânicas para pedra. – Guia Técnico.** Maia: Halfen, 2010.

HENRIQUES, Fernando M. A. **Humidade em Paredes.** Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007.

INE - Instituto Nacional de Estatística. **Censos 2011 Resultados Definitivos - Região Lisboa**, p. 106. Lisboa: 2012.

INE- Instituto Nacional de Estatística e LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. **Parque Habitacional e a sua reabilitação- Análise e evolução 2001-2011.** Lisboa: Edição 2013.

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade. **Relatório de Investigação Aplicada – Cálculo do atraso térmico de soluções construtivas que incorporam isolamento térmico.** Coimbra: ITeCons, 2010.

Knauf Insulation. **Catálogo do produto Supafil 034–Isolante de Lã Mineral para injetar.** Novembro de 2012.

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. **Documento de Homologação de Pata Mecânica-PR – Sistema de fixação de placas de pedra natural para revestimentos de paredes.** Lisboa: LNEC, 2012.

MALANHO, Sofia; VEIGA, Maria do Rosário. **ETICS e argamassas térmicas: novos desafios de desempenho e sustentabilidade**, em Seminário Fachadas energeticamente eficientes: Contribuição

dos ETICS/Argamassas Térmicas. Lisboa: Tektónica-FIL, 2012.

MARGALHA, Maria Goreti. **Conservação e Recuperação de Construções em Taipas- Acção de Formação-Taliscas- Odemira- Abril 2008**. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2008.

MARIA, Daniel Coelho. **Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios**. Lisboa: Publisher Team, 2007.

MATIAS, Luís; SANTOS, Carlos A. Pina dos. **Coefficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente dos edifícios**. Coleção: Informações Científicas e Técnicas, Série: ITE 50, 2ª Edição. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

MENDES, Francisco. **Durabilidade das Fachadas Ventiladas–Aplicação da Norma ISO 15686-1**. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Construção. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

NUNES, João. **Reabilitação do ponto de vista térmico de fachadas no centro histórico do Porto**. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Construção. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

PINHO, Fernando F. S. **Paredes de edifícios antigos**. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2008.

PINTO, André. **Reabilitação Térmica de Fachadas. Estudo de caso através de simulação numérica**. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Construção. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

Pladur. **Gama de produtos** [Documento consultado em Maio de 2016].

ROCKWOOL. **Catálogo: REDAir - Conceção e resistência, a união perfeita** [Documento consultado em Abril de 2016].

Secil Argamassas. **Catálogo: Secil Argamassas 2014 - Produtos e soluções para renovação e obra nova**. Leiria: 2014.

SILVA, Vera. **Guia para a reabilitação - Isolamento térmico de edifícios correntes com poliestireno extrudido**, Projeto “Cooperar para Reabilitar” da InovaDomus. Lisboa: Iberfibran – Poliestireno Extrudido, SA, 2013.

SILVA, João. **Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção**. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa: ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.

VALÉRIO, Jorge. **Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa: IST - Instituto Superior Técnico, 2007.

VEIGA, Maria do Rosário. **Conservação e reparação de revestimentos antigos: Métodos e materiais**. Programa de Investigação e de Pós-Graduação para obtenção do título de habilitação para o exercício das funções de coordenação científica. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia

Civil, Série TPI 58, 2009.

Weber (Saint-Gobain Weber Portugal S.A). **O guia weber 2016**. Aveiro: 2016.

WEVER, Selwin. **Eficiência energética em Portugal**. Energia – Guia de Eficiência Energética nos Edifícios. Este guia é parte integrante das revistas Indústria e Ambiente e Construção Magazine. 9ª Edição, p. 4-6, Maio de 2015.

Páginas Web

[w1]: Instituto Ecodesenvolvimento. **Casas de taipa voltam à moda em Portugal**. Disponível em <http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2013/junho/casas-de-taipa-voltam-a-moda-em-portugal> [Consultado em Fevereiro de 2016].

[w2]: FLICKR. **Galeria**. Disponível em <https://www.flickr.com/photos/rahego/4431751637> [Consultado em Fevereiro de 2016].

[w3]: O Corvo – sítio de Lisboa. **Edifício do elevador do Castelo poderá ser sede da freguesia de Santa Maria Maior**. Disponível em <http://ocorvo.pt/2013/04/15/edificio-do-elevador-do-castelo-poder-ser-sede-da-freguesia-de-santa-maria-maior/> [Consultado em Fevereiro de 2016].

[w4]: Departamento de estruturas do LNEC – Núcleo de engenharia sísmica e dinâmica de estruturas. **Evolução das tipologias construtivas em Portugal**. Disponível em http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/evol_tipol.html [Consultado em Fevereiro de 2016].

[w5]: ADENE - Agência para a Energia. **Certificação energética de edifícios**. Disponível em <http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios>. [Consultado em Março de 2016]

[w6]: TESTO. **Classificação de eficiência energética em construções**. Disponível em: https://www.testo.com.br/pt/home/servicos/conhecimento_de_medicao/diretrizes_e_leis/classificacao_de_eficiencia_energetica_em_construcoes/classificacao_de_eficiencia_energetica_em_construcoes.jsp [Consultado em Abril de 2016].

[w7]: Tudo sobre Engenharia Civil – A arte do engenheiro. **Ordem dos Engenheiros premiou jovem bracarense**. Disponível em <https://engenhariacivil.wordpress.com/2008/01/26/ordem-dos-engenheiros-premiou-jovem-bracarense/> [Consultado em Abril de 2016].

[w8]: ISORENEL ISOLAMENTOS. Isocasa Espuma Injectada. Disponível em http://www.isorenel.pt/1/isocasa_espuma_injectada_883400.html [Consultado em Maio de 2016].

[w9]: Knauf insulation. **Processo de aplicação com Supafil**. Disponível em <http://www.knaufinsulation.pt/processo-de-aplica%C3%A7%C3%A3o-com-supafil> [Consultado em Abril de 2016].

[w10] JLL Cobertura. **Liberdade 203**. Disponível em <http://www.cobertura.pt/empreendimento/2499822/liberdade-203-lisboa/#.V4z6QzWgic0> [Consultado em Julho de 2016]

Anexos

Anexo 4.I: Ficha de inspeção tipo de casos de estudo com isolamento térmico nas fachadas existentes

Ficha de inspeção nº	
Técnico Responsável	
Data	

Tabela 4.I.1: Caracterização do edifício

Caracterização do edifício					
Localização:					
Data de conclusão da reabilitação (real ou prevista):					
Tipo de utilização:	Habitação		Tipo de revestimento exterior antes da intervenção:	Cal aérea	
	Comércio			Cal hidráulica	
	Serviços			Cimento	
	Outro:			Outro:	
Época de construção:	1755-1880		Tipo de acabamento exterior antes da intervenção:	Caiação	
	1880-1930			Guarnecimento ou barramento	
	1930-1960			Azulejo	
	Outro:			Outro:	
Tipologia estrutural do edifício:	Pré-Pombalina		Tipologia das fachadas:		
	Pombalina		Função:	Parede de vedação	
	Gaioleira			Parede estrutural	
	Mista		Material constituinte:	Parede de taipa ou adobe	
	Betão Armado			Alvenaria de pedra	
		Alvenaria de tijolo			
Estado de conservação em que se encontravam as fachadas antes da intervenção:	Bom estado		Parede mista (tem mais do que um material)		
	Razoável estado				
	Mau estado:		No caso de ser uma solução de parede mista. Qual o conjunto de materiais que a constituem?		
	Revestimento degradado				
Instabilidade do suporte					
Breve descrição do estado de conservação das fachadas:			Paredes duplas		
			• Espessura de cada pano:		
			Paredes simples		
			• Espessura da parede:		

Tabela 4.1.2: Identificação da solução de reabilitação térmica nas fachadas existentes

Identificação da solução de reabilitação térmica nas fachadas		
Qual a solução de isolamento térmico adotada?	1. Sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)	
	2. Fachada Ventilada	
	3. Injeção de produtos a granel ou espumas na caixa-de-ar	
	4. Sistema compósito de isolamento térmico pelo interior (ITICS)	
	5. Isolamento pelo interior com painéis isolantes pré-fabricados com camada de revestimento em gesso laminado	
	6. Isolamento pelo interior com painéis isolantes pré-fabricados com camada de revestimento em madeira	
	7. Contra-fachada de alvenaria de tijolo	
	8. Contra-fachada de gesso laminado	
	9. Argamassa térmica para revestimento exterior	
	10. Argamassa térmica para revestimento interior	
	11. Outra:	

Tabela 4.1.3: Alterações e condicionantes do projeto de verificação do comportamento térmico

Alterações e condicionantes do projeto de verificação do comportamento térmico			
A solução adotada coincide com a solução inicialmente projetada?		Sim	
		Não	
Se não:	Qual a solução de projeto? (1 a 11)		
	Porque se recorreu a uma solução de recurso?		
Foi necessário fazer ajustes e alterações aquando da aplicação do isolamento térmico?		Sim	
		Não	
Se sim, de que tipo?			
Foi necessário reparar algumas anomalias existentes na fachada, antes da aplicação do isolamento térmico?		Sim	
		Não	

Tabela 4.1.4: Caracterização do isolamento térmico aplicado nas fachadas existentes

Caracterização do isolamento térmico aplicado			
Tipo de isolante:	Poliestireno expandido moldado (EPS)		
	Aglomerado de cortiça expandida (ICB)		
	Lã mineral (MW)		
	Espuma rígida de poli-isocianurato (PIR)		
	Espuma rígida de poliuretano (PUR)		
	Poliestireno expandido extrudido (XPS)		
	Argamassa com desempenho térmico melhorado		
	Outro:		
Espessura e massa volúmica do isolante:			
Tipo de fixação ou aplicação:	Colagem		Injeção
	Fixação mecânica		Nenhuma das anteriores:
	Projeção		
Foi aplicada alguma camada impermeabilizante ou hidrofugante?		Sim	
		Não	
Em que zona/camada?			
Notas adicionais sobre a solução de reabilitação térmica das fachadas:			

Tabela 4.1.5: Informação relativa ao cumprimento da Regulamentação térmica

Regulamentação térmica			
Foi seguida alguma regulamentação térmica?		Sim	
		Não	
Se sim, foi possível cumprir os requisitos exigidos para este tipo de edifício e intervenção?		Sim	
		Não	
Se não, quais foram as condicionantes?			
Notas adicionais sobre o projeto de verificação do comportamento térmico:			

Tabela 4.1.6: Informação relativa às condições após aplicação da solução de isolamento térmico na fachada

Condições após aplicação da solução de isolamento térmico na fachada			
Surgiu alguma anomalia após a aplicação do isolamento térmico?	Sim		Qual/ Quais?
	Não		
A solução de reabilitação térmica das fachadas foi suficiente para minimizar as zonas de ponte térmica plana ? Se não, especifique a solução utilizada nessas zonas:			
A solução de reabilitação térmica das fachadas foi suficiente para minimizar as zonas de ponte térmica linear ? Se não, especifique a solução utilizada nessas zonas:			

Tabela 4.1.7: Inquérito de opinião sobre as vantagens da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas

Quais as vantagens da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas?	
Vantagens na aplicação da solução:	
Aplicação rápida e simples	
Execução não exposta às ações climatéricas	
Facilidade de aplicação em fachadas com geometria irregular	
Reduzida perturbação da comodidade dos ocupantes do edifício	
Vantagens na durabilidade da solução:	
Elevada durabilidade	
Elevada resistência a ações mecânicas (choques)	
Fácil manutenção	
Vantagens quanto ao comportamento em serviço da solução:	
Solução mais eficiente do ponto de vista energético	
Permite a correção de pontes térmicas	
Previne o aparecimento de condensações e consequentes anomalias	
Permite tirar partido da forte inércia térmica da fachada	
Protege a fachada dos agentes atmosféricos	
Adequada permeabilidade ao vapor de água	
Elevado desempenho face ao fogo	
Vantagens relativas à aparência exterior e/ou interior da fachada:	
Permite uma renovação estética do paramento exterior da fachada	
Mantém intacto o aspeto dos paramentos interior e exterior	
Preservação do aspeto original das fachadas em edifícios com valor patrimonial e/ou arquitetónico	
Grande diversidade na escolha do revestimento ou acabamento	
Outras vantagens da solução:	
Mantém inalterável a área útil interior	
Solução económica	
Outras vantagens da solução adotada:	

Tabela 4.1.8: Inquérito de opinião sobre as condicionantes da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas

Quais as condicionantes relacionadas com a solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas?	
Desvantagens na aplicação da solução:	
Aplicação complexa, que requer mão-de-obra especializada	
Execução da solução exposta às condições climatéricas	
Dificuldade de execução em saliências (varandas e peitoris), cunhais e ornamentos	
Dificuldades de aplicação relacionadas com o estado de conservação do suporte (resistência e estabilidade)	
Dificuldade de execução em fachadas com geometria irregular	
A sua execução implica constrangimentos para os utilizadores do edifício	
Desvantagens quanto à durabilidade da solução:	
Durabilidade questionável, verificando-se em muitos casos o aparecimento de anomalias, como manchas, fendilhação ou destacamento do seu revestimento	
Exige manutenção periódica	
É vulnerável a solicitações mecânicas (choques)	
Desvantagens quanto ao comportamento em serviço da solução:	
Solução pouco eficiente termicamente, comparativamente com outras soluções	
Dificuldade na garantia da eficácia da solução	
Não elimina as pontes térmicas e o risco de condensações na fachada	
Reduz ou elimina a inércia térmica existente na fachada	
Não elimina o risco de anomalias na fachada, causadas por variações higrotérmicas	
Não protege a fachada das ações exteriores provocadas pelos agentes atmosféricos	
É pouco impermeável à penetração de água da chuva	
É impermeável ao vapor de água	
Propicia a propagação do fogo entre pisos, em caso de incêndio	
Outras desvantagens da solução:	
Não permite a preservação do aspeto original das fachadas em edifícios com valor patrimonial e/ou arquitetónico	
Elevado custo de investimento	
Diminui a área útil interior do edifício	
Outras condicionantes da solução adotada:	

Tabela 4.1.9: Recolha de elementos para complemento das respostas obtidas na presente ficha de inspeção

Quais os elementos que é possível disponibilizar sobre a solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas?	
Fotografias:	
Informação técnica da solução aplicada/a executar:	

Anexo 4.II: Ficha de inspeção tipo de casos de estudo sem isolamento térmico nas fachadas existentes

Ficha de inspeção nº	
Técnico Responsável	
Data	

Tabela 4.II.1: Tabela 4.I 10: Caracterização do edifício

Caracterização do edifício				
Localização:				
Data de conclusão da reabilitação (real ou prevista):				
Tipo de utilização:	Habitação		Tipo de revestimento exterior antes da intervenção:	
	Comércio			
	Serviços			
	Outro:			
Época de construção:	1755-1880		Tipo de acabamento exterior antes da intervenção:	
	1880-1930			
	1930-1960			
	Outro:			
Tipologia estrutural do edifício:	Pré-Pombalina		Tipologia das fachadas:	
	Pombalina		Função:	Parede de vedação
	Gaioleira			Parede estrutural
	Mista		Material constituinte:	Parede de taipa ou adobe
	Betão Armado			Alvenaria de pedra
		Alvenaria de tijolo		
Estado de conservação em que se encontravam as fachadas antes da intervenção:	Bom estado		No caso de ser uma solução de parede mista. Qual o conjunto de materiais que a constituem?	Parede mista (tem mais do que um material)
	Razoável estado			
	Mau estado:			
	Revestimento degradado			
	Instabilidade do suporte			
Breve descrição do estado de conservação das fachadas:	Paredes duplas			
	• Espessura de cada pano:			
	Paredes simples			
	• Espessura da parede:			

Tabela 4.II.2: Informação relativa às intervenções de reabilitação nas fachadas existentes

Reabilitação das fachadas		
Quais as intervenções de reabilitação nas fachadas?		
Reabilitação térmica das fachadas		
Foi adotada alguma solução de isolamento térmico nas fachadas existentes?	Sim	
	Não	

Tabela 4.II.3: Informação relativa ao cumprimento da Regulamentação térmica

Regulamentação térmica		
Foi seguida alguma regulamentação térmica?	Sim	
	Não	
Se sim, foi possível cumprir os requisitos exigidos para este tipo de edifício e intervenção?	Sim	
	Não	
Se não, quais foram as condicionantes?		
Notas adicionais sobre o projeto de verificação do comportamento térmico:		

Tabela 4.II.4: Informação relativa às restrições que impediram a aplicação de isolamento térmico nas fachadas existentes

Quais as restrições que impediram a aplicação de isolamento térmico nas fachadas?		
Inviabilidade técnica		
A solução pré-existente das fachadas possui um desempenho térmico razoável		
Inviabilidade arquitetónica e/ou patrimonial		
Inviabilidade económica		
A correção térmica do edifício foi feita através de outras medidas		
Notas adicionais sobre as razões para não aplicar isolamento térmico nas fachadas:		

Tabela 4.II.5: Informação relativa a possíveis correções térmicas que tenham existido na envolvente do edifício

Caso se tenha realizado alguma melhoria térmica ao edifício, qual a medida adotada?	
Isolamento térmico aplicado na cobertura	
Substituição da caixilharia dos vãos envidraçados	
Sistema mecânico de climatização	
Outro:	
Notas adicionais sobre a solução de reabilitação térmica do edifício:	

Tabela 4.II.6: Recolha de elementos para complemento das respostas obtidas na presente ficha de inspeção

Quais os elementos que é possível disponibilizar sobre a solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas?	
Fotografias:	
Informação técnica da solução aplicada/a executar:	

Anexo 4.III: Preenchimento da ficha de inspeção tipo do caso de estudo C com isolamento térmico nas fachadas existentes

Ficha de inspeção nº	3
Técnico Responsável	
Data	24 de Junho de 2016

Tabela 4.IV.1 Caracterização do edifício

Caracterização do edifício						
Localização: Rua da Moeda, Coimbra						
Data de conclusão da reabilitação (real ou prevista): Outubro de 2016						
Tipo de utilização:	Habitação	x	Tipo de revestimento exterior antes da intervenção:	Cal aérea	x	
	Comércio			Cal hidráulica		
	Serviços			Cimento		
	Outro:			Outro:		
Época de construção:	1755-1880		Tipo de acabamento exterior antes da intervenção:	Caiação	x	
	1880-1930	x		Guarnecimento ou barramento		
	1930-1960			Azulejo		
	Outro:			Outro:		
Tipologia estrutural do edifício:	Pré-Pombalina		Tipologia das fachadas:			
	Pombalina			Função:	Parede de vedação	
	Gaioleira	x			Parede estrutural	x
	Mista			Material constituinte:	Parede de taipa ou adobe	
	Betão Armado				Alvenaria de pedra	x
		Alvenaria de tijolo				
Estado de conservação em que se encontravam as fachadas antes da intervenção:	Bom estado		No caso de ser uma solução de parede mista. Qual o conjunto de materiais que a constituem?	Parede mista (tem mais do que um material)		
	Razoável estado					
	Mau estado:					
	Revestimento degradado	x				
	Instabilidade do suporte					
Breve descrição do estado de conservação das fachadas:	Fachadas com argamassas degradadas e caixilharia apodrecida.		Paredes duplas			
			• Espessura de cada pano:			
			Paredes simples			x
			• Espessura da parede:		≈ 60 cm	

Tabela 4.IV.2: Identificação da solução de reabilitação térmica nas fachadas existentes

Identificação da solução de reabilitação térmica nas fachadas		
Qual a solução de isolamento térmico adotada?	1. Sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)	x
	2. Fachada Ventilada	
	3. Injeção de produtos a granel ou espumas na caixa-de-ar	
	4. Sistema compósito de isolamento térmico pelo interior (ITICS)	
	5. Isolamento pelo interior com painéis isolantes pré-fabricados com camada de revestimento em gesso laminado	
	6. Isolamento pelo interior com painéis isolantes pré-fabricados com camada de revestimento em madeira	
	7. Contra-fachada de alvenaria de tijolo	
	8. Contra-fachada de gesso laminado	
	9. Argamassa térmica para revestimento exterior	
	10. Argamassa térmica para revestimento interior	
	11. Outra:	

Tabela 4.IV.3: Alterações e condicionantes do projeto de verificação do comportamento térmico

Alterações e condicionantes do projeto de verificação do comportamento térmico			
A solução adotada coincide com a solução inicialmente projetada?		Sim	x
		Não	
Se não:	Qual a solução de projeto? (1 a 11)		
	Porque se recorreu a uma solução de recurso?		
Foi necessário fazer ajustes e alterações aquando da aplicação do isolamento térmico?		Sim	
		Não	x
Se sim, de que tipo?			
Foi necessário reparar algumas anomalias existentes na fachada, antes da aplicação do isolamento térmico?		Sim	x
		Não	

Tabela 4.IV.4: Caracterização do isolamento térmico aplicado nas fachadas existentes

Caracterização do isolamento térmico aplicado			
Tipo de isolante:	Poliestireno expandido moldado (EPS)		
	Aglomerado de cortiça expandida (ICB)		
	Lã mineral (MW)		
	Espuma rígida de poli-isocianurato (PIR)		
	Espuma rígida de poliuretano (PUR)		
	Poliestireno expandido extrudido (XPS)		x
	Argamassa com desempenho térmico melhorado		
	Outro:		
Espessura e massa volúmica do isolante:		6 cm de espessura	
Tipo de fixação ou aplicação:	Colagem	x	Injeção
	Fixação mecânica		Nenhuma das anteriores:
	Projeção		
Foi aplicada alguma camada impermeabilizante ou hidrofugante?	Sim		
	Não		x
Em que zona/camada?			
Notas adicionais sobre a solução de reabilitação térmica das fachadas:			

Tabela 4.IV.5: Informação relativa ao cumprimento da Regulamentação térmica

Regulamentação térmica			
Foi seguida alguma regulamentação térmica?	Sim		
	Não		x
Se sim, foi possível cumprir os requisitos exigidos para este tipo de edifício e intervenção?	Sim		
	Não		
Se não, quais foram as condicionantes?	As entidades licenciadoras, tais como a SRU e a DRCC.		
Notas adicionais sobre o projeto de verificação do comportamento térmico:	Foi pedida a isenção porque o imóvel está em zona de proteção do património da UNESCO.		

Tabela 4.IV.6: Informação relativa às condições após aplicação da solução de isolamento térmico na fachada

Condições após aplicação da solução de isolamento térmico na fachada			
Surgiu alguma anomalia após a aplicação do isolamento térmico?	Sim		Qual/ Quais?
	Não	x	
A solução de reabilitação térmica das fachadas foi suficiente para minimizar as zonas de ponte térmica plana ? Se não, especifique a solução utilizada nessas zonas:			
A solução de reabilitação térmica das fachadas foi suficiente para minimizar as zonas de ponte térmica linear ? Se não, especifique a solução utilizada nessas zonas:			


Tabela 4.IV.7: Inquérito de opinião sobre as vantagens da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas

Quais as vantagens da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas?	
Vantagens na aplicação da solução:	
Aplicação rápida e simples	X
Execução não exposta às ações climatéricas	
Facilidade de aplicação em fachadas com geometria irregular	
Reduzida perturbação da comodidade dos ocupantes do edifício	X
Vantagens na durabilidade da solução:	
Elevada durabilidade	X
Elevada resistência a ações mecânicas (choques)	
Fácil manutenção	X
Vantagens quanto ao comportamento em serviço da solução:	
Solução mais eficiente do ponto de vista energético	X
Permite a correção de pontes térmicas	
Previne o aparecimento de condensações e conseqüentes anomalias	
Permite tirar partido da forte inércia térmica da fachada	
Protege a fachada dos agentes atmosféricos	X
Adequada permeabilidade ao vapor de água	
Elevado desempenho face ao fogo	
Vantagens relativas à aparência exterior e/ou interior da fachada:	
Permite uma renovação estética do paramento exterior da fachada	
Mantém intacto o aspeto dos paramentos interior e exterior	
Preservação do aspeto original das fachadas em edifícios com valor patrimonial e/ou arquitetónico	
Grande diversidade na escolha do revestimento ou acabamento	
Outras vantagens da solução:	
Mantém inalterável a área útil interior	
Solução económica	X
Outras vantagens da solução adotada:	

Tabela 4.IV.8: Inquérito de opinião sobre as condicionantes da solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas

Quais as condicionantes relacionadas com a solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas?	
Desvantagens na aplicação da solução:	
Aplicação complexa, que requer mão-de-obra especializada	
Execução da solução exposta às condições climatéricas	x
Dificuldade de execução em saliências (varandas e peitoris), cunhais e ornamentos	x
Dificuldades de aplicação relacionadas com o estado de conservação do suporte (resistência e estabilidade)	
Dificuldade de execução em fachadas com geometria irregular	
A sua execução implica constrangimentos para os utilizadores do edifício	
Desvantagens quanto à durabilidade da solução:	
Durabilidade questionável, verificando-se em muitos casos o aparecimento de anomalias, como manchas, fendilhação ou destacamento do seu revestimento	
Exige manutenção periódica	
É vulnerável a solicitações mecânicas (choques)	x
Desvantagens quanto ao comportamento em serviço da solução:	
Solução pouco eficiente termicamente, comparativamente com outras soluções	
Dificuldade na garantia da eficácia da solução	
Não elimina as pontes térmicas e o risco de condensações na fachada	
Reduz ou elimina a inércia térmica existente na fachada	
Não elimina o risco de anomalias na fachada, causadas por variações higrotérmicas	
Não protege a fachada das ações exteriores provocadas pelos agentes atmosféricos	
É pouco impermeável à penetração de água da chuva	
É impermeável ao vapor de água	
Propicia a propagação do fogo entre pisos, em caso de incêndio	
Outras desvantagens da solução:	
Não permite a preservação do aspeto original das fachadas em edifícios com valor patrimonial e/ou arquitetónico	x
Elevado custo de investimento	
Diminui a área útil interior do edifício	
Outras condicionantes da solução adotada:	

Tabela 4.IV.9: Recolha de elementos para complemento das respostas obtidas na presente ficha de inspeção

Quais os elementos que é possível disponibilizar sobre a solução adotada para a reabilitação térmica de fachadas?	
<p>Fotografias:</p>	
<p>Informação técnica da solução aplicada/a executar:</p>	<p>Informação técnica da solução adotada e enquadramento geral da obra de reabilitação divulgada em entrevista.</p>

Anexo 4.IV: Síntese das vantagens e desvantagens das soluções de isolamento térmico de cada caso de estudo

Tabela 4.III.1: Síntese dos dados recolhidos nas fichas de inspeção de cada caso de estudo (A a E) com isolamento térmico

Solução adotada	Vantagens	Desvantagens		
Casos A e B: Isolamento térmico pelo interior com placas isolantes e gesso laminado fixadas mecanicamente, com espaço de ar não ventilado entre o sistema e o suporte	Aplicação rápida e simples	✓	É vulnerável a solicitações mecânicas (choques)	✗
	Execução não exposta às ações climatéricas	✓		
	Facilidade de aplicação em fachadas com geometria irregular	✗	Reduz ou elimina a inércia térmica existente na fachada (caso B)	✓
	Reduzida perturbação da comodidade dos ocupantes do edifício (caso A)	✗	Diminui a área útil interior do edifício	✓
	Elevada durabilidade	✗	Não protege a fachada das ações exteriores provocadas pelos agentes atmosféricos (caso A)	✓
	Fácil manutenção (caso A)	✗		
	Permite a correção de pontes térmicas	✗		
	Previne o aparecimento de condensações e consequentes anomalias	✗		
	Preservação do aspeto original das fachadas em edifícios com valor patrimonial e/ou arquitetónico (caso A)	✓		
Solução económica (caso B)	✓			
Casos C e D: Sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)	Aplicação rápida e simples (caso C)*	✓	Aplicação complexa, que requer mão-de-obra especializada (caso D)*	✗
	Reduzida perturbação da comodidade dos ocupantes do edifício (caso C)	✓		
	Elevada durabilidade	○	Execução da solução exposta às condições climatéricas (caso C)	✓
	Fácil manutenção (caso C)	✗		
	Solução mais eficiente do ponto de vista energético	✓	Dificuldade de execução em saliências (varandas e peitoris), cunhais e ornamentos (caso C)	✓
	Permite a correção de pontes térmicas (caso D)	✓		
	Previne o aparecimento de condensações e consequentes anomalias (caso D)	✓		
	Protege a fachada dos agentes atmosféricos	✓	Exige manutenção periódica (caso D)	○
	Permite tirar partido da forte inércia térmica da fachada (caso D)	✓	É vulnerável a solicitações mecânicas (choques) (caso C)	✓
	Adequada permeabilidade ao vapor de água (caso D)	○	Não permite a preservação do aspeto original das fachadas em edifícios com valor patrimonial e/ou arquitetónico	✓
	Permite uma renovação estética do paramento exterior da fachada (caso D)	✓		
Solução económica (caso C)	✗	Elevado custo de investimento (caso D)	○	
Caso E: Injeção de isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas	Aplicação rápida e simples	✗	Aplicação complexa, que requer mão-de-obra especializada	✓
	Elevada durabilidade	✗		
	Solução mais eficiente do ponto de vista energético	✗	Não protege a fachada das ações exteriores provocadas pelos agentes atmosféricos	✓
	Previne o aparecimento de condensações e consequentes anomalias	✗		
	Permite tirar partido da forte inércia térmica da fachada	✓		
	Mantém intacto o aspeto dos paramentos interior e exterior	✓		
	Preservação do aspeto original das fachadas em edifícios com valor patrimonial e/ou arquitetónico	✓		
	Mantém inalterável a área útil interior	✓		

Legenda:

✓ Coincide com a informação bibliográfica (descrita no capítulo 3)

✗ Não coincide com a informação bibliográfica (descrita no capítulo 3)

○ Fator apontado devido ao material isolante adotado (neste caso, por se ter recorrido ao ICB)

* Dependendo das características do paramento exterior sobre o qual se aplica o isolamento térmico