



Júlio Henrique Marques Pessoa

Licenciado

**Análise da influência das pontes
térmicas nos edifícios residenciais**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia civil

Orientador: [Daniel Aelenei, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa]

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Gouveia Aparício Bento Leal
Arguente: Professora Doutora Maria Paulina Santos Forte Faria Rodrigues
Vogal: Professor Doutor Daniel Aelenei



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2011

‘Copyright’ Júlio Henrique Marques Pessoa, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Doutor Daniel Aelenei, por ter colaborado na escolha e orientação deste trabalho, que representa um tema importante na engenharia civil. Agradeço o seu espírito crítico, a partilha dos seus conhecimentos científicos e as valiosas contribuições que me proporcionou e que determinaram de forma decisiva para a realização da dissertação.

Aos meus pais e irmão pelo seu apoio, amizade, conforto e compreensão. Todos estes aspectos formam essenciais para transmitir confiança de forma a realizar o trabalho da forma mais tranquila possível.

Aos meus colegas e amigos pelo apoio e pela sua contribuição directa ou indirectamente que tiveram neste trabalho. Em especial aos meus colegas e amigos Carlos Aniceto e Ricardo Piló. O Carlos deu a oportunidade de me envolver em mais visitas a obras pelos seus relacionamentos na área. O Ricardo deu-me um auxílio enorme na utilização do programa BISCO, essencial na análise numérica neste trabalho realizada.

Resumo

A existência de pontes térmicas na envolvente dos edifícios está na origem de diversas anomalias que podem frequentemente causar problemas de salubridade, conforto térmico e patologias. Além destes efeitos negativos, a majoração das perdas de calor associadas à existência de pontes térmicas aumentam os gastos energéticos dos edifícios.

No âmbito deste trabalho são identificadas e estudadas algumas das soluções construtivas mais correntemente utilizadas em Portugal que visam a redução de tais efeitos. Numa primeira abordagem foram realizadas visitas a obras em fase revestimentos. Depois de identificadas as soluções construtivas utilizadas em paredes e coberturas, foi feita uma análise qualitativa das mesmas à luz das exigências dispostas na legislação térmica em vigor e de recomendações existentes em documentos científicos. Tendo em conta as diferenças constatadas entre as recomendações que acompanham a regulamentação e as situações constatadas em obra, com o objectivo de estudar o impacte causado por estas diferenças, foi utilizada uma ferramenta de simulação para a análise das pontes térmicas.

Por fim, é realizada uma avaliação energética a um edifício, em que as trocas de calor através da envolvente são contabilizadas pelo método numérico. Esta avaliação permitiu constatar que não existem diferenças significativas, ao nível das necessidades energéticas globais, entre a situação em que se apresentam os casos de pontes térmicas observados em obra e a situação em que se adoptam soluções das mesmas pontes térmicas com as devidas correcções.

Palavras chave: Pontes térmicas, perdas térmicas, soluções construtivas e legislação térmica

Abstract

The existence of thermal bridges in building envelope is the cause of several anomalies that can cause problems that affects health and thermal comfort. Besides these negative effects, the increase of thermal heat losses associated with the existence of thermal bridges increases the energy demand of buildings.

In this present work are identified and studied the constructive solutions currently used in Portugal aimed at reducing such effects. As initial assessment consisted in the inspection of building sites with finishing works in the phase of execution. After identifying the constructive solutions used in walls and roofs, a qualitative analysis was made, based on requirements according to the thermal legislation. Given the differences found between the recommendations that follow the legislation and the situations observed during the visits, was used a simulation tool for the analysis of these differences on thermal bridges.

Finally, an energy analysis is made to a building, in which heat exchanges at the envelope are accounted by the numerical method. This evaluation revealed that there aren't any significant differences between the cases of thermal bridges observed at the building sites and the same cases with the appropriate corrections.

Key words: Thermal bridges, heat loss, constructive solutions and thermal legislation

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação e enquadramento do tema	1
1.2	Objectivos e metodologia	3
1.3	Organização.....	4
2	Influência das pontes térmicas na transferência de calor nos edifícios	5
2.1	Fenómenos de transmissão de calor em edifícios	5
2.2	Pontes térmicas: conceito e causas	8
2.3	Métodos de cálculo das perdas de calor pelas pontes térmicas	11
2.3.1	Método de contabilização das perdas de calor pelas pontes térmicas da norma EN ISO 14683:2007.....	11
2.3.2	Análise da metodologia de cálculo simplificada da Regulamentação Térmica Portuguesa em vigor.....	16
2.3.3	Determinação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear pelo programa BISCO.....	20
2.4	Método de avaliação do risco de ocorrência de condensações.....	24
3	Análise das soluções construtivas usadas correntemente visando as pontes térmicas	27
3.1	Introdução: evolução das fachadas em Portugal	27
3.2	Evolução da abordagem que é feita às pontes térmicas tendo em conta os aspectos construtivos e as normas em vigor	31
3.3	Análise das soluções construtivas usadas correntemente para a correcção das pontes térmicas.....	35
3.3.1	Análise térmica comparativa das pontes térmicas através da utilização do programa BISCO.....	43
4	Análise da influência das pontes térmicas nas necessidades energéticas e nas perdas térmicas dos edifícios	55
4.1	Caso de estudo.....	55
4.1.1	Dados climáticos.....	57
4.1.2	Caracterização térmica da envolvente do edifício.....	57
4.1.3	Análise dos resultados.....	71
5.1	Conclusões	75
5.2	Desenvolvimentos futuros	75
	Bibliografia.....	77
	Anexos.....	81

Anexo 1: Relatórios de obra.....	83
Anexo 2: Caso de estudo.....	125
Anexos 3: Tabelas de cálculo do RCCTE: caso de estudo com correcção dos elementos estruturais, existindo continuidade do isolamento térmico.....	131
Anexo 4: Tabelas de cálculo do RCCTE: caso de estudo com correcção dos elementos estruturais, não existindo continuidade do isolamento térmico.....	137

Índice de figuras

Figura 1.1 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal	1
Figura 1.2 - Influência do sector residencial no consumo energético global em Portugal	2
Figura 1.3 - Consumo de energia por utilização final no sector de edifícios residenciais em Portugal em 2010.....	2
Figura 2.1 - Fenómenos de transmissão de calor em edifícios.....	5
Figura 2.2 - Transferência de calor por condução num elemento sólido, sendo $\theta_1 > \theta_2$	6
Figura 2.3 - Tipos de pontes térmicas: a) corte vertical de uma ponte térmica devido à ligação da fachada com a laje; b) e c) corte horizontal de uma ponte térmica devido à ligação entre duas paredes verticais com transição entre diferentes materiais	9
Figura 2.4 - Pontes térmicas tridimensionais resultantes da intersecção de duas ou mais pontes térmicas bidimensionais	10
Figura 2.5 - Ponte térmica pontual resultante da união de três elementos planos	10
Figura 2.6 - Exemplo de utilização de dimensões interiores e exteriores	13
Figura 2.7 - Desenho esquemático de um edifício mostrando o tipo e a localização de pontes térmicas, segundo a tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007	15
Figura 2.8-Ponte térmica plana - Pilar intermédio.....	20
Figura 2.9-Ponte térmica plana - Talão de viga.....	20
Figura 2.10 - Janela de abertura do programa Bisco.....	21
Figura 2.11 - Ecrã do programa com o pormenor construtivo desenhado, a janela com as dimensões das camadas de cada material e a janela com os materiais utilizados	22
Figura 2.12 - Esquema com a distribuição de calor no pormenor construtivo	23
Figura 2.13 - Janela com os valores de fluxo de calor que atravessa o pormenor construtivo	24
Figura 2.14 - Janela com os valores do coeficiente de transmissão térmica linear	24
Figura 3.1 - Evolução das paredes exteriores em Portugal	28
Figura 3.2 - Pormenores construtivos de uma parede dupla e uma parede de pano duplo, respectivamente.....	29
Figura 3.3 - Solução construtiva "ETICS".....	30
Figura 3.4 - Tipos de correcção térmica: Correcção simples pelo exterior; correcção simples pelo exterior no topo da laje e correcção dupla pelo interior no talão de viga; correcção simples e dupla pelo interior no talão de viga.....	32
Figura 3.5 - Vista sobre uma correcção térmica simples de um elemento estrutural pelo interior	32
Figura 3.6 - Exemplos esquemáticos de soluções de pano exterior, corrigindo em conjunto com o isolante térmico, as pontes térmicas planas	34
Figura 3.7 - Exemplos esquemáticos de soluções de pano interior, corrigindo em conjunto com o isolante térmico, as pontes térmicas planas	34
Figura 3.8 - Caso a) identificado no relatório de obra 1	36
Figura 3.9 - Caso a) identificado no relatório de obra 11	37
Figura 3.10 - Caso b) identificado no relatório de obra 8	38
Figura 3.11 - Caso b) identificado no relatório de obra 4	39
Figura 3.12 - Caso c) identificado no relatório de obra 1	40
Figura 3.13 - Caso d) identificado no relatório de obra 10	41
Figura 3.14 - Distribuição do fluxo de calor na zona de ligação de parede exterior com laje de esteira de cobertura.....	44

Figura 3.15 - Distribuição da temperatura na zona de ligação de parede exterior com cobertura	45
Figura 3.16 - Distribuição do fluxo de calor na zona de ligação de parede exterior com cobertura plana	45
Figura 3.17 - Distribuição da temperatura na zona de ligação de parede exterior com cobertura plana	46
Figura 3.18 - Distribuição do fluxo de calor e distribuição da temperatura na zona de ligação da fachada com piso de laje intermédia.....	47
Figura 3.19 - Distribuição da temperatura na zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio	47
Figura 3.20 - Distribuição do fluxo de calor na zona de ligação da fachada com piso de laje intermédia	48
Figura 3.21 - Distribuição da temperatura na zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio	49
Figura 3.22 - Distribuição do fluxo de calor na zona de transição entre fachada e pilar	50
Figura 3.23 - Distribuição da temperatura na zona de transição entre fachada e pilar	50
Figura 3.24 - Distribuição do fluxo de calor zona de ligação entre duas paredes verticais	52
Figura 3.25 - Distribuição da temperatura na zona de ligação entre duas paredes verticais.....	52
Figura 4.1 - Alçado principal do edifício situado em Almada	56
Figura 4.2 - Planta do 3º piso, sobre o qual incidiu a análise higrotérmica e energética	56
Figura 4.3 - Pormenor construtivo da parede exterior	58
Figura 4.4 - Pormenor construtivo da parede em contacto com edifício adjacente	59
Figura 4.5 - Pormenor construtivo da parede interior em contacto com caixa de elevador.....	59
Figura 4.6 - Pormenor construtivo da parede interior em contacto com zona comum	60
Figura 4.7 - Pormenor construtivo da cobertura	60
Figura 4.8 - Pormenor construtivo da cobertura	61
Figura 4.9 - Pormenor construtivo do pilar na parede exterior revestido com XPS.....	62
Figura 4.10 - Pormenor construtivo do pilar na parede em contacto com edifício adjacente revestido com XPS	63
Figura 4.11 - Pormenor construtivo do pilar na parede em contacto com zona comum revestido com lâ mineral	63
Figura 4.12 - Pormenor construtivo do pilar na parede exterior revestido com XPS.....	66
Figura 4.13 - Pormenor construtivo do pilar na parede em contacto com edifício adjacente revestido com XPS	67
Figura 4.14 - Pormenor construtivo do pilar na parede em contacto com zona comum revestido com lâ mineral	67

Índice de quadros

Quadro 2.1 - Parâmetros usados para calcular os valores de ψ inseridos na tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007	15
Quadro 2.2 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos	19
Quadro 2.3 - valores mínimos do factor de temperatura superficial para prevenir o fenómeno de condensação	25
Quadro 3.1 - Resumo da abordagem construtiva feita às pontes térmicas, tendo em conta os casos identificados nas visitas às obras	42
Quadro 3.2 - Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com a laje de esteira de cobertura inclinada	45
Quadro 3.3 Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com cobertura plana	46
Quadro 3.4 - Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio	47
Quadro 3.5 - Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio	49
Quadro 3.6 - Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio	50
Quadro 3.7 - Valor de ψ para a zona de ligação entre duas paredes verticais	52
Quadro 3.8 - Valores de coeficiente de transmissão térmica linear e de factor de temperatura superficial para os diferentes casos de ponte térmica	53
Quadro 4.1 - Resistências térmicas superficiais segundo o RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006)	57
Quadro 4.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior	58
Quadro 4.3- Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com edifício adjacente	59
Quadro 4.4 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com caixa de elevador	59
Quadro 4.5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior em contacto com zona comum	60
Quadro 4.6 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura em envolvente exterior	60
Quadro 4.7 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura em envolvente interior	61
Quadro 4.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pilar inserido na parede exterior	62
Quadro 4.9 - Coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore	62
Quadro 4.10 - Coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica plana da envolvente em contacto com edifício adjacente	63
Quadro 4.11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica plana inserida na envolvente interior	64
Quadro 4.12 - Pontes térmicas lineares e os respectivos coeficientes de transmissão térmica linear ψ	65
Quadro 4.13 - Valores de τ associados aos espaços não - aquecidos	66
Quadro 4.14 - Pontes térmicas lineares e os respectivos coeficientes de transmissão térmica linear, obtidos do programa BISCO	68
Quadro 4.15 -Contabilização das perdas térmicas totais	70
Quadro 4.16 - Perdas térmicas através da envolvente opaca horizontal	70
Quadro 4.17 -Perdas térmicas através da envolvente opaca vertical	70
Quadro 4.18 - Perdas térmicas através das pontes térmicas	71
Quadro 4.19 - Cálculo das Necessidades de Aquecimento Anuais	71
Quadro 4.20 - Perdas térmicas totais e necessidades de energia útil de aquecimento	72

Quadro 4.21 - Perdas térmicas pelas pontes térmicas por m ² .ano.....	72
Quadro 4.22 - Influência das pontes térmicas nas perdas térmicas totais	72
Quadro 4.23 - Influência das pontes térmicas nas NAQ.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior

ISO - International Organization of Standardization

XPS - Isolamento térmico em espuma rígida poliestireno extrudido

EPS - Isolamento térmico de poliestireno expandido

ETICS - Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior

U - Coeficiente de transmissão térmica ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$)

λ - Condutibilidade térmica ($\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$)

R – Resistência térmica ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)

h_c - Condutibilidade térmica superficial ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$)

ρ - Massa específica do ar (kg/m^3)

R_{si} - Resistência térmica superficial interior ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)

R_{se} - Resistência térmica superficial exterior ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$)

c_p - Calor específico do ar ($\text{kJ}/^\circ\text{C}$)

tep - Tonelada equivalente de petróleo

1 Introdução

1.1 Motivação e enquadramento do tema

O elevado consumo energético conduz a um esgotamento acelerado das reservas de combustíveis fósseis, estando a queima destes associada às emissões de gases com efeito de estufa, que contribuem para o aquecimento global do planeta. O consumo de energia primária tem vindo a aumentar desde o início da década de 90, com uma inversão desde 2005 até aos dias de hoje (figura 1.1). No entanto, como se pode observar na figura 1.2, o sector residencial não tem contribuído para esta evolução. Como se pode verificar na figura 1, a percentagem de influência do sector residencial tem vindo a aumentar gradualmente desde meados de 2001 até aos dias de hoje.

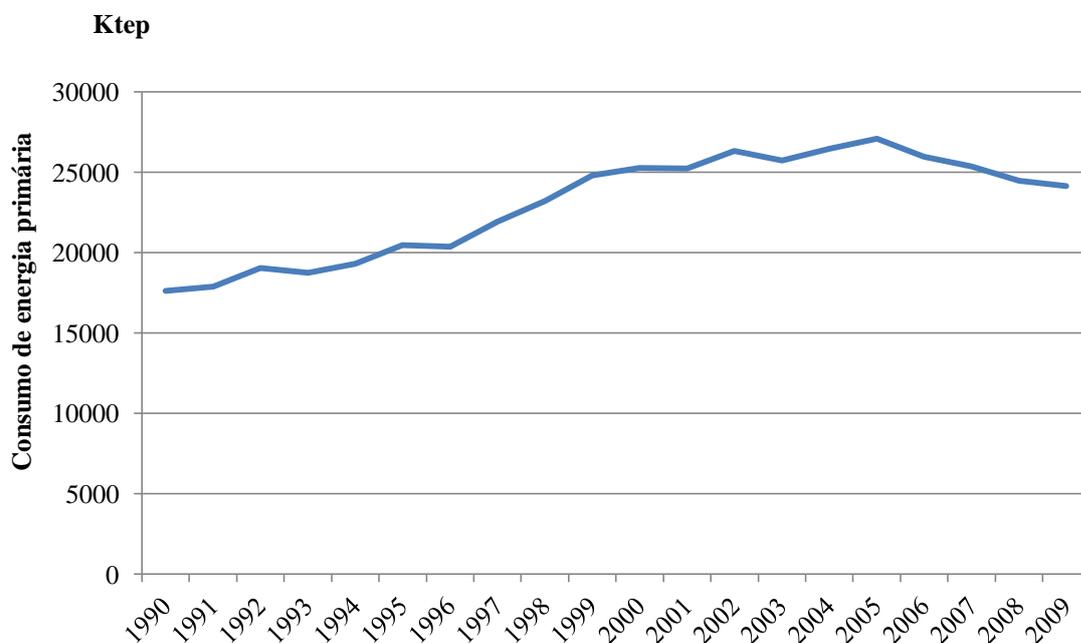


Figura 1.1 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal (Direcção de geral de energia e de geologia, 2011)

No que concerne ao sector residencial, a influência do seu consumo energético nos gastos energéticos globais, de acordo com os dados a Direcção Geral de Energia e Geologia, apresenta uma evolução que apresenta uma trajectória decrescente de 1989 a 2005, ano a partir do qual se verifica uma inversão desta tendência até 2009 (figura 1.2). O consumo energético associado ao sector residencial corresponde a cerca de 17% do consumo energético global. Como tal, este é um sector com grande peso a nível energético, pelo que a sua consideração é fundamental em qualquer estratégia de poupança e racionalização dos consumos.

Pela figura 1.3, verifica-se que nos edifícios residenciais o aquecimento e o arrefecimento para fins de climatização dos edifícios representam cerca de 9 % do seu consumo energético total. Estes consumos de energia têm sido reduzidos ao longo dos anos: a climatização tem sido melhor gerida com a aplicação de normas e princípios que promovem a utilização racional de energia.

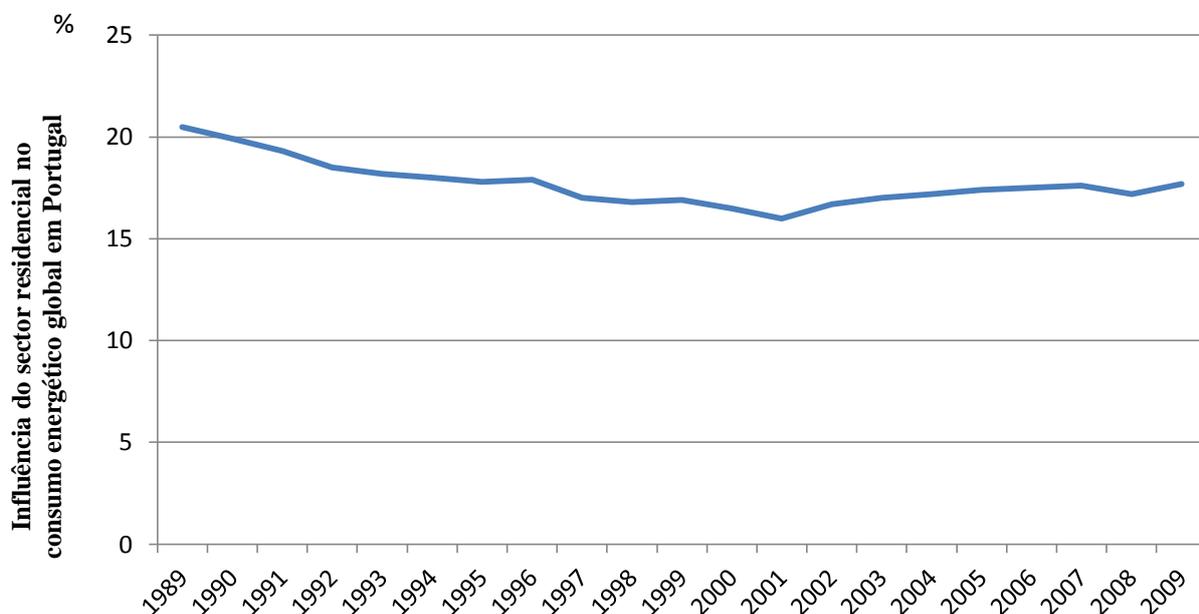


Figura 1.2 - Influência do sector residencial no consumo energético global em Portugal (Energia e Geologia, 2011)

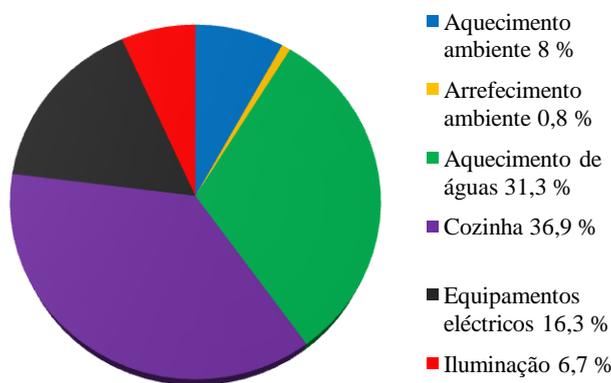


Figura 1.3 - Consumo de energia por utilização final no sector de edifícios residenciais em Portugal em 2010 (Energia e Geologia, 2011)

De acordo com o director executivo do programa das Nações Unidas para o ambiente, Achim Steiner, "Uma política mais activa destinada a promover a eficiência energética permitiria obter uma redução de mais de 2 mil milhões de toneladas, ou seja, quase o triplo da quantidade prevista no

Protocolo de Quioto". Assim se pode dizer, que o sector dos edifícios apresenta um grande potencial de poupança energética. Sendo a energia um bem escasso, há que saber usar os recursos disponíveis, evitando desperdiçá-los de forma irresponsável. O seu consumo por parte dos edifícios pode ser reduzido tendo em conta um conjunto de estratégias fundamentais:

- introdução de melhoria das suas características construtivas, reduzindo assim as necessidades energéticas no que diz respeito ao aquecimento e arrefecimento do ambiente;
- adopção medidas de utilização de equipamentos energeticamente mais eficientes.

Neste sentido, têm sido tomadas muitas medidas nos últimos anos relativamente aos consumos energéticos para climatização dos edifícios. No caso português, a legislação tem dado muita importância aos consumos energéticos decorrentes do aquecimento e arrefecimento dos edifícios e, de forma a racionalizar estes consumos, tem-se assistido à introdução de regulamentos relativos ao comportamento térmico e energético dos edifícios cada vez mais exigentes. A regulamentação actualmente em vigor contempla os seguintes decretos lei:

- o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto - Lei nº80/2006);
- o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (Decreto - Lei nº78/2006);
- o Regulamento dos Sistemas Energéticos da Climatização em Edifícios (Decreto - Lei nº79/2006).

Uma vez que existe uma relação directa entre o consumo energético para a climatização dos edifícios e o nível de isolamento térmico das envolventes em contacto com o exterior, os regulamentos dão especial importância a este aspecto, de forma a estabelecer limites nos gastos energéticos. Dado que a envolvente não é uniforme em termos de características térmicas, nomeadamente no que toca às taxas de transferência de calor, a quantificação e a forma de realização do isolamento térmico não se deve apenas centrar nas zonas correntes dos elementos. Deve-se ter em conta também, todas as zonas particulares da construção onde, por razões que adiante serão explicadas, se prevêem maiores taxas de transferência de calor. Estas zonas tomam a designação de pontes térmicas e, para além da importância nos gastos energéticos associados, têm também um impacto em questões importantes, como no conforto, na salubridade e nas patologias.

1.2 Objectivos e metodologia

O objectivo deste trabalho é avaliar a influência que a aplicabilidade das regras de qualidade nas pontes térmicas têm nos edifícios residenciais. Para tal efeito são realizados dois estudos.

O primeiro estudo é conduzido de forma a identificar quais as soluções construtivas usadas actualmente em Portugal, realizando-se para este efeito visitas a obras em fase de revestimentos. As

situações de pontes térmicas identificadas são seguidamente analisadas à luz das normas internacionais, regulamentos nacionais e recomendações existentes. De seguida é realizada uma análise comparativa entre as situações de ponte térmica observadas em obra e as soluções da mesma ponte térmica com as devidas correcções, utilizando um programa de simulação numérica.

No segundo estudo é feita uma avaliação da influência que a aplicabilidade das regras de qualidade nas pontes térmicas têm nos gastos térmicos globais e necessidades energéticas dos edifícios, utilizando a metodologia de cálculo simplificado do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006). Esta avaliação é conseguida através de um estudo realizado sobre um fogo de habitação corrente, de tipologia T4.

1.3 Organização

No capítulo 1 faz-se uma apresentação dos novos desafios apresentados à Europa, relativamente ao papel que deve ter o sector da construção na dependência energética – em particular dos edifícios. Seguidamente faz-se referência aos objectivos e organização do trabalho desenvolvido.

No segundo capítulo, após uma introdução dos conceitos base sobre os fenómenos de transferência de calor em edifícios, apresenta-se a definição do conceito de ponte térmica. De seguida analisam-se os métodos de cálculo de contabilização das perdas de calor pelas pontes térmicas presentes na norma internacional ISO/FDIS 14683:2007 (E) e na regulamentação térmica em vigor em Portugal - RCCTE (Decreto-Lei Nº80/2006). Neste capítulo faz-se também uma análise ao funcionamento do programa de simulação numérica BISCO e é dissecado o método numérico que lhe permite calcular parâmetros térmicos associados às pontes térmicas.

No terceiro capítulo faz-se um levantamento das diferentes soluções construtivas mais utilizadas em Portugal para algumas situações de ponte térmica, com base na realização de visitas a obras em fase de revestimentos. Posteriormente efectua-se uma análise numérica das soluções identificadas.

No quarto capítulo realiza-se uma análise higrotérmica e energética através metodologia de cálculo simplificada presente no RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006), tendo como caso de estudo um fogo de habitação de tipologia T4. Para esta análise são adoptados dois tipos de soluções construtivas, uma que ilustra as situações de ponte térmica identificadas em obra e outra que representa as soluções das mesmas pontes térmicas com as devidas correcções.

No último capítulo são apresentadas as conclusões, onde se faz uma análise da importância que a aplicabilidade das regras de qualidade nas pontes térmicas têm nos edifícios portugueses.

2 Influência das pontes térmicas na transferência de calor nos edifícios

2.1 Fenómenos de transmissão de calor em edifícios

O ambiente interno dos edifícios deve proporcionar condições mínimas de conforto higrotérmico. Para tal, a envolvente do edifício, ou seja, o conjunto de todos os elementos que separam o interior do exterior - paredes, coberturas, pavimentos, elementos de portas e janelas, etc. - deve possuir nas suas características propriedades que lhe permitam lidar com as acções do ambiente exterior (vento, luz, ruído, etc.), duma forma adequada e sem por em risco os níveis de conforto térmico.

A avaliação da quantidade de energia necessária para a obtenção de temperatura de ambiente interior ideal exige contabilizar todas as trocas de calor que nos edifícios se realizam através da envolvente. Em seguida apresentam-se os diferentes fenómenos de transmissão de calor que ocorrem nos edifícios e o papel que as pontes térmicas desempenham nestes mecanismos.

A diferença de temperatura entre dois sistemas distintos origina trocas de calor entre ambos, originando um fluxo de calor do sistema com a temperatura mais elevada para o sistema com a temperatura mais baixa. A transmissão do calor a partir da envolvente pode ocorrer segundo três fenómenos distintos: condução, convecção e radiação (figura 2.1).

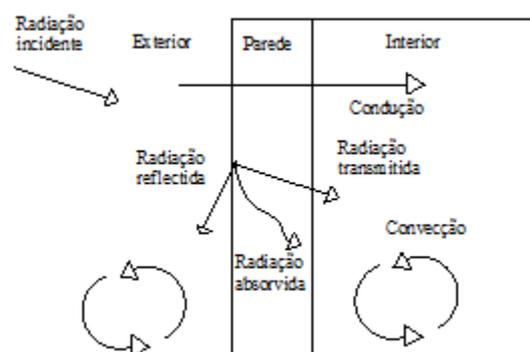


Figura 2.1 - Fenómenos de transmissão de calor em edifícios

A condução corresponde ao fenómeno de transferência de calor entre dois elementos com temperaturas diferentes, podendo ocorrer em corpos sólidos ou líquidos. Pode-se dizer que é um mecanismo de transferência de energia cinética a nível molecular em meios sólidos ou líquidos (transferência de energia de partículas que possuem mais energia para partículas adjacentes com menos energia). A transmissão do calor por condução através da envolvente dos edifícios depende das seguintes grandezas:

$$Q = U \cdot A \cdot (\theta_1 - \theta_2) \text{ [W]} \quad [2.1]$$

em que:

- U é o coeficiente de transmissão térmica do elemento ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);
- A é a área do elemento perpendicular à direcção do fluxo que o atravessa (m^2);
- $(\theta_1 - \theta_2)$ é a diferença de temperatura entre as fronteiras do elemento ($^\circ\text{C}$).

Esta expressão não se pode usar em determinadas zonas da envolvente de um edifício onde existem inúmeras heterogeneidades, dos mais variados tipos - geometria, propriedades dos materiais -, que afectam a direcção do fluxo de calor e promovem o seu desenvolvimento em mais do que uma direcção. Estas zonas constituem as designadas pontes térmicas, cujo conceito se desenvolve nos capítulos seguintes.

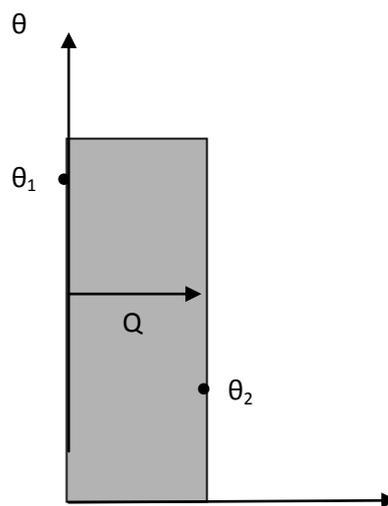


Figura 2.2 - Transferência de calor por condução num elemento sólido, sendo $\theta_1 > \theta_2$

A convecção é o mecanismo de transmissão de calor típico dos fluidos, visto que se dá na presença dos movimentos destes. Nos edifícios o fluido que interessa é o ar, sabendo-se que este, em contacto com a superfície, vai ser aquecido e, tornando-se menos denso, vai subir por um mecanismo de flutuação dando lugar ao contacto da superfície com ar mais frio. Neste caso, em que os movimentos do fluido são provocados pela diminuição de densidade ao ser aquecido, o processo de transferência de calor designa-se por convecção natural. A convecção diz-se forçada quando o movimento do fluido é reforçado por um meio externo (por exemplo, uma ventoinha ou o vento). Em qualquer dos casos, a transmissão de calor da superfície sólida para o fluido dá-se por condução entre as moléculas da superfície sólida e as moléculas do fluido adjacente a estas.

As trocas de calor no caso fluido – sólido são determinadas pela lei de Newton, em que existem coeficientes adequados, designados por condutibilidades térmicas superficiais (h_c) - em que a sua avaliação passa pela determinação do campo de temperatura na camada situada junto da superfície, que depende de diversos factores como a velocidade, as propriedades do fluido, a rugosidade da

superfície, a geometria, o regime de escoamento e a temperatura - que multiplicam a área do sólido (A_s) e a diferença de temperatura entre este e o fluido para obter o fluxo de calor:

$$Q = h_c \cdot A_s \cdot (\theta_f - \theta_s) \text{ [W]} \quad [2.2]$$

em que:

- h_c é a condutibilidade térmica superficial do sólido ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);
- A_s é a área do sólido (m^2);
- $(\theta_f - \theta_s)$ é a diferença de temperatura entre o sólido e o fluido ($^\circ\text{C}$).

Existe ainda um outro caso de convecção que é a da convecção ar – ar, onde as trocas de calor dependem da taxa de ventilação do local (R_{ph}), do volume do compartimento e da diferença de temperatura entre os ambientes que são postos em contacto (interior e exterior). Utilizando estas grandezas, a expressão que exprime o fluxo de calor pode escrever-se da seguinte forma:

$$Q = \rho \cdot c_p \cdot R_{ph} \cdot V \cdot (\theta_f - \theta_s) \text{ [W]} \quad [2.3]$$

em que:

- ρ é a massa específica do ar (kg/m^3);
- c_p é calor específico do ar (kJ°C);
- R_{ph} é a taxa de renovação do ar do local;
- V é o volume do local (m^3);
- $(\theta_f - \theta_s)$ é a diferença de temperatura entre os ambientes que são postos em contacto (interior

e exterior) ($^\circ\text{C}$).

Por último tem-se a transmissão de calor por radiação. Este fenómeno de transferência de calor é conseguido pela propagação de ondas electromagnéticas. Este é um processo que não necessita de um meio sólido para que a transferência de energia aconteça, sendo que esta se propaga sob a forma de ondas electromagnéticas que ocorre através do vácuo ou de um meio transparente.

Cada superfície tem associado um valor de emissividade, que permite avaliar uma determinada capacidade de emitir radiação. Os valores da emissividade podem variar entre 0 e 1, dependendo da capacidade do corpo de não emitir ou de emitir toda a energia, respectivamente. Estes valores são, no entanto, meramente teóricos pois não se verificam na realidade. A um corpo que apresenta uma emissividade igual a 1, dá-se o nome de corpo negro. Num corpo negro não se verificam reflexões, pelo que toda a energia incidente é absorvida e posteriormente emitida. Contrariamente, num corpo com emissividade 0, toda a energia incidente é reflectida.

De acordo com a lei de Stefan - Boltzmann, o fluxo de energia emitida por segundo e por unidade de área de superfície é determinada pelas seguintes expressões, tendo em conta o local de propagação de energia por parte do emissor:

-no caso de se considerar uma superfície a emitir livremente para o espaço:

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot \theta_1^4 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad [2.4]$$

-no caso de se considerar uma superfície à temperatura θ_1 emitindo para um meio à temperatura T_2 :

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (\theta_1^4 - \theta_2^4) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad [2.5]$$

em que:

- q é o calor transmitido por radiação (W);
- ε é a emissividade da superfície (m^2);
- σ é a constante de Stefan - Boltzman, $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}^4$;
- S é a área a superfície emissora;
- θ_1 e θ_2 são as temperaturas das superfícies emissor e receptora, respectivamente onde incide a radiação (K).

No que diz respeito a um corpo cinzento (aquele em que se consideram as suas propriedades radioactivas independentes do comprimento de onda), o calor emitido é menor que o de um corpo negro e é calculado pela seguinte expressão:

$$E_b = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \theta_s^4 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad [2.6]$$

em que:

- ε é o coeficiente de emissividade de um corpo;
- σ é a constante de Stefan - Boltzman, $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$;
- θ_s é a temperatura da superfície onde incide a radiação (K).

2.2 Pontes térmicas: conceito e causas

Numa envolvente de um edifício existem inúmeras zonas onde existem alterações ao nível da geometria dos elementos construtivos, das propriedades dos materiais (por exemplo, condutibilidade térmica), que afectam a direcção do fluxo de calor e originam fluxos de calor bidimensionais ou tridimensionais. Essas zonas da envolvente constituem as denominadas pontes térmicas (figura 2.3). Segundo a norma EN ISO 10211-1:1995, as pontes térmicas constituem uma parte da envolvente dos edifícios onde a resistência térmica é modificada por:

- uma penetração total ou parcial da envolvente do edifício por materiais de condutibilidade térmica λ diferente;
- uma mudança na espessura da estrutura;

-uma diferença entre as superfícies interna e externa, como ocorre nas ligações parede/piso/tecto.

Em todos estes casos, o fluxo de calor segue a trajectória com menor dispêndio de energia, ou seja, procura o caminho em que a resistência térmica é menor. Sendo esta em função da distância entre pontos e da condutibilidade térmica do material, tal significa que o fluxo de calor percorre o “caminho mais curto” que resulta da combinação destes dois parâmetros.

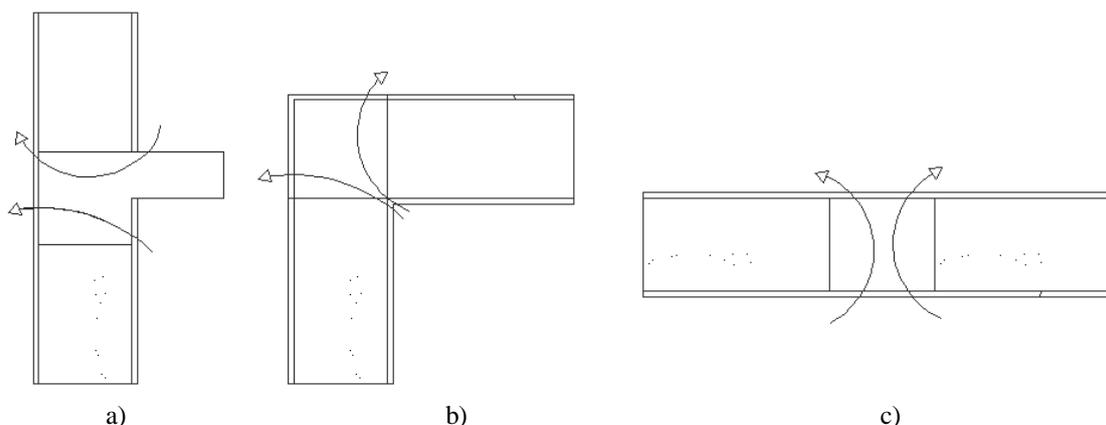


Figura 2.3 - Tipos de pontes térmicas: a) corte vertical de uma ponte térmica devido à ligação da fachada com a laje; b) e c) corte horizontal de uma ponte térmica devido à ligação entre duas paredes verticais com transição entre diferentes materiais

As pontes térmicas são locais da envolvente do edifício onde não existe uma uniformidade da resistência térmica dos elementos na sua área, hipótese que não permite o cálculo convencionalmente usado nas zonas correntes da envolvente, que considera na sua abordagem a unidireccionalidade do fluxo de calor (equação 2.1). Em termos de fenómeno físico, nas zonas de pontes térmicas, as linhas do fluxo de calor deixam de ser rectilíneas e tomam as direcções em que a resistência térmica é menor e a concentração das linhas de fluxo de calor é maior (figura 2.3). Como consequência, as pontes térmicas originam um acréscimo das trocas de calor através da envolvente e levam a uma distribuição heterogénea de temperaturas nos paramentos. É por isso essencial, uma abordagem na construção que permita a sua adequada correcção.

No que diz respeito aos caminhos percorridos pelo fluxos de calor, as pontes térmicas podem-se classificar em três tipos - pontes térmicas tridimensionais, pontes térmicas bidimensionais e pontes térmicas pontuais.

As pontes térmicas lineares ou bidimensionais são constituídas pela ligação de dois ou mais elementos construtivos e caracterizam-se por um coeficiente de transmissão térmica linear ($W/m.K$). A grande maioria das pontes térmicas tridimensionais, na construção corrente em Portugal, resulta de duas ou mais pontes bidimensionais. Têm-se como exemplos, a zona dos vértices da envolvente (intersecção entre dois elementos planos verticais e um horizontal) - figura 2.4, os vértices dos vãos

envidraçados (intersecção da ligação vertical com a ligação horizontal), as zonas dos bordos das varandas, etc.).

As pontes térmicas pontuais são aquelas em que as três dimensões são da mesma ordem de grandeza (figura 2.5). Estão neste grupo: o vértice de união entre três elementos planos (duas paredes e um pavimento, por exemplo), as descontinuidades pontuais de isolamento para ancoragens e certos dispositivos metálicos.

As pontes térmicas, devido às maiores taxas de perdas de calor induzidas, conduzem a uma diminuição acentuada da temperatura superficial interior em relação à zona corrente. Desta forma, a possibilidade destas temperaturas serem inferiores à temperatura do ponto de orvalho é muito maior do que na zona corrente da envolvente. Se ocorrer esta situação estão reunidas as condições para a ocorrência de condensações e o conseqüente aparecimento de patologias construtivas e funcionais. Na secção seguinte apresenta-se um método de avaliação para a ocorrência de condensações.

Actualmente, os edifícios possuem sempre isolamento térmico para fazer face às exigências regulamentares de limitação das necessidades energéticas. No caso de paredes duplas, a solução mais comum é colocar o isolamento no interior da caixa-de-ar. No caso de paredes simples, a solução passa normalmente pela colocação do isolamento no paramento exterior. Em ambos os casos as pontes térmicas surgem quando não existe continuidade do isolamento térmico ao longo de toda a envolvente exterior.

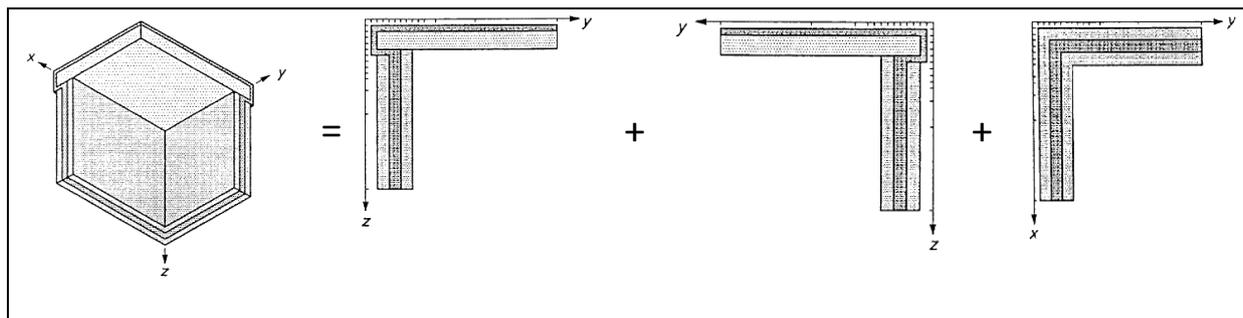


Figura 2.4 - Pontes térmicas tridimensionais resultantes da intersecção de duas ou mais pontes térmicas bidimensionais (EN ISO 10211 - 2 , 2001)

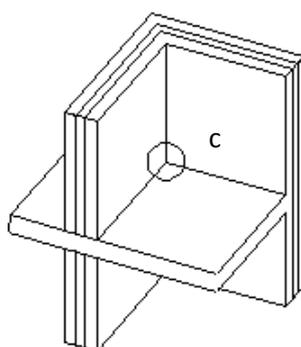


Figura 2.5 - Ponte térmica pontual resultante da união de três elementos planos (EN ISO 10211 - 2 , 2001)

As pontes térmicas têm sido estudadas com o objectivo de determinar as perdas de calor que através delas ocorrem e de analisar a sua influência no comportamento térmico global dos edifícios. Assim como, se procura conceber soluções que permitem minimizar os efeitos negativos que as pontes térmicas podem ter.

Existem vários documentos desenvolvidos pela comunidade científica europeia que estudam e caracterizam as pontes térmicas. P. Wouters e B. Vandermarcke apresentam uma publicação (Wouters e Vandermarcke, 2010), em que apresentam limites para os valores de coeficientes de transmissão térmica linear de forma a minimizar o contributo das perdas de calor pelas pontes térmicas nos edifícios. Esta análise é realizada verificando a influência que diversos factores, como a continuidade do isolamento térmico e a sua espessura, têm nos valores de coeficiente de transmissão térmica linear.

Outro estudo, realizado por M. Incau da Universidade de Oradea, apresenta valores de coeficiente de transmissão térmica linear e analisa a distribuição de temperaturas em função da variação da espessura do isolamento térmico para determinados casos de ponte térmica (Incau, 2009).

M. Corvacho, na sua tese de doutoramento (Corvacho, 1996), apresenta um catálogo que abrange quase todas as situações de ponte térmica. Este catálogo possui propostas de soluções construtivas para as zonas de pontes térmicas. Neste catálogo pode-se verificar a importância que tem a continuidade do isolamento térmico nestas.

Carlos Pina Santos apresenta um estudo sobre a "evolução das soluções de paredes face às novas exigências regulamentares", em que se têm possíveis soluções de correcção térmica das heterogeneidades existentes nas envolventes dos edifícios (Pina dos Santos, 2007). Neste documento apresenta-se regras de qualidade que devem existir na abordagem construtiva às pontes térmicas.

Todos estes documentos apresentam regras de qualidade aplicáveis aos elementos constituintes das envolventes dos edifícios. O tema que este trabalho trata são as pontes térmicas. Assim mais à frente faz-se uma análise à influência que a aplicabilidade das regras de qualidade tem na performance energética global dos edifícios.

2.3 Métodos de cálculo das perdas de calor pelas pontes térmicas

2.3.1 Método de contabilização das perdas de calor pelas pontes térmicas da norma internacional EN ISO 14683:2007

A norma internacional EN ISO 14683:2007 apresenta métodos de cálculo simplificados para determinar perdas de calor através das pontes térmicas lineares que ocorrem nas ligações entre os diferentes elementos constituintes da envolvente dos edifícios. As pontes térmicas nos edifícios dão origem a alterações nas taxas de fluxo de calor e nas temperaturas superficiais, em comparação com os outros elementos que compõem a envolvente do edifício. Essas taxas de fluxo de calor e as

temperaturas superficiais podem ser precisamente calculadas por cálculos numéricos através da norma EN ISO 10211 -2 :2007 (ISO, 2007).

Segundo a norma EN ISO 14683:2007, a taxa de fluxo de calor que atravessa a envolvente do edifício entre os ambientes interior e exterior com temperaturas θ_i e θ_e , respectivamente é determinada usando a expressão seguinte:

$$Q = H_t \times (\theta_i - \theta_e) \text{ [W]} \quad [2.7]$$

em que:

H_t - coeficiente de transferência térmica global (W/K)

$(\theta_i - \theta_e)$ - diferença entre as temperaturas do ambiente interior e do ambiente exterior (K)

O coeficiente de transmissão térmica global H_t é determinado através do seguinte somatório:

$$H_t = H_D + H_g + H_U \text{ [W/K]} \quad [2.8]$$

em que:

H_D - coeficiente de transmissão térmica unitário da envolvente do edifício (W/K);

H_g - coeficiente de transmissão térmica unitário do solo (W/K);

H_U - Coeficiente de transmissão térmica unitário de espaços não ventilados:(W/K).

O cálculo do coeficiente de transferência térmica da envolvente do edifício, que inclui na sua expressão a contribuição devido às pontes térmicas, faz-se através da seguinte expressão:

$$H_D = \sum_i A_i \times U_i + \sum_k l_k \times \psi_k + \sum_j \chi_j \text{ [W/K]} \quad [2.9]$$

em que:

A_i - área do elemento i da envolvente do edifício (m^2);

U_i - coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente do edifício ($W/m^2.K$);

l_k - desenvolvimento da ponte térmica linear k (m);

ψ_k - coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear k ($W/m.K$);

χ_j - coeficiente de transmissão térmica pontual da ponte térmica pontual j (W/K).

Na generalidade dos casos as pontes térmicas pontuais, na medida em que resultam da intersecção de pontes térmicas lineares, podem ser desprezadas e o termo envolvendo a ponte térmica pontual pode ser omitido da equação. No entanto, se houver um número significativo de pontes térmicas pontuais, os coeficientes de transmissão térmica pontuais devem ser calculados com base na norma EN ISO 10211:2007.

O coeficiente de transmissão térmica linear ψ pode ser determinado com base em:

-cálculos numéricos;

-catálogos de pontes térmicas;

-cálculos manuais;

-valores padrão.

Quanto mais informação sobre os pormenores do edifício se souber, mais preciso é o valor de cálculo de ψ , podendo ser estabelecida uma melhor comparação com o pormenor construtivo mais apropriado dos exemplos de pontes térmicas da tabela A.2. Nesta fase podem-se usar métodos de cálculo manuais.

Quando todos os detalhes da situação de ponte térmica são conhecidos, todos os métodos para determinar o valor de ψ podem ser usados, incluindo cálculos numéricos que dão valores mais precisos de ψ .

Os cálculos numéricos podem ser consultados na norma EN ISO 10211:2007, e devem disponibilizar a informação de qual dos três sistemas dimensionais é utilizado:

- dimensões internas, medidas entre as faces internas de cada compartimento do edifício (excluindo a espessura das paredes divisórias);
- dimensões globais internas, medidas entre as faces internas dos elementos exteriores do edifício (incluindo a espessura das paredes divisórias);
- dimensões externas, medidas entre as faces externas dos elementos do edifício.

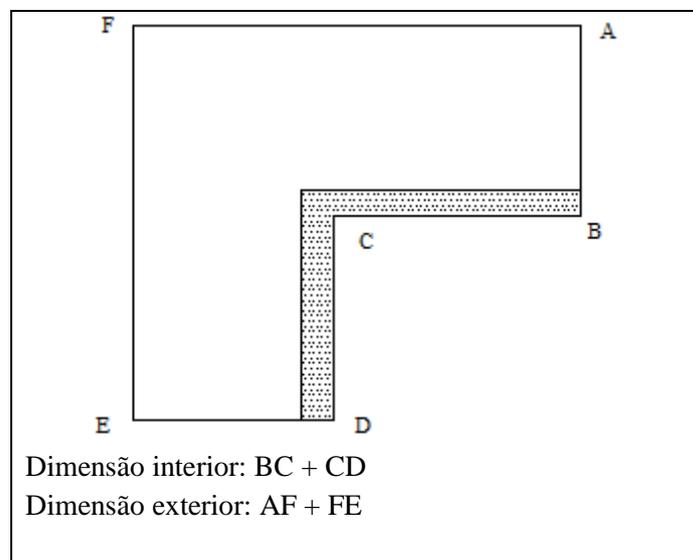


Figura 2.6 - Exemplo de utilização de dimensões interiores e exteriores

O método de cálculo numérico, além das informações acima descritas, deve fornecer o seguinte conjunto de parâmetros:

- tipos de pormenores construtivos a que se aplicam;
- valores limite de dimensões para as quais o método é válido;
- valores limite de condutividades térmicas para os materiais aplicados;
- valores de resistências térmicas superficiais para serem utilizadas;
- uma estimativa de precisão (por exemplo, erro máximo).

Outra forma de obter o valor de coeficiente de transmissão térmica linear é recorrendo a catálogos de ponte térmica. Estes catálogos são feitos com base em cálculos numéricos realizados em conformidade com a norma EN ISO 10211:2007, e devem fornecer o conjunto de informações seguintes:

- orientação clara como os valores de ψ são derivados dos valores indicados no catálogo;
- dimensões do pormenor construtivo e coeficientes de transmissão térmica das secções homogéneas do pormenor;
- resistências térmicas superficiais interna e externa usadas para o cálculo dos valores dados no catálogo.

Em geral, o facto de os exemplos dados no catálogo não coincidirem exactamente com os detalhes existentes na realidade tem como consequência incluir uma incerteza no resultado quando se usa o valor de ψ da tabela. No entanto, este valor pode ser usado, desde que as dimensões e propriedades térmicas do exemplo da tabela sejam semelhantes ao detalhe construtivo considerado ou sejam menos favoráveis que o pormenor construtivo considerado.

De seguida tem-se o método de cálculo manual, que deve apresentar as seguintes informações:

- tipos de pormenores construtivos a que se aplicam;
- valores limite de dimensões para as quais o método é válido;
- valores limite de condutibilidades térmicas para os materiais aplicados;
- valores de resistências térmicas superficiais para serem utilizadas;
- uma estimativa de precisão (por exemplo, erro máximo).

Finalmente, têm-se as tabelas de valores padrão de ψ presentes na tabela A.2 desta norma. A tabela A.2 contém exemplos de pormenores construtivos, associados a parâmetros fixos (dimensões fixas e materiais). A tabela A.2 apresenta também para cada situação de ponte térmica, a localização da camada de isolante térmico, o esboço do contorno de cada detalhe. Assim, esta tabela mostra os parâmetros dimensionais térmicos de pontes térmicas agrupadas por tipo e com quatro localizações possíveis de camadas de isolamento térmico. A camada de isolante térmico pode estar localizada:

- na parte externa do elemento construtivo;
- no interior do elemento construtivo;
- por todo o caminho da zona corrente do edifício. Esta situação ocorre quando a estrutura do elemento construtivo é de alvenaria leve ou de uma parede com estrutura de madeira.

A figura 2.7 apresenta as localizações de situações típicas de pontes térmicas bidimensionais. As letras maiúsculas denotam o tipo de ponte térmica e os sufixos denotam as pontes térmicas em particular, por exemplo IW_n denota uma ponte térmica na junção da envolvente exterior com uma parede interior e IW_m denota outra ponte térmica do mesmo tipo.

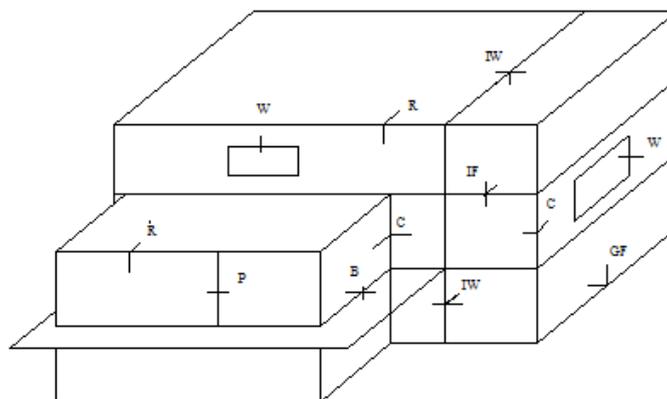


Figura 2.7 - Desenho esquemático de um edifício mostrando o tipo e a localização de pontes térmicas, segundo a tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007

Quadro 2.1 - Parâmetros usados para calcular os valores de ψ inseridos na tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007

Para todos os pormenores:	$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Para paredes externas:	$d = 300 \text{ mm}$
Para paredes internas:	$d = 200 \text{ mm}$
Para paredes com camada de isolamento térmico:	
- coeficiente de transmissão térmica	$U = 0,343 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- resistência térmica do isolamento térmico	$R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Para paredes de alvenaria leve:	$U = 0,375 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Para pisos térreos:	
- laje	$d = 200 \text{ mm}$
- condutibilidade térmica do solo	$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- resistência térmica do isolamento térmico	$R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Para lajes intermédias:	$d = 200 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Para coberturas:	
- coeficiente de transmissão térmica	$U = 0,365 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- resistência térmica do isolamento térmico	$R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Para as aberturas inseridas na zona corrente :	$d = 60 \text{ mm}$
Para pilares:	$d = 300 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Para cada tipo de ponte térmica, a tabela A.2 apresenta os valores padrão de ψ (com erro 0,05 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$), tendo em conta qual dos três sistemas de dimensões é utilizado, tal como o método de cálculo numérico:

- ψ_i , com base em dimensões internas;
- ψ_{oi} , com base em dimensões internas globais;
- ψ_e , com base em dimensões externas. Neste caso, as medidas são para o fundo da laje ou para o fundo do isolamento térmico (se se localizar abaixo da laje).

Os valores padrão de ψ da tabela A.2 deste regulamento são baseados em cálculos numéricos bidimensionais usando os parâmetros da tabela A.1 deste regulamento (quadro 2.1). Estes parâmetros foram escolhidos de modo a obter valores padrão de ψ , que estão perto do máximo que é possível ocorrer na realidade, não subestimando a transferência de calor que ocorre através das pontes térmicas. Assim, por exemplo para pisos térreos, são definidos:

- a espessura da laje;
- a condutibilidade térmica do solo;
- a resistência térmica do isolamento térmico.

2.3.2 Análise da metodologia de cálculo simplificada da Regulamentação Térmica Portuguesa em vigor

A avaliação do balanço térmico nos edifícios é um dos objectos de estudo deste trabalho. Deste modo, foram formuladas as equações de base das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma, em vigor no RCCTE (Decreto-Lei nº 80/2006). No sub - capítulo seguinte analisaremos as variáveis de que dependem estas expressões.

2.3.2.1 Análise do método de cálculo simplificado das necessidades energéticas do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006)

Para a caracterização da performance energética dos edifícios, o RCCTE apresenta dois parâmetros fundamentais: necessidades de aquecimento e necessidades de arrefecimento. Dado que a análise da influência das pontes térmicas no balanço global higratérmico e energético dos edifícios será feita na perspectiva das perdas de calor, neste trabalho dá-se apenas destaque ao índice referente às necessidades de aquecimento.

Na estação de aquecimento, o comportamento térmico do edifício é determinado pelo seguinte conjunto de perdas e ganhos:

- perdas associadas à zona corrente da envolvente exterior;
- perdas associadas às pontes térmicas da envolvente exterior;
- perdas associadas à zona corrente da envolvente interior;
- perdas associadas às pontes térmicas da envolvente interior;
- perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores;
- perdas associadas à renovação do ar;

- ganhos Internos;
- ganhos pelos vãos envidraçados exteriores.

As perdas de calor que ocorrem através das pontes térmicas são incluídas no somatório das perdas ocorridas por condução. Esta contabilização contém as perdas de calor pelas zonas correntes (cobertura, paredes, envidraçados e pavimentos) em contacto com o exterior e em contacto com locais não aquecidos e as perdas de calor por pavimentos ou paredes em contacto com o solo. Em relação ao cálculo do coeficiente de transmissão térmica unitário da envolvente do edifício, o RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) não inclui no seu somatório as perdas de calor ocorridas pelas pontes térmicas pontuais, ao contrário da norma EN ISO 14683:2007:

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_i A_i \cdot U_i \cdot \tau_i + \sum_k l_k \times \psi_k \text{ [W/K]} \quad [2.10]$$

em que:

- A_i é a área do elemento i da envolvente do edifício (m^2);
- U_i é o coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente do edifício ($W/m^2.K$);
- l_k é o desenvolvimento da ponte térmica linear k (m);
- τ_i é o coeficiente de redução das perdas térmicas associadas aos locais não aquecidos;
- ψ_k é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear k ($W/m.K$).

As perdas térmicas através de elementos em contacto com locais não-úteis (não aquecidos) constituem uma fracção do valor que teriam se esses elementos fizessem fronteira com o exterior. O coeficiente τ que traduz esse decréscimo de perdas, toma valores convencionais em função da natureza do espaço não útil, das suas condições de ventilação, e da relação entre as áreas da envolvente interior e exterior A_i/A_u – Tabela IV.1 do RCCTE, em que:

- A_i corresponde à área do elemento que separa o espaço útil interior e o espaço não-útil
- A_u corresponde à área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior.

Neste caso, distinguem-se as paredes em contacto com zonas comuns do edifício (Patim) e as paredes em contacto com o edifício adjacente. O RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) despreza as pontes térmicas lineares ($\psi = 0$) na envolvente interior sempre que o valor do coeficiente τ seja inferior a 0,7.

Do ponto de vista dos ganhos de calor, considera-se que o edifício é influenciado pelo seguinte conjunto de aspectos:

- Ganhos solares:
 - dos vãos envidraçados e de sua orientação;
 - da radiação incidente nos envidraçados;
 - da duração da estação de aquecimento;
 - dos factores de obstrução (sombreamentos).
- Ganhos internos:
 - da funcionalidade do edifício;
 - da duração da estação de aquecimento;

-da área útil do edifício.

Um outro aspecto, também ele muito importante, a considerar neste estudo corresponde à inércia térmica, traduzida por um factor a:

-igual a 1,8 para inércia térmica fraca;

-igual a 2,6 para inércia térmica média;

-igual a 4,2 para inércia térmica forte

Os ganhos úteis do edifício obtêm-se multiplicando os ganhos brutos pelo factor de utilização dos ganhos η . Este factor depende de um dos parâmetros na definição de um edifício, que é a sua inércia térmica, e da relação entre os ganhos brutos de calor e as perdas de calor obtidas por condução e ventilação.

As necessidades de aquecimento são obtidas através da multiplicação das perdas térmicas totais pelos graus-dias no local e por 0,024, subtraindo-se a este valor os ganhos totais úteis. Dividindo este valor pela área útil do pavimento obtêm-se a necessidade de aquecimento por metro quadrado. Por sua vez, as necessidades de aquecimento máximas exigidas pelo RCCTE dependem unicamente do factor de forma e do número de graus-dias do local. Este factor de forma é obtido através da relação da área dos elementos, através dos quais se realizam perdas de calor, e o volume total do compartimento sobre o qual se faz a análise higrotérmica e energética.

2.3.2.2 Evolução na abordagem às pontes térmicas feita pelo Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

O RCCTE de 1990 foi o primeiro regulamento a abordar a problemática situação da existência das pontes térmicas, introduzindo um factor de medição da sua influência na envolvente dos edifícios.

O RCCTE (Decreto - Lei nº40/1990) considerava as perdas de calor pelas pontes térmicas, indirectamente através do cálculo das necessidades nominais de aquecimento. As áreas de zonas que correspondem a pontes térmicas, como as ligações, eram contabilizadas no cálculo das perdas de calor através da zona corrente da envolvente, multiplicando o coeficiente de transmissão térmica da zona corrente pela sua área exterior. De modo a quantificar a influência das heterogeneidades - pilares, vigas, topo de lajes, caixas de estore, etc. - nas perdas de calor através da envolvente, o RCCTE (Decreto - Lei nº40/1990) recorria ao denominado factor de concentração de perdas térmicas, f_c , constituindo este um factor de majoração do resultado do cálculo atrás descrito.

O cálculo de f_c para áreas de heterogeneidades superiores a 30 % da área da envolvente pode ser realizado através da seguinte expressão:

$$f_c = \frac{\sum K_i A_i}{K_{cr} \sum A_i} \quad [2.11]$$

Em que:

- K_i é o coeficiente de transmissão térmica da zona parcial homogénea i ($W/m^2\text{°C}$)

- A_i é a área, medida pelo exterior, da zona parcial homogénea i (m^2)

- K_{cr} é o coeficiente de transmissão térmica da zona corrente da envolvente ($W/m^2\text{°C}$)

Se a área de heterogeneidades não for superior a 30 % da área da envolvente, f_c poderia ser obtido a partir de uma tabela de valores padrão.

Ao longo dos anos, com o aparecimento de patologias gravosas com origem na existência das pontes térmicas, foi necessário estabelecer novas regras ao nível das heterogeneidades existentes na envolvente dos edifícios de modo a evitar o aparecimento de tais defeitos. Assim, o novo RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) exige a correcção das heterogeneidades que constituem os diferentes elementos construtivos existentes na envolvente dos edifícios com isolamento térmico. Para tal, este regulamento introduz o conceito de pontes térmicas planas - heterogeneidades construtivas e térmicas inseridas em zona corrente da envolvente (como é o caso de talões de viga, pilares e caixas de estore), nas quais se admite que o fluxo térmico é unidireccional e perpendicular à superfície. Assim, com o intuito de minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais e as consequentes patologias (bolores, manchas e corrosão), o RCCTE impõe duas exigências que se aplicam ao valor admissível do respectivo coeficiente de transmissão térmica:

- Não pode ser superior aos valores máximos definidos para a zona corrente da parede - figura 2.8 (Freitas, 2007):

$$U_3 \leq U_{m\acute{a}x} \text{ e } U_2 \leq U_{m\acute{a}x} \quad [2.12]$$

- Não pode ser superior ao dobro do valor de U da zona corrente da parede na qual a ponte térmica plana se insere - Figura 2.9 (Freitas, 2007):

$$U_3 \leq 2 \times U_1 \text{ e } U_2 \leq 2 \times U_1 \quad [2.13]$$

Quadro 2.2 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos

Elemento da envolvente	Zona climática		
	I ₁	I ₂	I ₃
Elementos exteriores em zona corrente:			
Zonas opacas verticais	1,8	1,6	1,45
Zonas opacas horizontais	1,25	1,00	0,90
Elementos interiores em zona corrente:			
Zonas opacas verticais	2,00	2,00	1,90
Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20

Ao contrário do que acontecia com o RCCTE (Decreto - Lei nº40/1990), a nova legislação contabiliza as perdas de calor que ocorrem nas ligações dos elementos da envolvente exterior vertical (em algumas situações ocorrem também na envolvente interior). As perdas de calor pelas pontes térmicas lineares são calculadas multiplicando o seu desenvolvimento linear (B_j) expresso em m, o

coeficiente de transmissão térmica linear (ψ_j), expresso em W/m.°C, pela diferença de temperaturas entre os ambientes interior e exterior ($\theta_i - \theta_e$) expresso em °C, como se vê na expressão seguinte:

$$Q = \psi_j \times B_j \times (\theta_i - \theta_e) \text{ [W]} \quad [2.14]$$

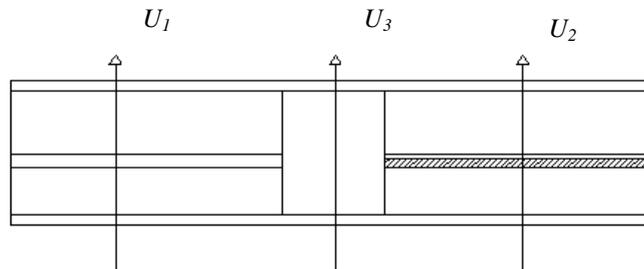


Figura 2.8-Ponte térmica plana - Pilar intermédio

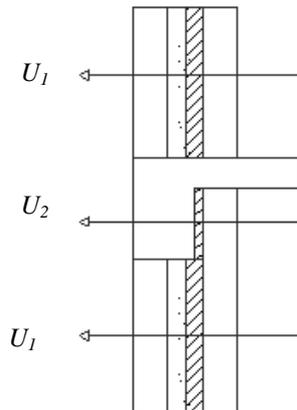


Figura 2.9-Ponte térmica plana - Talão de viga

O RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) fornece uma série de coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) para as pontes térmicas bidimensionais, sendo os valores de ψ indicados na tabela IV.3 correspondentes às situações ligação entre os elementos construtivos que constituem as fachadas dos edifícios.

2.3.3 Determinação do valor do coeficiente de transmissão térmica pelo programa Bisco

O programa de simulação numérica BISCO (Physibel, 2006) permite determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica linear de qualquer ponte térmica bidimensional. Inicialmente é necessário desenhar o pormenor construtivo da ponte térmica no qual se pretende efectuar uma análise higrotérmica e introduzir os respectivos parâmetros, tais como as espessuras das camadas dos

diferentes materiais constituintes e os respectivos valores de condutibilidade térmica. Nos dados de entrada é necessário também definir o valor da temperatura do ambiente exterior e o valor da temperatura interior.

O ficheiro de entrada contem a janela onde se desenha o pormenor construtivo e a janela com as medidas de cada camada de material. Existe ainda uma terceira janela onde se define o nome dos materiais utilizados, a cor atribuída a cada um destes e os respectivos valores de condutibilidade térmica. É nesta janela que se definem as condições ambientais exterior e interior, assim como se atribui uma cor a cada um destes ambientes.

Após se ter introduzido os dados de entrada no programa (figura 2.11), este já se encontra nas condições de calcular o fluxo de calor que atravessa o pormenor construtivo.

A metodologia de cálculo aplicável ao estudo das pontes térmicas baseia-se num conjunto de métodos de cálculo presentes na norma EN ISO 10211-2, que define as regras para o seu uso. O método numérico utilizado é o método dos elementos finitos. O programa efectua uma discretização do pormenor numa malha de elementos triangulares (figura 2.12). A aplicação do processo de discretização para cada subdivisão conduz a um sistema de equações cuja solução fornece valores da temperatura. Assim se poderá observar a distribuição da temperatura elemento, apresentando-se um esquema de cores mais claras para temperaturas mais altas e de cores mais escuras para temperaturas mais baixas (figura 2.12).

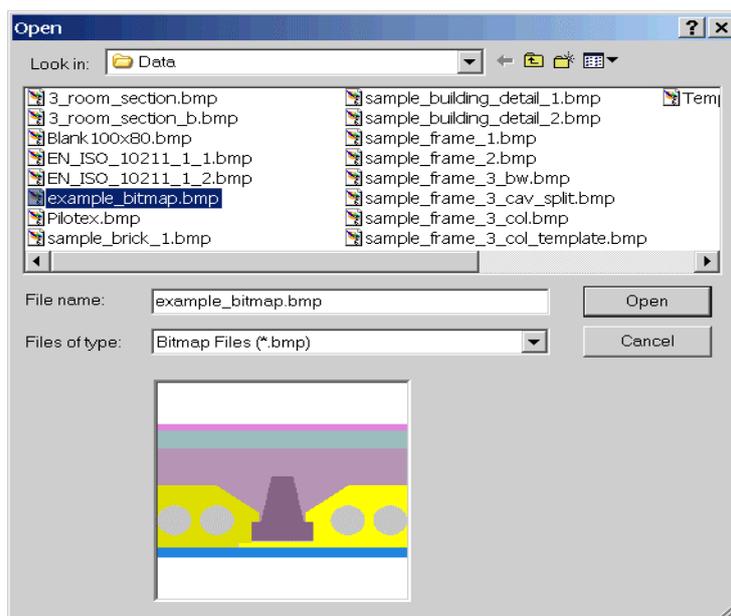


Figura 2.10 - Janela de abertura do programa Bisco (Physibel, 2006)

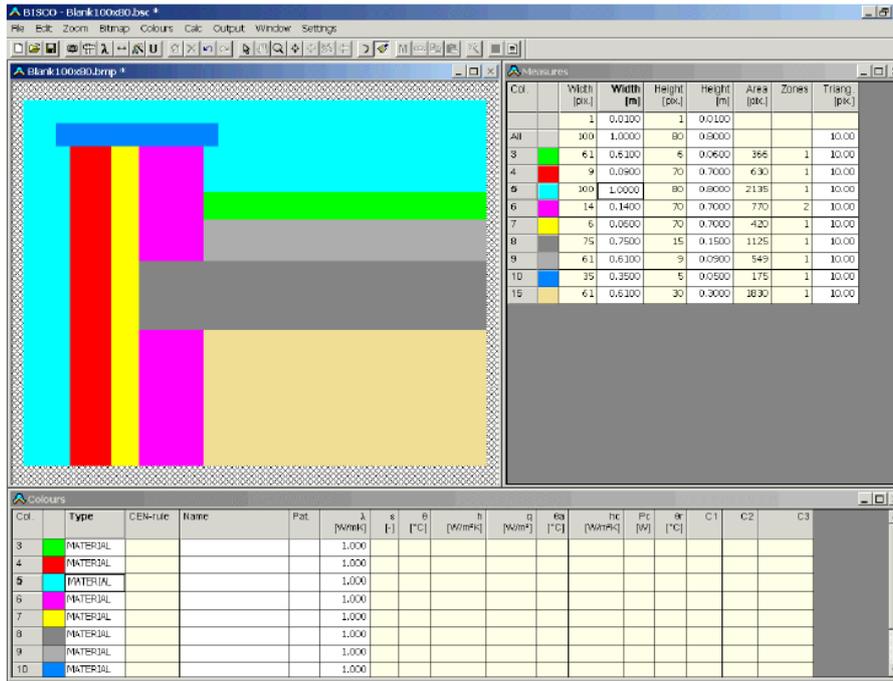


Figura 2.11 - Ecrã do programa com o pormenor construtivo desenhado, a janela com as dimensões das camadas de cada material e a janela com os materiais utilizados (Physibel, 2006)

Tendo obtido a distribuição de temperatura do elemento, o programa encontra-se nas condições de calcular o valor do fluxo de calor que o atravessa. O fluxo de calor Q entre um ambiente i e um ambiente j é calculado através da expressão:

$$Q = L_{i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j) \quad [2.15]$$

Em que:

- θ_i é a temperatura do ambiente i ;
- θ_j é a temperatura do ambiente j ;
- $L_{i,j}$ é o coeficiente de transmissão térmica do pormenor construtivo que faz a separação dos dois ambientes considerados.

De uma forma genérica, $L_{i,j}$ pode ser obtido através da seguinte expressão para duas dimensões:

$$L_{i,j} = \sum_{m=1}^M L_{m(i,j)}^{2D} \cdot l_m + \sum_{K=1}^K U_{K(i,j)} A_K \quad [2.16]$$

Onde:

- $L_{i,j}$ é o coeficiente de transmissão térmica do pormenor construtivo que faz a separação dos dois ambientes, i e j , tidos em consideração e obtido por cálculo bidimensional (W/m.°C);

- $L_{m(i,j)}$ é o coeficiente de transmissão térmica obtida do cálculo bidimensional de uma parte m , bidimensional, do elemento que separa i e j ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$);
- L_m é o comprimento ao qual $L_{m(i,j)}$ se aplica (m);
- $U_{K(i,j)}$ é o coeficiente de transmissão térmica da parte K , em que o fluxo de calor se dá de forma unidimensional, do elemento que separa os dois ambientes, i e j ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);
- A_K é a área à qual se aplica $U_{K(i,j)}$ (m^2).

Para determinar o valor de transmissão térmica linear da ponte térmica, o programa recorre a uma expressão da norma ISO 10211 - 2:

$$\Psi = L_{i,j} - \sum_{j=1}^N U_j L_j \quad [\text{W/m} \cdot \text{K}] \quad [2.17]$$

Em que:

- $L_{i,j}$ é o coeficiente de transmissão térmica do pormenor construtivo que faz a separação dos dois ambientes, interior e exterior ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$);
- U_j é o coeficiente de transmissão térmica da componente unidimensional j que separa os dois ambientes ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);
- L_j é o comprimento dentro do modelo geométrico bidimensional, sobre o qual se aplica o valor de U_j (m).

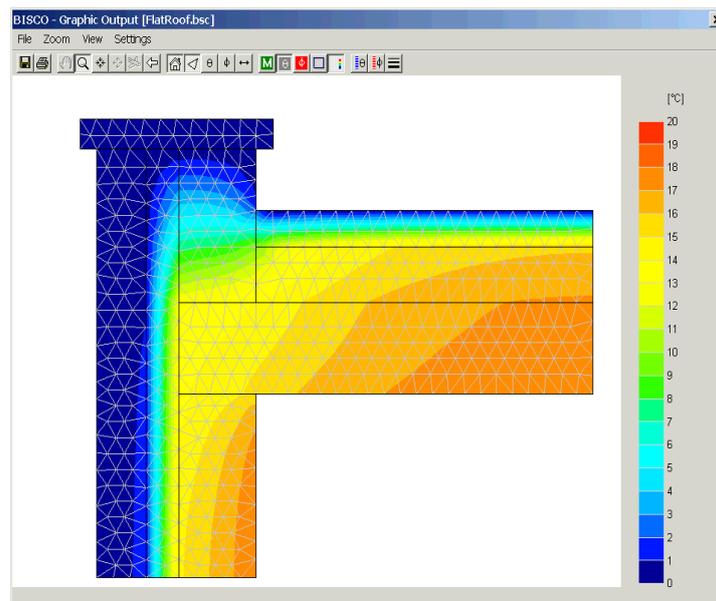


Figura 2.12 - Esquema com a distribuição de calor no pormenor construtivo (Physibel, 2006)

O programa possui uma janela em que se apresenta as temperaturas mínimas e máximas que de cada material que constitui o elemento construtivo (figura 2.13).

Col.	Type	Name	tmin [°C]	tmax [°C]	ta [°C]	flow in [W/m]	flow out [W/m]
3	MATERIAL	roof insulation	-0.05	15.86			
4	MATERIAL	brickwork	0.06	1.22			
5	BC_SIMPL	outside	-0.05	2.20		0.04	12.80
6	MATERIAL	brickwork	0.18	17.94			
7	MATERIAL	wall insulation	0.16	14.81			
8	MATERIAL	concrete	12.84	17.79			
9	MATERIAL	screeed	9.75	17.15			
10	MATERIAL	stone	0.04	0.40			
15	BC_SIMPL	inside	15.38	17.94		12.76	0.00

Figura 2.13 - Janela com os valores de fluxo de calor que atravessa o pormenor construtivo (Physibel, 2006)

Na figura 2.14 apresenta-se um exemplo com a janela que contém o valor do coeficiente de transmissão térmica linear. Esta janela apresenta também o valor do factor de temperatura superficial e a quantidade de fluxo de calor que atravessa o pormenor construtivo.

```

Temperature factor (EN ISO 10211-2) = 0.772
hi = 5.00 W/(m².K)
Rsi = 0.20 m².K/W

Linear thermal transmittance (EN ISO 10211-2)
psi = Q/(ti-te) - U1*l1 - U2*l2 = 0.278 W/(m.K)
Equivalent thermal transmittance
Ueq = Q/((ti-te)*(l1+l2)) = 0.550 W/(m².K)
Q = 22.095 W/m
ti = 20.00°C
te = 0.00°C
U1 = 0.369 W/(m².K) (right edge of bitmap)
l1 = 1.0100 m (distance no. 1)
U2 = 0.454 W/(m².K) (bottom edge of bitmap)
l2 = 1.0000 m (distance no. 2)

```

Figura 2.14 - Janela com os valores do coeficiente de transmissão térmica linear (Physibel, 2006)

2.4 Método de avaliação do risco de ocorrência de condensações

Como já foi referido, devido a maior concentração de fluxos de calor, as pontes térmicas conduzem a maiores perdas de calor que acontecem através das envolventes dos edifícios. Por isso, importa não descuidar o correcto isolamento destas zonas para não ocorrer um desfaseamento muito elevado entre as resistências térmicas que elas contêm e a resistência térmica das zonas correntes dos edifícios. É por isso importante o tratamento cuidado destas zonas, de forma a diminuir o risco de ocorrência de patologias nos edifícios.

Nas zonas de pontes térmicas o fluxo de calor tem direcções bidimensionais e tridimensionais, e a distribuição das superfícies interiores não é uniforme. O facto de a resistência térmica nestas zonas

ser inferior às das zonas adjacentes implica que a temperatura nestas zonas atinja valores mais baixos que nas zonas correntes, implicando que estas zonas tenham maior risco de ocorrência de condensações. Quando estas temperaturas atingem um nível mais baixo que a temperatura do ponto de orvalho - valor mínimo de temperatura abaixo da qual não se pode descer sem que ocorram condensações para uma determinada quantidade de vapor de água existente no ar - dá-se lugar às condensações nas superfícies interiores das envolventes, com maior incidência na estação de Inverno.

Para avaliar o risco de ocorrência de condensações nas heterogeneidades presentes nas envolventes dos edifícios existe um parâmetro térmico designado por factor de temperatura superficial. Este parâmetro é adimensional e é calculado através da seguinte expressão:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [2.19]$$

Em que:

- θ_i , θ_e e θ_{si} são respectivamente, a temperatura ambiente interior, a temperatura ambiente exterior, e a temperatura superficial interior.

O valor mínimo deste factor ocorrerá sobre a ponte térmica, onde a temperatura é $\theta_{si, \min}$ é dado pela seguinte expressão:

$$f_{Rsi, \min} = \frac{\theta_{si, \min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [2.20]$$

Este valor, estando catalogado para determinado tipo de ponte térmica, permite avaliar qual a temperatura mínima que sobre ela ocorre para um determinado par de valores de θ_i e θ_e . Também, quanto menor for o factor de temperatura superficial, maior o risco de condensações e de desenvolvimento de fungos.. Com o objectivo de prevenir o fenómeno da condensação, existem recomendações para os valores mínimos do *Factor de Temperatura Superficial*, apresentando-se no quadro 2.3 algumas delas, em função do tipo de edifício ou local.

Quadro 2.3 -valores mínimos do factor de temperatura superficial para prevenir o fenómeno de condensação

Edifício/local	Mínimo $f_{rsi, \min}$
Armazém	0,30
Escritórios, casas de comércio a retalho	0,50
Edifícios residências e escolas	0,75
Pavilhões desportivos, cozinhas, cantinas, locais com aquecedores a gás sem extracção	0,80
Locais com elevada humidade, como piscinas, lavandarias, cervejarias	0,90

3 Análise das soluções construtivas usadas correntemente visando as pontes térmicas

3.1 Introdução: evolução das fachadas em Portugal

Antes do fim da II Guerra Mundial as soluções construtivas das paredes das habitações estavam dependentes das características regionais e condições climáticas das zonas onde eram implantadas as edificações. Nas zonas de maciços rochosos, era predominante o uso de alvenaria de pedra para permitir a construção de paredes pesadas e de elevada espessura, com intuito que as habitações não perdessem calor com facilidade. O facto de as paredes serem construídas com materiais porosos fazia com que o vapor de água fosse absorvido e restituído ao ambiente no Verão.

A partir do pós-guerra as práticas tradicionais foram progressivamente abandonadas. A evolução económica e social fomentou uma evolução rápida das exigências de desempenho das alvenarias, que acompanhou igualmente a evolução industrial. Passou-se assim do conhecimento empírico adquirido durante séculos para o conhecimento científico exigido pelo mercado. Esta evolução nem sempre criou soluções adaptadas às condições locais. Por outro lado, pelo facto das paredes passarem a apresentar, regra geral, uma função meramente de enchimento, as alvenarias em Portugal apresentavam e ainda apresentam muitas vezes um fraco desempenho.

Com efeito, a partir da década de 40, o betão armado surgiu como solução estrutural. Assim, as alvenarias perderam as suas características resistentes que até aí possuíam, transformando-se em simples panos de enchimento.

Na década de 70 surgem as paredes exteriores com dois panos de alvenaria e uma caixa de ar. Acreditava-se que a caixa de ar serviria para melhorar o conforto térmico. O vapor de água ou ficava retido no interior da construção, porque os rebocos em vez de cal hidráulica passaram a ser construídos com cimento *portland*, ou atravessava as paredes e ficava depositado por baixo da tinta plástica levando ao seu empolamento.

Na década de 80, as paredes começaram a incorporar um isolante leve que deveria ser em placas fixado ao pano interior devido ao aumento das exigências de conforto, nomeadamente térmico. Surgem novas patologias nas pontes térmicas, tais como vigas de bordo, pilares e zonas nervuradas das lajes de tecto em contacto com a envolvente exterior relacionada com as condensações em zonas frias, que surgem na sequência da diminuição da ventilação interior devido ao facto de se terem começado a adoptar caixilharias em alumínio em detrimento das de madeira, sendo as de alumínio muito mais estanques, surgindo assim como uma barreira à ventilação natural.

Na tentativa de corrigir os problemas que surgiram relacionados com as pontes térmicas, e tendo em conta o aparecimento do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos

Edifícios, de 1990, surge a denominada "parede dupla" com dois panos de alvenaria, um interior de tijolo furado de 15 cm e outro exterior com 11 cm e uma placa de isolante térmico colado ao pano interior, e caixa de ar. O aumento da espessura do pano interior fomentou a obtenção de uma maior inércia térmica (redução das variações de temperatura dentro da habitação ao longo do dia), visto que para a contabilização da inércia térmica é apenas contabilizada a massa que está entre o isolamento e o interior.

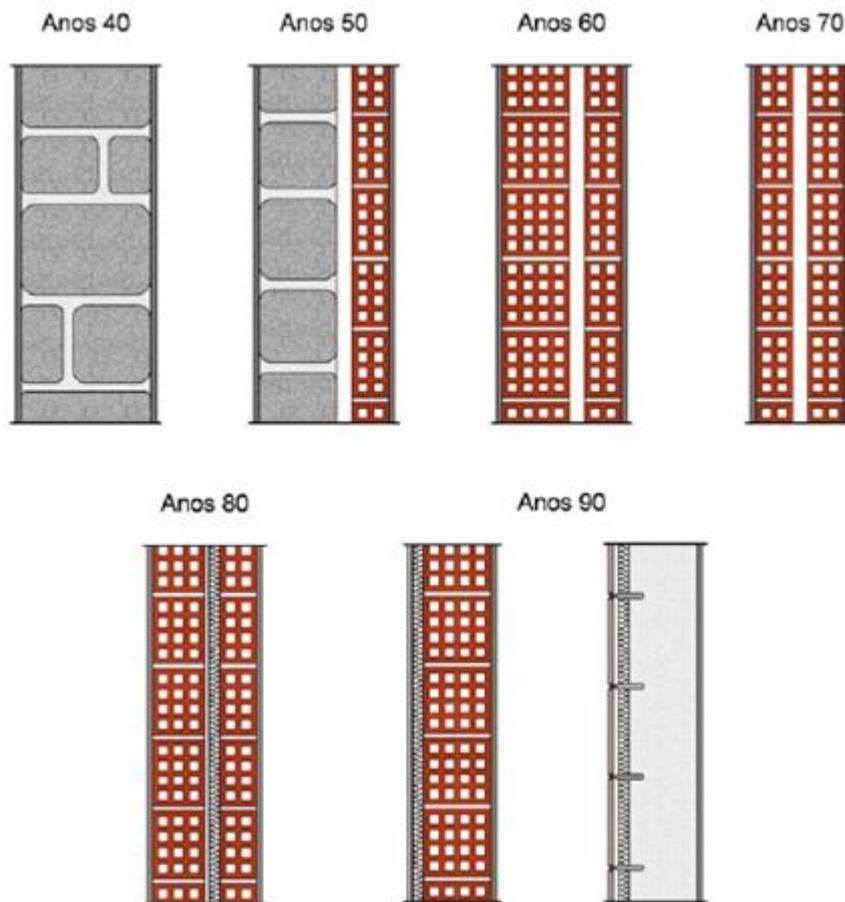


Figura 3.1 - Evolução das paredes exteriores em Portugal (Freitas, 2002)

Actualmente as soluções construtivas correntemente usadas para a parede da envolvente exterior opaca, particularmente das habitações unifamiliares, como se pode constatar com os relatórios de obra no Anexo 1 deste trabalho, são:

-a solução construtiva denominada de parede dupla com panos de alvenaria de tijolo de espessuras compreendidas entre 0,07 m e 0,15 m.

-a solução construtiva de pano duplo com o isolamento térmico a ocupar a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos de alvenaria, neste caso com um aumento da espessura do isolamento térmico ou um aumento dos panos de alvenaria, obrigando na primeira situação a um

aumento da espessura do isolamento térmico nas zonas de pontes térmicas, segundo a legislação portuguesa em vigor, já neste trabalho analisada.



Figura 3.2 - Pormenores construtivos de uma parede dupla e uma parede de pano duplo, respectivamente

Como materiais constituintes da solução construtiva parede dupla tem o tijolo furado com combinações 11cm+11cm e 11cm + 15cm, pano interior e pano exterior, respectivamente e o isolamento térmico que usualmente é o poliestireno extrudado, lã de rocha ou o poliestireno expandido. A existência do espaço de ar junto ao pano exterior tem por função contribuir para a secagem das condensações do vapor de água depois do isolamento térmico, através da convecção do ar, evitando assim os seus efeitos negativos sobre o isolamento e sobre o aspecto exterior do edifício. Existindo espaço de ar, para cumprir o seu objectivo, este deve estar drenado, ventilado e limpo, não constituindo depósito de argamassa ou quaisquer outros detritos. Em muitas disposições construtivas desta solução o espaço de ar encontra-se junto do pano interior (figura 4.3), pormenor observado em muitas das visitas realizadas às obras do distrito de Setúbal, fazendo com que toda a funcionalidade deixe de existir.

Em muitas habitações existem as soluções denominadas paredes de pano duplo, particularmente as habitações unifamiliares. Quando o isolamento térmico é impermeável à água neste tipo de solução construtiva, o vapor de água não consegue atravessar, ficando no interior da construção. Sendo o isolamento permeável ao vapor de água, este atravessa-o e, logo a seguir (por a temperatura ser mais baixa), condensa no paramento interior do pano exterior. Esta condensação humedece o isolamento e acaba por degradar o acabamento exterior da parede.

Na última década, foram introduzidos em Portugal diferentes sistemas de isolamento térmico pelo exterior como pelo interior, sendo a primeira solução mais usada entre nós. De um modo geral, os sistemas de isolamento pelo exterior são constituídos por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre o suporte e um paramento exterior para protecção, em particular, das solicitações climáticas e

mecânicas (figura 3.3). Pode-se classificar os sistemas de isolamento de fachadas pelo exterior em três grandes famílias (Freitas, 2002):

-Revestimentos descontínuos fixados ao suporte através de uma estrutura intermédia – fachadas ventiladas;

-Componentes prefabricados constituídos por um isolamento e um paramento, fixados directamente ao suporte – “vêture”;

-Revestimentos armados directamente aplicados sobre o isolamento térmico - ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems with rendering*), que por sua vez é aplicado directamente ao suporte.



Figura 3.3 - Solução construtiva "ETICS"

Em geral, os sistemas de isolamento térmico pelo exterior com revestimento armado (tendo as armaduras a função de melhorar a resistência mecânica do revestimento e assegurar a sua continuidade) são aplicados sobre um suporte constituído por uma parede em alvenaria ou em betão armado e contêm um paramento exterior para protecção das solicitações climáticas e mecânicas (Freitas, 2002).

Relativamente à forma de fixação, os ETICS podem classificar-se em:

-Sistemas colados (incluindo ou não fixações mecânicas complementares), tendo sido esta solução que se conseguiu observar nas visitas às obras em execução;

-Sistemas fixos mecanicamente (incluindo ou não colagem complementar).

Uma das vantagens da aplicação do isolamento térmico exterior é permitir a continuidade do isolamento térmico, ao contrário do que acontece na tecnologia construtiva designada de parede dupla, aspecto que permite a eliminação das pontes térmicas, diminuindo o risco da ocorrência de condensações. A adopção do sistema ETICS apresenta outras vantagens:

-Aumento da inércia térmica interior dos edifícios, dado que a maior parte da massa das paredes se encontra pelo interior da camada de isolamento térmico;

-Aumento da protecção conferida ao tosco das paredes face às solicitações dos agentes atmosféricos (como exemplo, a radiação solar);

-Diminuição do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes, o que leva a diminuição do risco de ocorrência de condensações superficiais interiores;

-Melhoria da impermeabilidade das paredes;

Em contrapartida, para que o desempenho desta aplicação seja globalmente satisfatório e durável, é necessário o tratamento, habitualmente não realizado, de pontos singulares (ângulos, remates, ligações, etc.)

A solução construtiva “ETICS”, que se pode ver nos relatórios de obra colocados em anexo, é constituída por placas de poliestireno expandido revestidas com revestimento delgado armado com uma fibra de vidro.

3.2 Evolução da abordagem que é feita às pontes térmicas tendo em conta os aspectos construtivos e as normas em vigor

A verificação dos requisitos mínimos de qualidade térmica do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto -Lei nº 80/2006), no que se refere às soluções construtivas adoptadas para a envolvente exterior dos edifícios, não passa apenas pelo cumprimento de critérios referentes à zona corrente, mas também pela necessidade do cumprimento das exigências regulamentares exigentes ao nível das trocas de calor induzidas pelas heterogeneidades que constituem as envolventes dos edifícios, como já foi referido no âmbito deste trabalho.

Numa fase inicial, as patologias associadas às pontes térmicas com o sistema tradicional, foram agravadas pelo facto de a aplicação prática dos princípios do RCCTE (Decreto - Lei nº40/1990) se ter limitado à colocação de um isolante térmico na caixa de ar da zona corrente, sem contudo ser realizada qualquer correcção térmica nas zonas com menores resistências térmicas. Esta tendência aumentou significativamente a discrepância entre as resistências térmicas dos vários constituintes da envolvente e até agravou o fenómeno de ponte térmica.

O regulamento RCCTE (Decreto - Lei nº40/1990) apresentava um factor de majoração das perdas térmicas pela envolvente exterior dos edifícios com vista a contabilizar o acréscimo de perda térmica pelas pontes térmicas da envolvente. Este factor, denominado de factor de concentração de perdas térmicas, era utilizado aquando da aplicação do regulamento em fase do tipo de tratamento dado a estas zonas. Para fazer face aos valores desejáveis do factor de concentração de perdas ($f_c = 1,3$), o RCCTE (Decreto - Lei nº40/1990) faz referência às chamadas correcções de ponte térmica com o objectivo de atingir este valor. O RCCTE (Decreto - Lei nº40/1990) denomina de correcção simples a introdução de uma resistência térmica adicional de $0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$ para a zona de ponte térmica e admite que a adopção de uma forra com tijolo furado, com espessura de 3cm, a envolver os elementos estruturais de betão armado, assegura essa resistência. E denomina de correcção dupla uma resistência

adicional de $0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$, admitindo uma forra de tijolo furado de 7 cm (figura 3.5). Na figura 3.4 apresentam-se tipos de correção térmica na zona de ligação entre parede exterior e laje ou viga de piso intermédio com elementos cerâmicos.

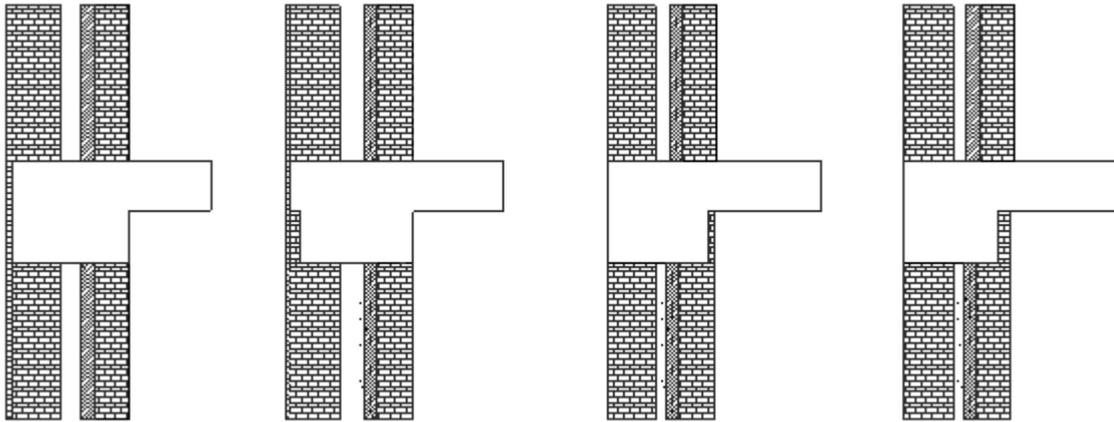


Figura 3.4 - Tipos de correção térmica: Correção simples pelo exterior; correção simples pelo exterior no topo da laje e correção dupla pelo interior no talão de viga; correção simples e dupla pelo interior no talão de viga (Pina dos Santos, 2007)

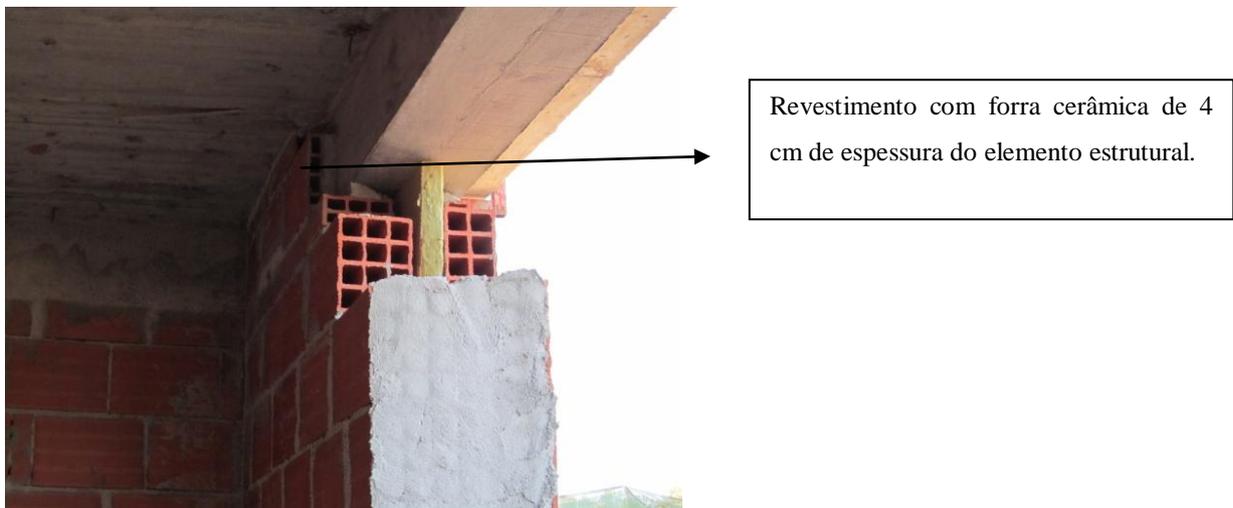


Figura 3.5 - Vista sobre uma correção térmica simples de um elemento estrutural pelo interior

Com a entrada em vigor do novo RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) foram estabelecidas novas regras para controlar as trocas térmicas induzidas pelas heterogeneidades que constituem a envolvente dos edifícios, em consequência das inúmeras patologias que foram aparecendo nos edifícios portugueses. O novo regulamento impõe um valor máximo para o coeficiente de transmissão térmica nas zonas de pontes térmicas, nos moldes apresentados no sub - capítulo 2.3.2 deste trabalho.

Nesta matéria apenas tem interesse analisar as situações onde os critérios de dispensa de verificação do RCCTE em zona corrente são passíveis de serem cumpridos - paredes duplas com isolamento térmico e caixa de ar ocupar o espaço compreendido entre dois panos de alvenaria. Tendo

em conta que a solução construtiva de paredes simples com isolamento térmico pelo exterior permite a eliminação de pontes térmicas.

Hoje em dia, como se pode ver nos relatórios de obra colocados em anexo, no caso das paredes duplas realiza-se a correcção térmica das heterogeneidades que constituem a envolvente exterior dos edifícios com a colocação do isolamento térmico pelo exterior ou pelo interior.

No caso das paredes duplas, a correcção térmica dos elementos estruturais feita pelo exterior deve ter uma execução cuidada: ao nível da aderência do revestimento exterior da parede a alguns daqueles produtos; com a própria aderência (ou fixação) destes ao suporte; e com os riscos de fendilhação dos revestimentos, nomeadamente, devido às assimetrias térmicas e físicas (estabilidade dimensional, rigidez) dos suportes (alvenaria, isolante térmico). Para se evitar os movimentos diferenciais de origem térmica entre elementos de natureza diferente, que são responsáveis por fissuração nas zonas de ligação entre eles (juntas entre paredes e vigas/lajes), a correcção térmica deve ser executada com o material da mesma natureza do utilizado na construção das paredes e é importante que haja continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e os elementos estruturais. Este último aspecto vai ser abordado a seguir e analisar-se-á os casos de pontes térmicas onde terá mais influência.

A correcção térmica também pode ser efectuada pelo interior. Este tipo de solução é no entanto, menos eficaz que a correcção feita pelo exterior, dado que o trajecto do fluxo de calor em direcção ao topo da laje (ponte térmica linear) não se consegue interromper com isolante térmico. Uma das vantagens desta segunda solução é o facto de estar isenta da exposição dos agentes atmosféricos exteriores, além de que este tipo de solução construtiva possui mais opções de escolha do isolamento térmico adoptado e da respectiva solução de protecção e de revestimento. Diversos aspectos devem ser cuidadosamente considerados na adopção deste tipo de solução: a aderência do isolante ao suporte e a aderência dos rebocos, estuques e painéis de revestimento ao isolante; a compatibilização com aspectos arquitectónicos (ressaltos), a qual requer soluções com uma espessura total mínima ou o aumento da espessura da parede na zona corrente; a necessidade de adopção de soluções adequadas para tratamento dos pontos singulares (tratamento das zonas de transição, ligação a outros elementos, zonas das vergas dos vãos).

Nesta opção recorda-se o interesse, ou mesmo a necessidade, de assegurar a protecção térmica (pelo exterior) do elemento estrutural, o qual, devido à localização interior do isolamento térmico e face a uma eventual exposição solar particularmente desfavorável, pode estar sujeito a amplitudes e deformações térmicas diárias e anuais significativas.

Em termos práticos, as duas soluções de correcção térmica, exterior ou interior, atrás referidas criam uma zona de transição potencialmente problemática e apresentam o problema da falta de continuidade do isolamento térmico da parede em superfície corrente e da ponte térmica plana. Esta situação cria uma zona de ponte térmica linear que em determinadas condições pode estar na origem da ocorrência de patologias. Este é aliás um dos problemas mais frequentes na construção corrente

como se pode ver no capítulo seguinte. Para resolver estes problemas, e no sentido de simplificar a solução global de parede, uma opção que se coloca é adoptar a concepção de parede dupla de modo a que pelo menos um dos panos de alvenaria realize, em conjunto com um isolante térmico, a correcção das pontes térmicas planas (figura 3.6).

As soluções de pano exterior corrigindo a ponte térmica formada pela ligação pilar/parede ou viga conduzem a soluções construtivas de suporte deste pano mais onerosas, de execução mais exigente, e não isentas de perdas lineares significativas.

A segunda opção consiste em atribuir ao pano de alvenaria interior a função de assegurar a correcção da ponte térmica plana, mantendo-se o topo da laje sem correcção térmica (figura 3.7). Neste caso as limitações atrás referidas são eliminadas. Ambas as soluções conduzem a um aumento da espessura habitual da parede dupla, a qual pode atingir valores da ordem de 0,40 m a 0,45 m. Deste facto resulta uma maior ocupação da área bruta disponível e a consequente necessidade de se adaptarem soluções de guarnição de vãos.

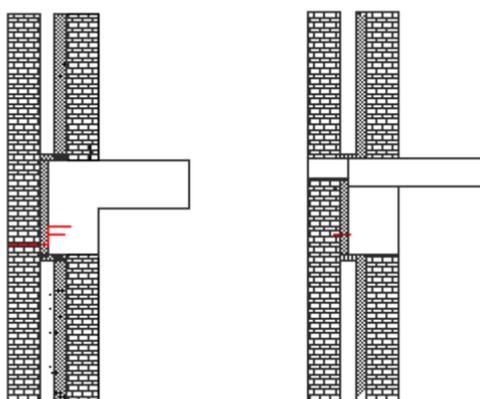


Figura 3.6 - Exemplos esquemáticos de soluções de pano exterior, corrigindo em conjunto com o isolante térmico, as pontes térmicas planas (Pina dos Santos, 2007)

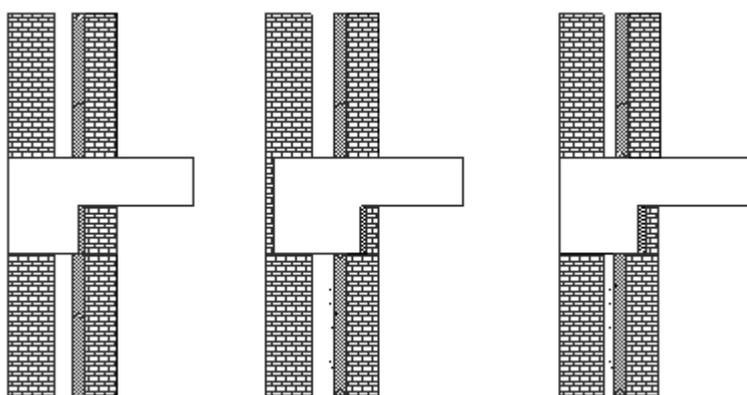


Figura 3.7 - Exemplos esquemáticos de soluções de pano interior, corrigindo em conjunto com o isolante térmico, as pontes térmicas planas (Pina dos Santos, 2007)

3.3 Análise das soluções construtivas usadas correntemente para a correcção das pontes térmicas

Neste capítulo é feito um levantamento das soluções construtivas mais utilizadas para a envolvente opaca exterior. Pretende-se dar uma panorâmica do actual sistema construtivo utilizado na realização de fachadas em Portugal, dando especial ênfase ao modo como são realizadas, na generalidade, as ligações entre elementos constituintes da fachada. Faz-se uma abordagem das soluções construtivas adoptadas para os diferentes casos de pontes térmicas presentes nos relatórios de obra colocados em anexo e apresentam-se os respectivos pormenores construtivos. Realizam-se também, os pormenores construtivos destas soluções com as devidas correcções. Posteriormente no capítulo 3.4, faz-se uma análise comparativa, tendo em conta diferentes parâmetros térmicos.

Como não foi possível visualizar todas as situações de ponte térmica, serão por isso analisadas apenas as pontes térmicas que em obra se conseguiram visualizar. Por isso, o estudo incidirá apenas sobre os seguintes casos de pontes térmicas:

- a) Parede exterior/cobertura inclinada ou plana;
- b) Parede exterior/laje de piso intermédio;
- c) Pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior;
- d) Pilar saliente e inserido entre duas paredes verticais ortogonais.

Cada caso de ponte térmica é representado esquematicamente utilizando dois pormenores construtivos, um que ilustra a solução observada em obra e outra, que ilustra a solução com as devidas correcções. Assim, o pormenor construtivo designado I nas figuras, diz respeito à situação observada em obra. O pormenor construtivo II ilustra a situação da mesma ponte térmica com as devidas correcções. É de salientar que as diferenças que mais se observam são a falta de continuidade do isolamento térmico, representando a falta de qualidade das soluções face às recomendações existentes.

Caso a) Ligação de parede exterior com cobertura inclinada/plana

No âmbito da visita realizada à obra situada na Quinta do Conde, cujo o relatório de obra é disponibilizado em anexo, foi possível observar uma situação de ligação de fachada com cobertura inclinada. A análise cuidada da foto que ilustra esta situação, leva a uma identificação de falta de regras de qualidade da solução construtiva adoptada. Verifica-se que a parede exterior desta habitação é de pano duplo com isolamento térmico a ocupar a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos de alvenaria de 11 cm. A correcção do elemento estrutural da viga é feita pelo interior com isolamento térmico do mesmo material, revestido com tijolo cerâmico de espessura de 4 a 7 cm (figura 3.8). O problema nesta situação é a zona de ligação da fachada com o elemento estrutural, que não apresenta isolamento térmico, levando a uma potencial zona de acréscimo de perdas de calor lineares.

Na figura 3.8 apresenta-se um pormenor construtivo desta solução construtiva, de acordo com as regras de qualidade, face às recomendações existentes.

No âmbito da visita realizada à obra situada na zona de Almada, cujo o relatório de obra é disponibilizado em anexo, foi possível observar outra situação de ligação de fachada com cobertura inclinada. A análise cuidada da foto que ilustra esta situação, leva a uma identificação de falta de regras de qualidade da solução construtiva adoptada. Verifica-se que se adoptou a solução construtiva de parede dupla para a fachada, com o isolamento térmico a ocupar parcialidade do espaço de ar compreendido entre os dois panos de alvenaria de 11 cm (figura 3.9). A correcção do elemento estrutural da viga é feita pelo exterior com isolamento térmico do mesmo material. O problema nesta situação é a zona de ligação da fachada com o elemento estrutural, que não apresenta isolamento térmico, levando a uma potencial zona de acréscimo de perdas de calor lineares.

Na figura 3.9 apresenta-se um pormenor construtivo desta solução construtiva de acordo com as recomendações presentes em documentos do LNEC e da Comunidade Científica Europeia.

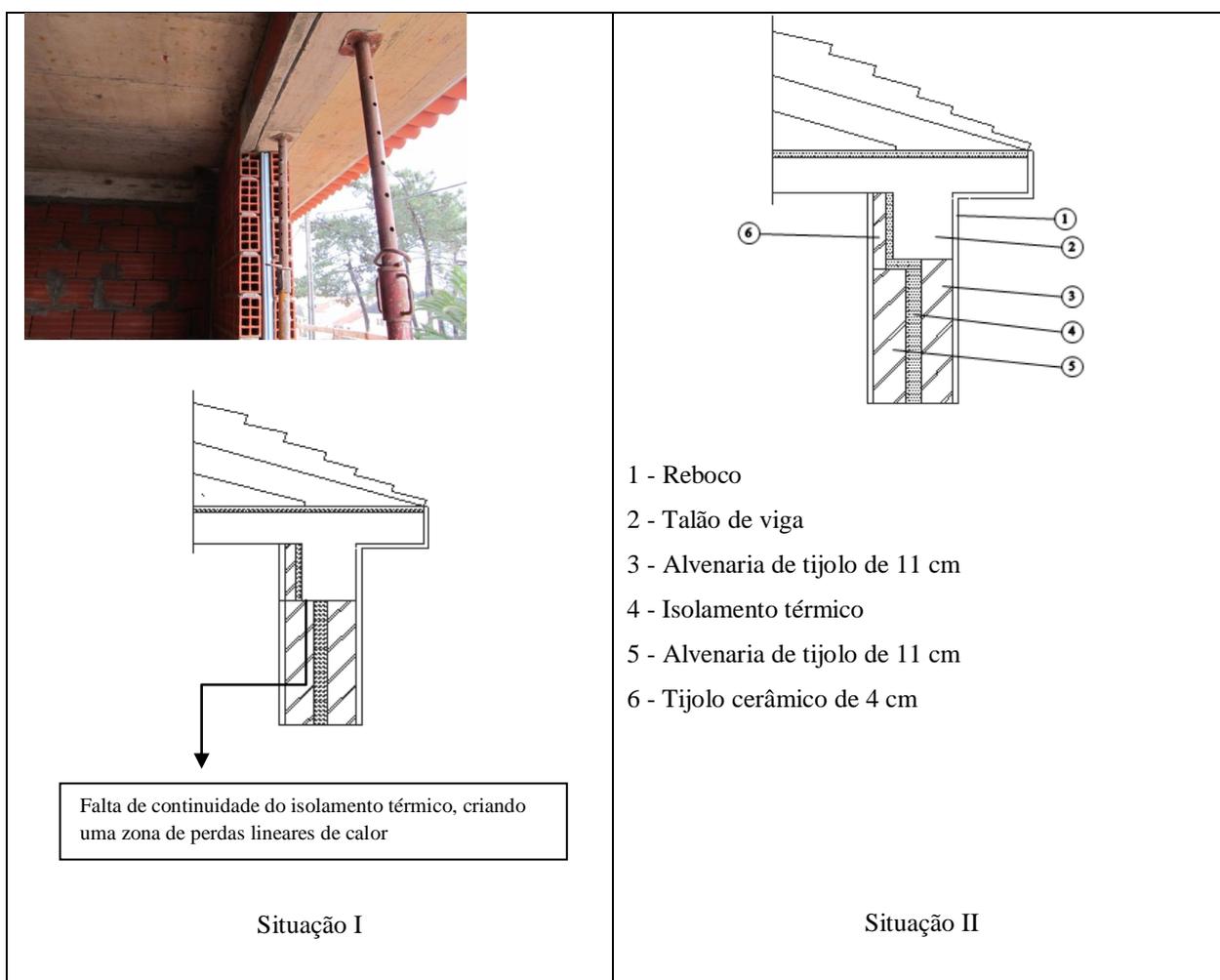


Figura 3.8 - Caso a) identificado no relatório de obra 1

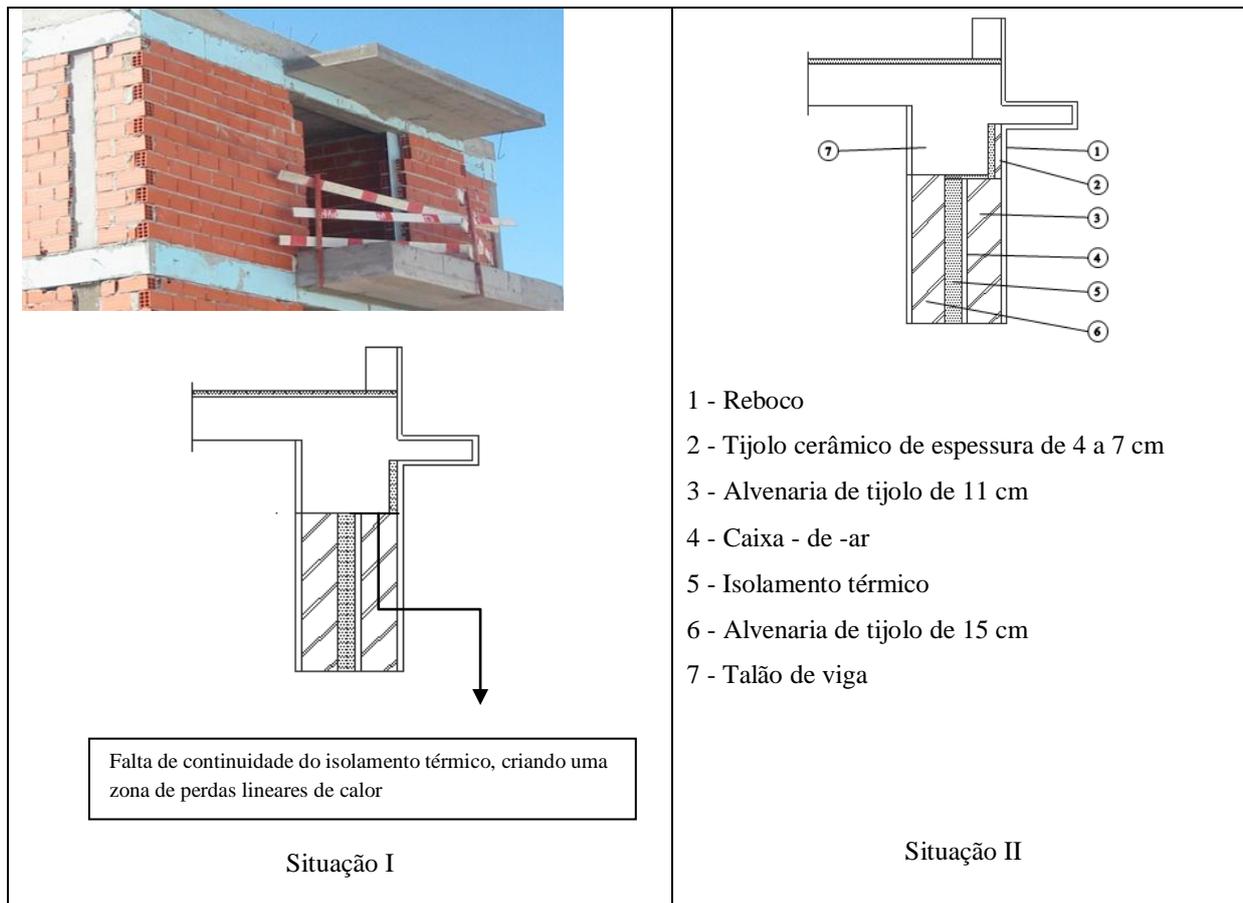


Figura 3.9 - Caso a) identificado no relatório de obra 11

Caso b) Ligação da parede exterior com a laje de piso intermédio

No âmbito da visita realizada à obra situada no Montijo, cujo o relatório de obra é disponibilizado em anexo, foi possível observar uma situação de ligação de fachada com laje de piso intermédio. A análise cuidada da foto que ilustra esta situação, leva a uma identificação de falta de regras de qualidade da solução construtiva adoptada. Verifica-se que a parede exterior desta habitação é de pano duplo com isolamento térmico a ocupar a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos de alvenaria de 11 cm. A correcção do elemento estrutural da viga é feita pelo interior com isolamento térmico do mesmo material, revestido com tijolo cerâmico de espessura de 4 a 7 cm (figura 3.10). O problema nesta situação é a zona de ligação da fachada com o elemento estrutural, que não apresenta isolamento térmico, levando a uma potencial zona de acréscimo de perdas de calor lineares.

Na figura 3.10 apresenta-se um pormenor construtivo desta solução construtiva de acordo com as regras de qualidade, face às recomendações existentes.

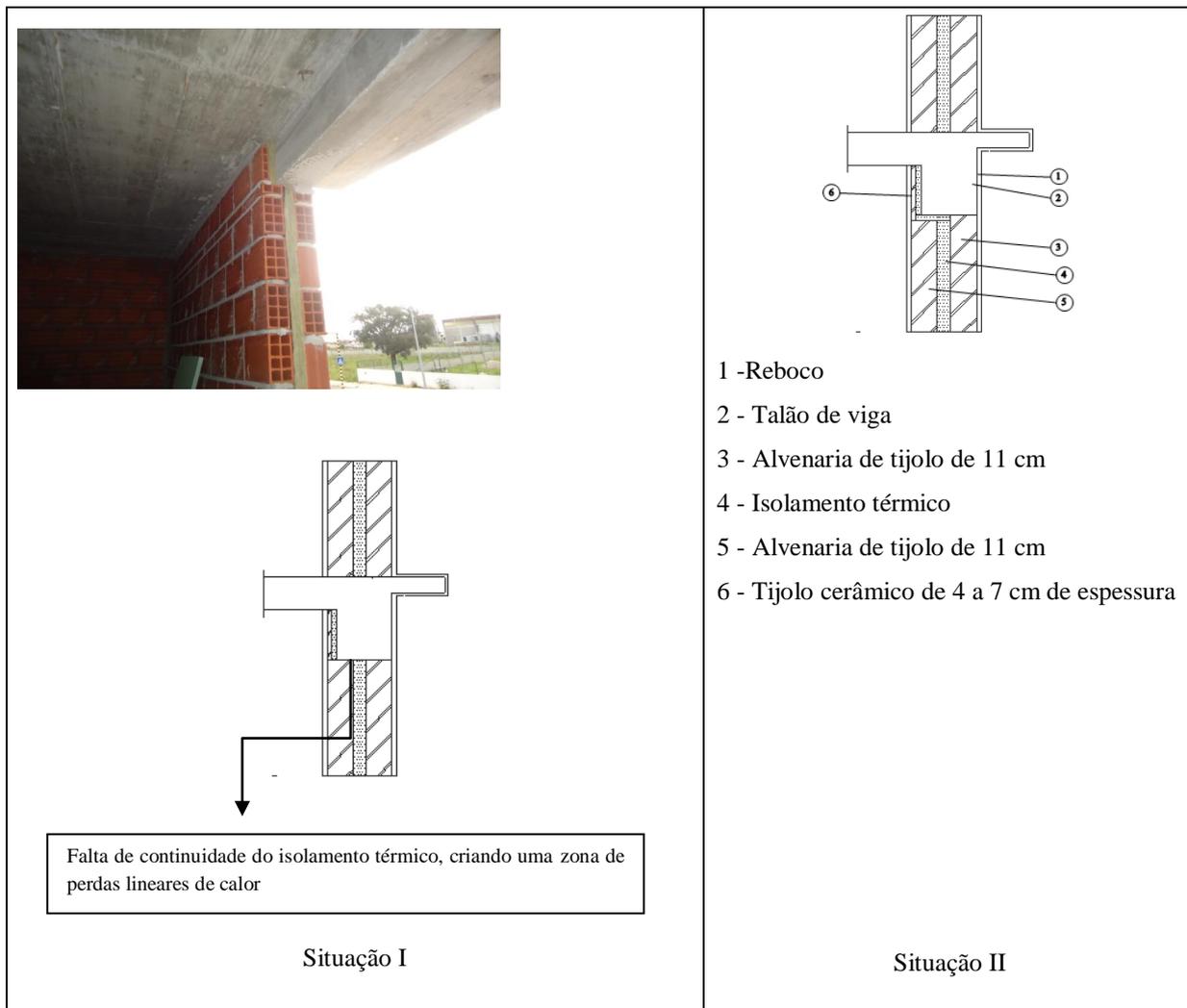


Figura 3.10 - Caso b) identificado no relatório de obra 8

No âmbito da visita realizada à obra situada na zona de Almada, cujo o relatório de obra é disponibilizado em anexo, foi possível observar outra situação de ligação de fachada com laje de piso intermédio. A análise cuidada da foto que ilustra esta situação, leva a uma identificação de falta de regras de qualidade da solução construtiva adoptada. Verifica-se que se adoptou a solução construtiva de parede dupla para a fachada, com o isolamento térmico a ocupar parcialidade do espaço de ar compreendido entre os dois panos de alvenaria, um de 11 cm e outro de 15 cm (figura 3.11). O problema que existe nesta solução é a disposição errada dos elementos que a constituem. No elemento estrutural viga não é a correcção térmica adequada, de acordo com a regulamentação térmica em vigor.

Na figura 3.11 apresenta-se um pormenor construtivo desta solução construtiva de acordo com as regras de qualidade, face às recomendações existentes

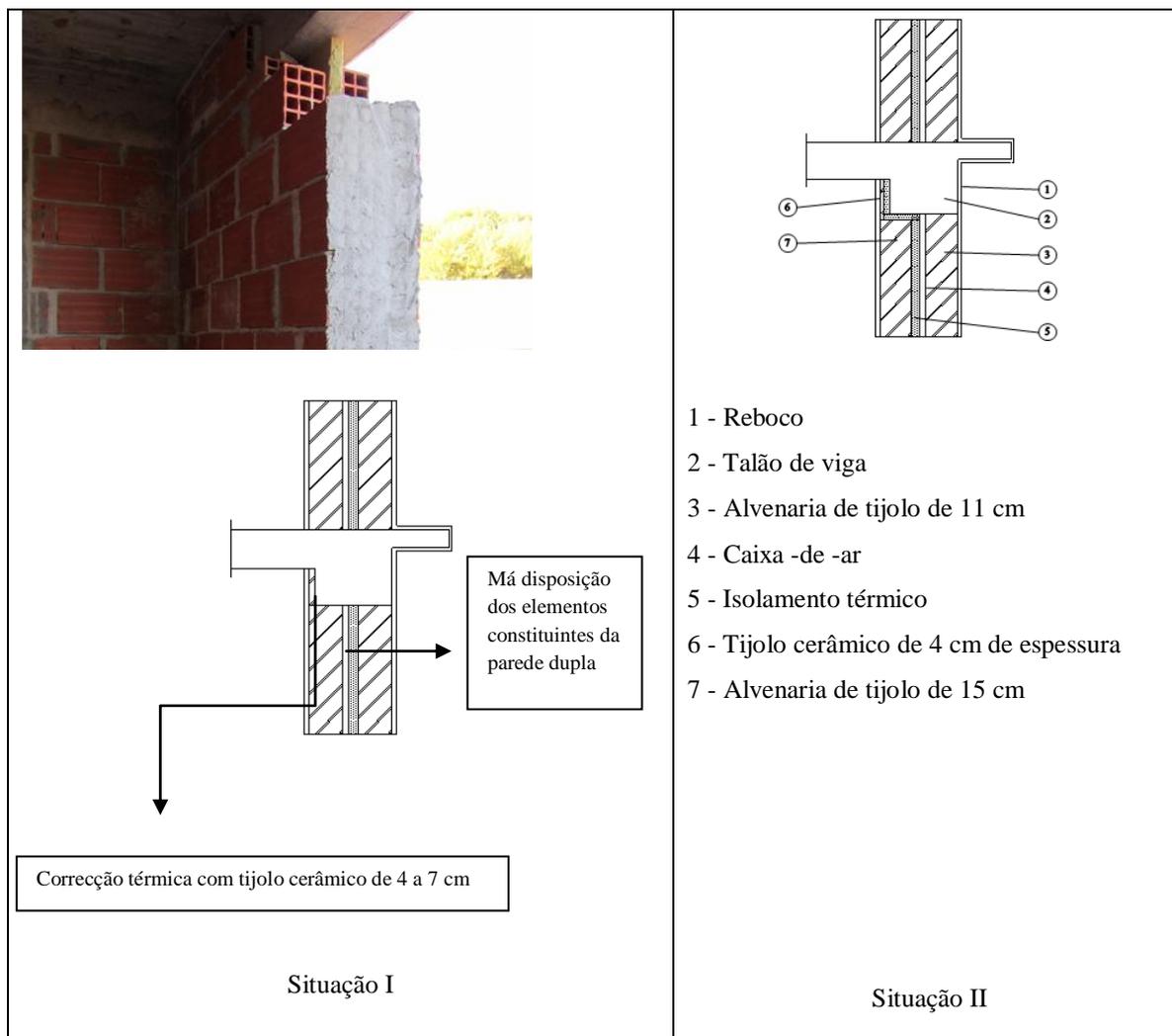


Figura 3.11 - Caso b) identificado no relatório de obra 4

Caso c) Pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior

No âmbito da visita realizada à obra situada na Quinta do Conde, cujo o relatório de obra é disponibilizado em anexo, foi possível observar uma situação de pilar inserido na fachada. A análise cuidada da foto que ilustra esta situação, leva a uma identificação de falta de regras de qualidade da solução construtiva adoptada. Verifica-se que a parede exterior desta habitação é de pano duplo com isolamento térmico a ocupar a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos de alvenaria de 11 cm. A correcção do elemento estrutural do pilar é feita pelo interior com isolamento térmico do mesmo material, revestido com tijolo cerâmico de espessura de 4 a 7 cm (figura 3.12). O problema nesta situação é a zona de ligação da fachada com o elemento estrutural, que não apresenta isolamento térmico, levando a uma potencial zona de acréscimo de perdas de calor lineares.

Na figura 3.12 apresenta-se um pormenor construtivo desta solução construtiva de acordo com as regras de qualidade, face às recomendações existentes.

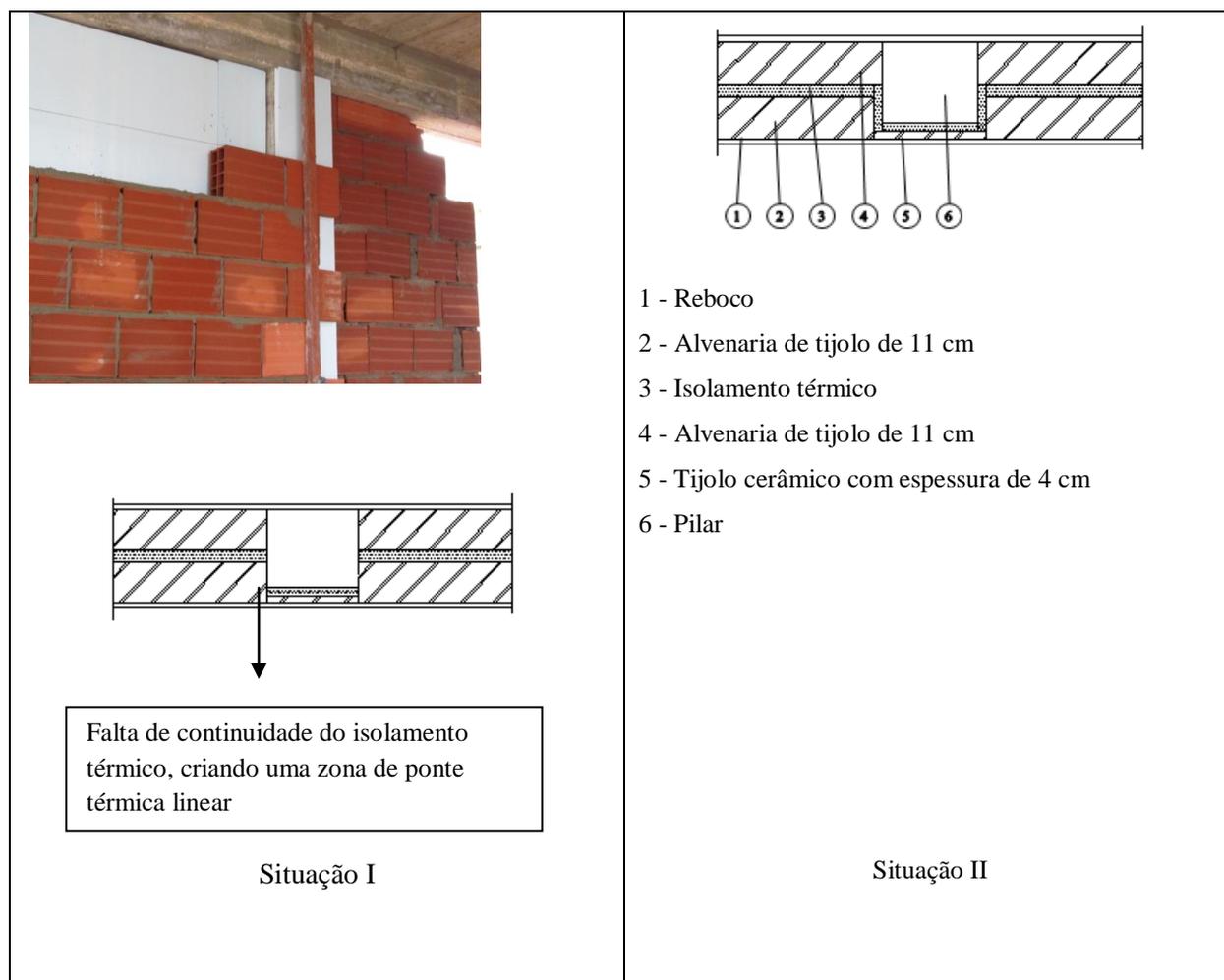


Figura 3.12 - Caso c) identificado no relatório de obra 1

Caso d) Pilar saliente e inserido entre duas paredes verticais ortogonais

No âmbito da visita realizada à obra situada em Oeiras, cujo o relatório de obra é disponibilizado em anexo, foi possível observar uma situação de ligação entre duas paredes exteriores com o prolongamento do pilar na direcção das duas paredes (figura 3.13). A análise cuidada da foto que ilustra esta situação, leva a uma identificação do cumprimento das regras de qualidade da solução adoptada. Verifica-se que a parede exterior desta habitação é de pano duplo com isolamento térmico a ocupar a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos de alvenaria de 11 cm. A correcção do elemento estrutural do pilar é feita pelo interior com isolamento térmico, tendo este continuidade na zona de transição entre a parede exterior e o elemento estrutural viga (figura 3.13).

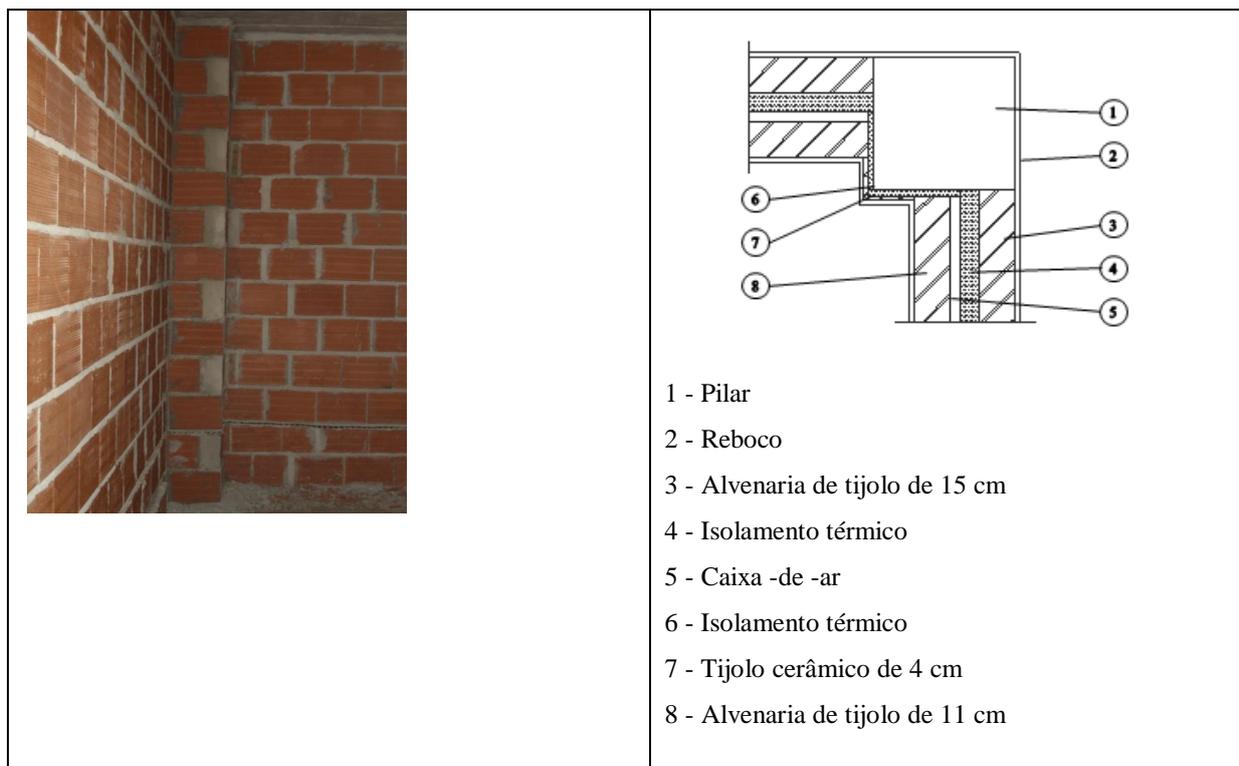


Figura 3.13 - Caso d) identificado no relatório de obra 10

Tendo em conta as visitas realizadas às obras, pode-se dizer que existe negligência na abordagem construtiva feita às pontes térmicas, de acordo com as regras de qualidade presentes em vários documentos da comunidade científica e da regulamentação em vigor. Em muitos casos de pontes térmicas identificados nas obras verificaram-se erros construtivos. Um dos problemas identificados tem a ver com a falta de cumprimento dos requisitos presentes no RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006). A maior parte dos problemas observados tem a ver com a falta de continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural, aspecto já referido anteriormente.

Os pormenores construtivos apresentam as soluções para os diferentes casos de ponte térmica observados em obra com as correcções, tendo em conta os dois aspectos referidos anteriormente. Nestas soluções construtivas podem existir problemas relacionados com outros factores, que não têm directamente a ver com as questões relacionadas com a performance térmica dos edifícios. Assim, as soluções apresentadas podem apresentar problemas relacionados com a estabilidade dos panos de alvenaria. No primeiro caso e no terceiro caso de ponte térmica apresentados, o pano interior, se não estiver ligado aos pilares laterais, apresenta falta de estabilidade face a solicitações horizontais. Assim como, no segundo caso de ponte térmica apresentado, o pano exterior apresenta apoio insuficiente da viga.

No quadro 3.1 apresenta-se um resumo com as soluções construtivas observadas em obra para as diferentes situações de ponte térmica. Neste quadro apresentam-se o tipo de correcção térmica, o respectivo material utilizado e material utilizado no revestimento final dos elementos estruturais.

Quadro 3.1 - Resumo da abordagem construtiva feita às pontes térmicas, tendo em conta os casos identificados nas visitas às obras

Casos de ponte térmica		Correcção térmica do elemento estrutural	Material utilizado	Problemas identificados
Ligação de parede exterior com cobertura inclinada/plana	Caso a) relatório de obra 1	Colocação de uma camada de isolamento térmico pelo interior	Placa de XPS com 2 cm de espessura	Não existe continuidade dos isolamento térmico
	Caso a) relatório de obra 10	Colocação de uma camada de isolamento térmico exterior	Placa de XPS com 3 cm de espessura	Não existe continuidade do isolamento térmico
Ligação de parede exterior com laje de piso intermédio	Caso b) relatório de obra 7	Colocação de uma camada de isolamento térmico pelo interior	Placa de Lã de rocha com 2 cm de espessura	Não existe continuidade do isolamento térmico
	Caso b) relatório de obra 4	Não existe	-	Incumprimento das exigências regulamentares do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006)
Pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior	Caso c) relatório de obra 1	Colocação de uma camada de isolamento térmico interior	Placa de XPS de 3 cm de espessura	Não existe continuidade do isolamento térmico
Pilar saliente e inserido entre duas paredes verticais ortogonais	Caso d) relatório de obra 9	Colocação de uma camada de isolamento térmico pelo interior	Placa de Lã de rocha de 3 cm de espessura	Não existem problemas de acordo com os critérios de qualidade adoptados

3.3.1 Análise térmica comparativa das pontes térmicas através da utilização do programa BISCO

3.3.1.1 Descrição da metodologia adoptada

Neste subcapítulo efectua-se a análise numérica das pontes térmicas identificadas nas visitas realizadas às obras, e descritas na secção anterior. Para este efeito, é utilizado o programa de simulação numérica BISCO. Numa primeira abordagem apresentam-se para cada caso de ponte térmica, as distribuições do fluxo de calor e da temperatura para as duas situações construtivas, identificadas anteriormente. De seguida são apresentados num quadro os valores dos seguintes parâmetros térmicos:

- Coeficiente de transmissão térmica linear ψ obtidos do programa BISCO, da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 e da tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) ;

- Factor de temperatura superficial f_{Rsi} .

Após determinar os valores dos parâmetros anteriormente apresentados, são realizadas as respectivas análises comparativas, efectuada entre os diferentes valores de coeficiente de transmissão térmica linear do programa BISCO e de factor de temperatura superficial para as duas situações construtivas.

3.3.1.2 Determinação dos diferentes parâmetros térmicos para as diferentes situações de pontes térmicas identificadas

Caso a) Ligação de parede exterior com cobertura inclinada/plana

Nas figuras 3.14 e 3.15 apresentam-se as distribuições do fluxo de calor e da temperatura para o primeiro exemplo que apresenta uma zona de ligação de parede exterior com laje de esteira da cobertura inclinada. Analisando as figuras, verifica-se que a situação II apresenta valores de fluxo de calor inferiores aos apresentados para a Situação I. Observa-se que para a primeira situação na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural, existem valores de fluxo de calor mais elevados do que para a segunda situação.

Da observação feita à figura 3.15 pode-se constatar que apesar da distribuição de temperatura apresentar uma configuração muito semelhante entre as duas situações, existem diferenças ao nível da distribuição das temperaturas superficiais interior e exterior.

O quadro 3.2 apresenta os valores de coeficiente de transmissão térmica linear obtidos do programa BISCO, da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 e da tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) para este caso de ponte térmica. Como se pode observar, os valores de ψ coincidem na

situação II. Assim como se pode ver que o valor de ψ obtido do programa de simulação numérica BISCO para a situação I, é superior ao valor de ψ para a situação II.

Em relação ao parâmetro indicador do risco de ocorrência de condensação, o factor de temperatura superficial, não existem diferenças entre os valores de factor de temperatura superficial f_{Rsi} para as duas situações.

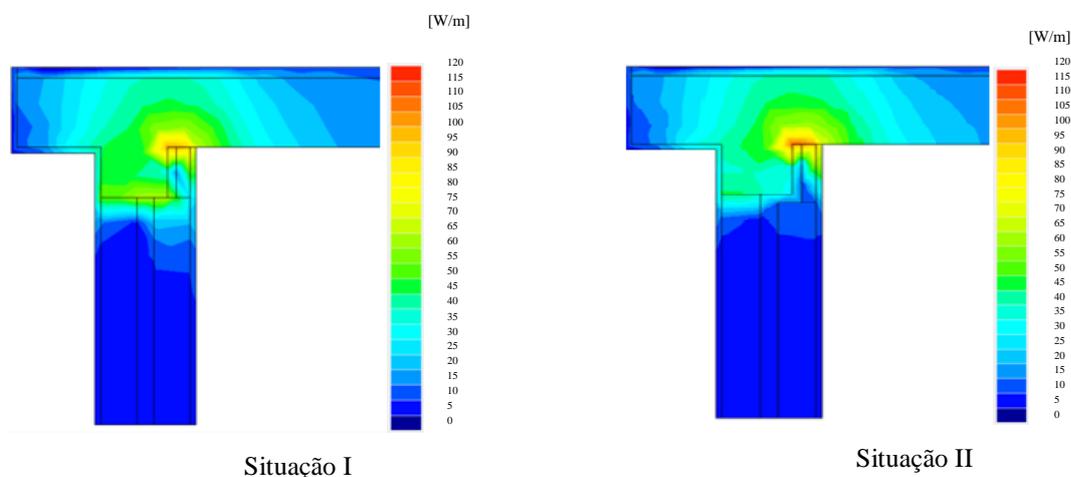


Figura 3.14 - Distribuição do fluxo de calor na zona de ligação de parede exterior com laje de esteira de cobertura

Nas figuras 3.16 e 3.17 apresentam-se as distribuições do fluxo de calor e da temperatura para o segundo exemplo que apresenta uma zona de ligação de parede exterior com cobertura. Analisando as figuras, verifica-se que a situação II apresenta valores de fluxo de calor inferiores aos apresentados para a situação I. Pode observar-se que na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural, existem valores de fluxo de calor mais elevados para a primeira situação.

Da observação feita à figura 3.17, pode-se constatar que apesar da distribuição de temperatura apresentar uma configuração muito semelhante entre as duas situações, existem diferenças ao nível da distribuição das temperaturas superficiais interior e exterior.

O quadro 3.3 apresenta os valores de coeficiente de transmissão térmica linear obtidos do programa BISCO, da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 e da tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) para este caso de ponte térmica. Como se pode observar, os valores de ψ obtidos do programa BISCO e da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 encontram-se muito próximos um do outro. Já a tabela IV.3 do RCCTE (Decreto -Lei nº80/20067) apresenta um valor mais conservativo em relação aos valores anteriores. Assim como se pode observar que o valor de ψ obtido do programa de simulação numérica BISCO para a situação I, é superior ao valor de ψ para a situação II.

Em relação ao parâmetro indicador do risco de ocorrência de condensação, o factor de temperatura superficial é ligeiramente superior na situação II.

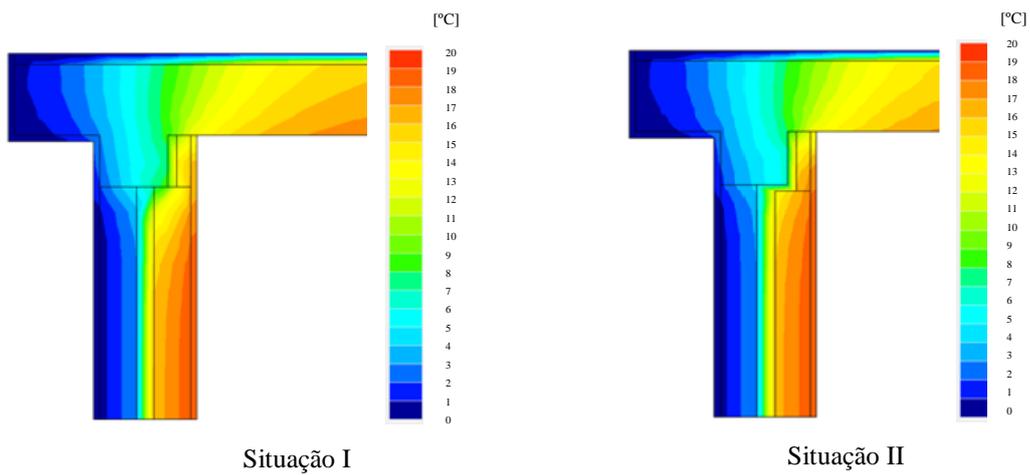


Figura 3.15 - Distribuição da temperatura na zona de ligação de parede exterior com cobertura

Quadro 3.2 - Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com a laje de esteira de cobertura inclinada

	ψ (BISCO) [W/m.°C]	ψ (ISO14683) [W/m.°C]	ψ (RCCTE) [W/m.°C]	Factor de temperatura superficial f_{Rsi}
Situação I	0,86	0,75	0,75	0,64
Situação II	0,75	0,75	0,75	0,64

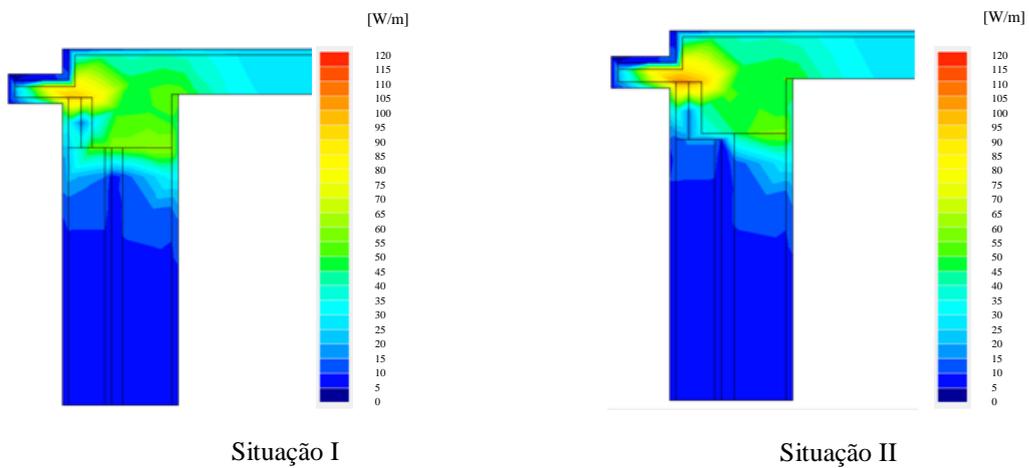


Figura 3.16 - Distribuição do fluxo de calor na zona de ligação de parede exterior com cobertura plana

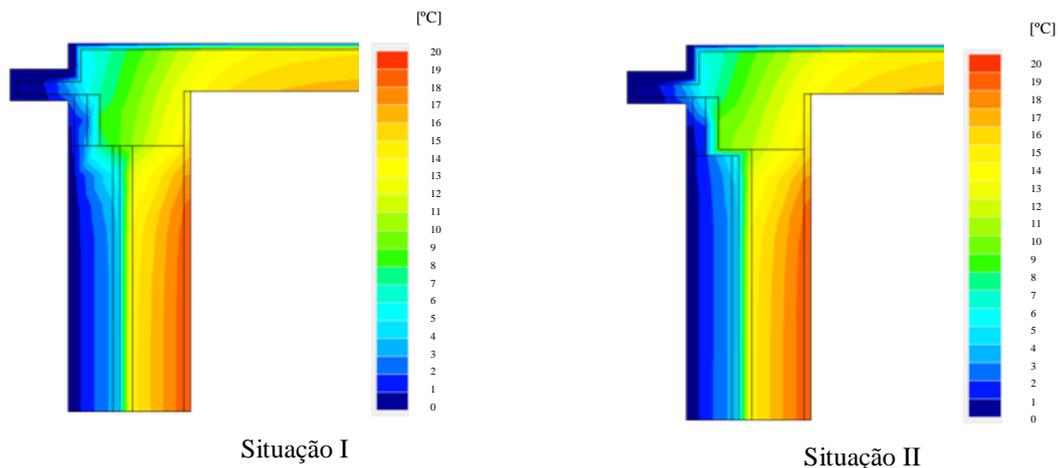


Figura 3.17 - Distribuição da temperatura na zona de ligação de parede exterior com cobertura plana

Quadro 3.3 Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com cobertura plana

	ψ (BISCO) [W/m.°C]	ψ (ISO 14683) [W/m.°C]	ψ (RCCTE) [W/m.°C]	Factor de temperatura superficial f_{Rsi}
Situação I	0,63	0,60	0,75	0,62
Situação II	0,58	0,60	0,75	0,68

b) Ligação da fachada com laje de piso intermédio

Nas figuras 3.18 e 3.19 apresentam-se graficamente a distribuição do fluxo de calor e a distribuição da temperatura para o primeiro exemplo representativo de uma zona de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio. Analisando as figuras, verifica-se que a situação II apresenta valores de fluxo de calor ligeiramente inferiores aos apresentados para a situação I. Pode observar-se que na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural, existem valores de fluxo de calor mais elevados para a primeira situação.

Da observação feita à figura 3.19 pode-se constatar que a distribuição de temperatura apresenta uma configuração muito semelhante entre as duas situações, assim como existem diferenças mínimas ao nível da distribuição das temperaturas superficiais interior e exterior.

O quadro 3.4 apresenta os valores de coeficiente de transmissão térmica linear obtidos do programa BISCO, da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 e da tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006). Como se pode observar, os valores de ψ obtidos do programa BISCO e da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 encontram-se muito próximos um do outro, principalmente na primeira situação. Já a tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/20067) apresenta um valor menos conservativo em relação aos valores anteriores. Assim como se pode verificar que o valor de ψ obtido

do programa de simulação numérica BISCO para a situação I, é superior ao valor de ψ para a situação II.

Em relação ao parâmetro indicador do risco de ocorrência de condensação, o factor de temperatura superficial, não existem diferenças entre os valores de factor de temperatura superficial f_{Rsi} para as duas situações.

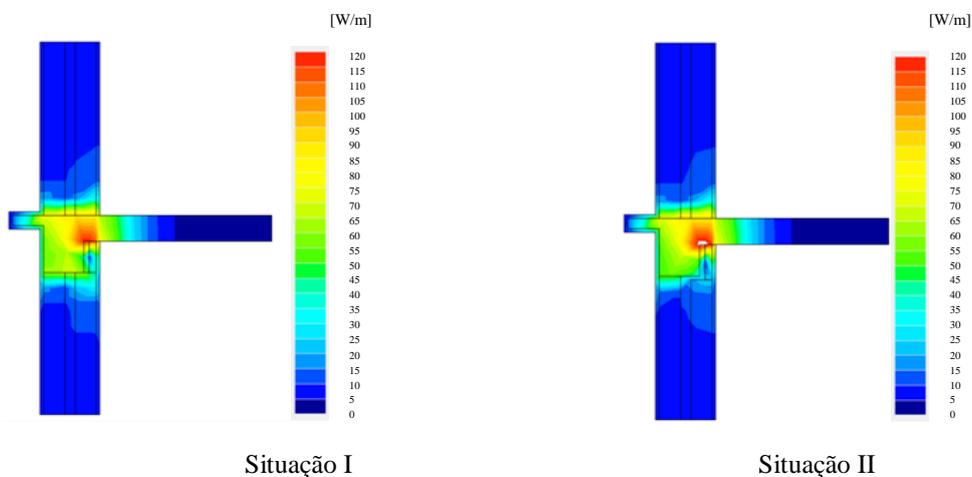


Figura 3.18 - Distribuição do fluxo de calor e distribuição da temperatura na zona de ligação da fachada com piso de laje intermédia

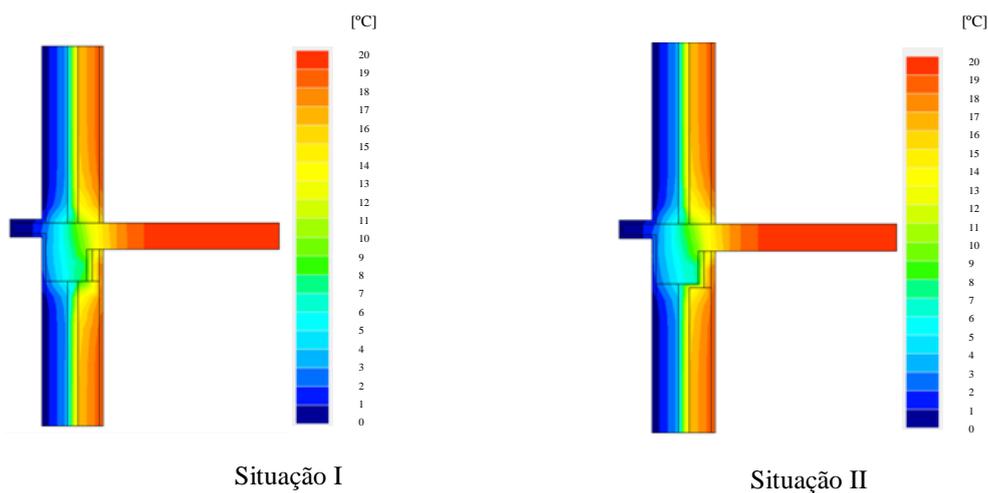


Figura 3.19 - Distribuição da temperatura na zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio

Quadro 3.4 - Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio

	ψ (BISCO) [W/m.°C]	ψ (ISO 14683) [W/m.°C]	Ψ_{inf} e Ψ_{sup} (RCCTE) [W/m.°C]	Factor de temperatura superficial f_{Rsi}
Situação I	0,96	1,05	0,30	0,74
Situação II	0,89	1,05	0,30	0,74

Nas figuras 3.20 e 3.21 apresentam-se graficamente a distribuição do fluxo de calor e a distribuição da temperatura para o segundo exemplo representativo de uma zona de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio. Analisando as figuras, verifica-se que a situação II apresenta valores de fluxo de calor ligeiramente inferiores aos apresentados para a situação I. Pode observar-se que na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural, existem valores de fluxo de calor mais elevados para a primeira situação.

Da observação feita à figura 3.23, pode-se verificar que a distribuição de temperatura apresenta uma configuração muito semelhante entre as duas situações, assim como existem diferenças mínimas ao nível da distribuição das temperaturas superficiais interior e exterior.

O quadro 3.5 apresenta os valores de coeficiente de transmissão térmica linear obtidos do programa BISCO, da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 e da tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006). Como se pode observar, os valores de ψ obtidos do programa BISCO e da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 encontram-se muito próximos um do outro, principalmente na primeira situação. Já a tabela IV.3 do RCCTE (Decreto-Lei nº80/20067) apresenta um valor menos conservativo em relação aos valores anteriores. Assim como, se pode observar que o valor de ψ obtido do programa de simulação numérica BISCO para a situação I, é superior ao valor de ψ para a situação II.

Em relação ao parâmetro indicador do risco de ocorrência de condensação, o factor de temperatura superficial, não existem diferenças entre os valores de factor de temperatura superficial f_{Rsi} para as duas situações.

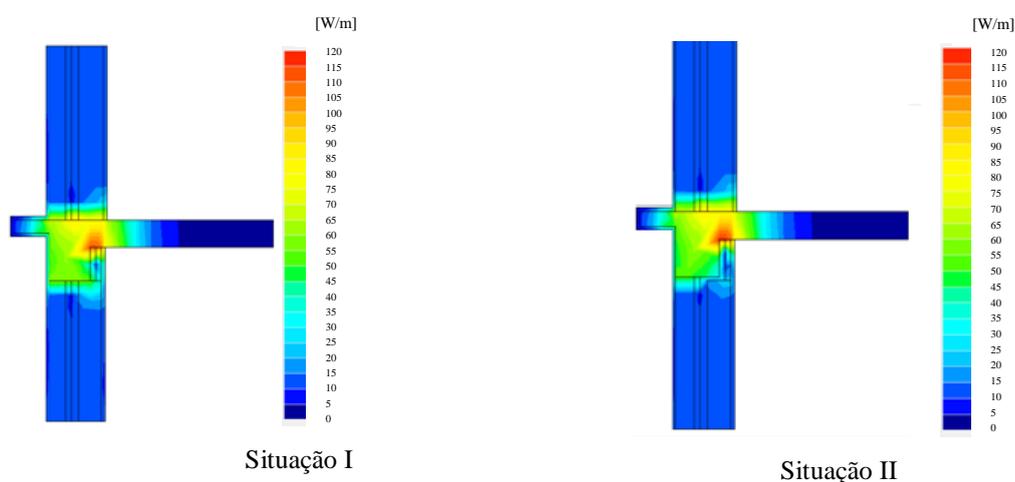


Figura 3.20 - Distribuição do fluxo de calor na zona de ligação da fachada com piso de laje intermédia

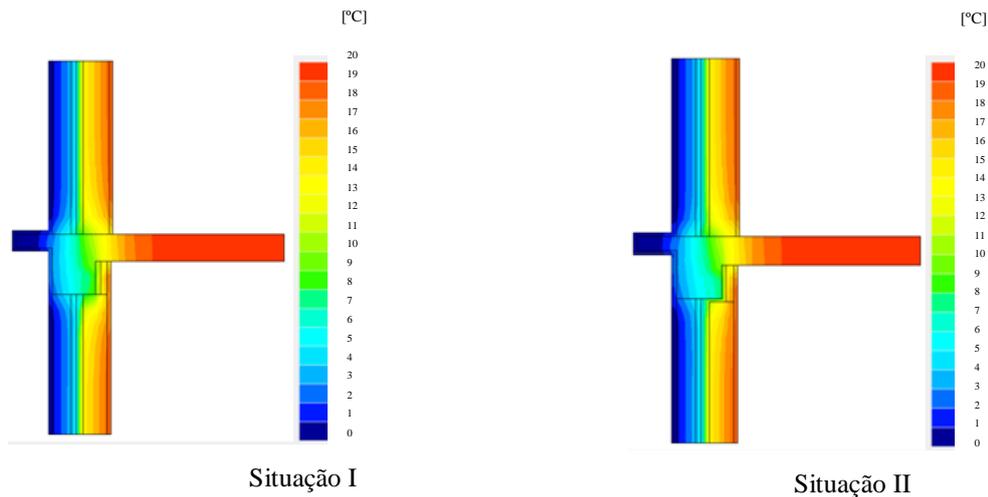


Figura 3.21 - Distribuição da temperatura na zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio

Quadro 3.5 - Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio

	ψ (BISCO) [W/m.°C]	ψ (ISO 14683) [W/m.°C]	Ψ_{inf} e Ψ_{sup} (RCCTE) [W/m.°C]	Factor de temperatura superficial f_{Rsi}
Situação I	0,90	1,05	0,30	0,74
Situação II	0,84	1,05	0,30	0,74

c) Pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior

Nas figuras 3.22 e 3.23 apresentam-se as distribuições do fluxo de calor e da temperatura para o exemplo representativo de uma situação construtiva de pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior. Analisando as figuras, verifica-se que a situação II apresenta valores de fluxo de calor muito inferiores aos apresentados para a situação I. Pode-se observar que para primeira situação na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural, existem valores de fluxo de calor muito mais elevados do que para a segunda situação.

Da observação feita à figura 3.23, pode-se constatar que a distribuição de temperatura apresenta uma configuração muito diferente entre as duas situações. Pode-se observar que a distribuição da temperatura é mais homogénea para a situação II do que para a situação I. Existem também diferenças ao nível da distribuição das temperaturas superficiais interior e exterior.

De forma a obter os valores anteriormente apresentados utilizou-se a ferramenta de simulação numérica BISCO. A tabela IV.3 do RCCTE (Decreto -Lei nº80/2006) não contempla este tipo de ligação construtiva. Já a norma ISO 14683:2007 (E) contempla a situação de pilar inserido na zona da fachada, no entanto não apresenta esta situação com correcção térmica do pilar com isolamento térmico. Como se pode observar do quadro 3.5, os valores de ψ para as duas situações são muito

diferentes. Assim, pode-se observar que o valor de transmissão térmica linear obtido do programa BISCO, é mais elevado na primeira situação.

Em relação ao parâmetro indicador do risco de ocorrência de condensação, o valor do factor de temperatura superficial é mais elevado na situação II do na situação I, apresentando a situação em que existe continuidade do isolamento térmico menor risco para a ocorrência de condensações.

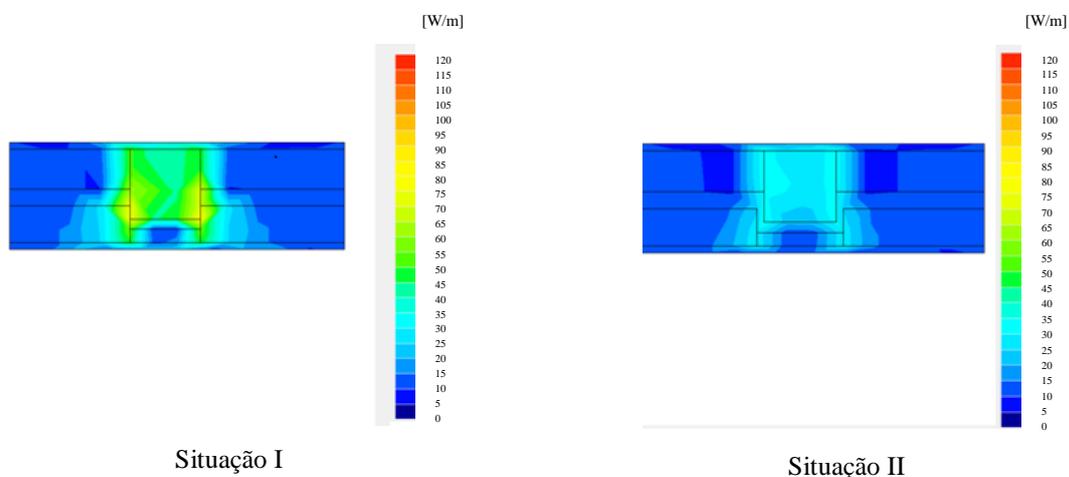


Figura 3.22 - Distribuição do fluxo de calor na zona de transição entre fachada e pilar

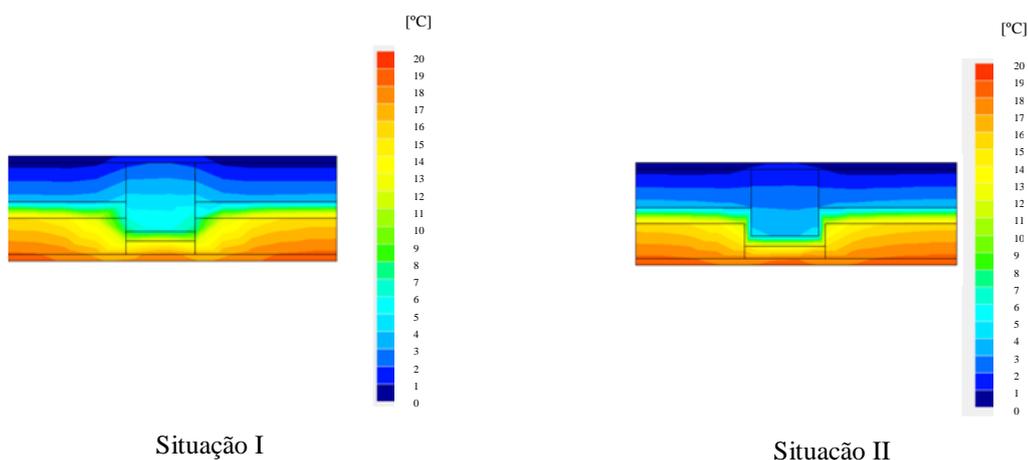


Figura 3.23 - Distribuição da temperatura na zona de transição entre fachada e pilar

Quadro 3.6 - Valor de ψ para a zona de ligação da fachada com laje de piso intermédio

	ψ (BISCO) [W/m.°C]	ψ (ISO 14683) [W/m.°C]	ψ (RCCTE) [W/m.°C]	Factor de temperatura superficial f_{Rsi}
Situação I	0,34	-	-	0,84
Situação II	0,15	-	-	0,90

d) Ligação com pilar saliente e inserido entre duas paredes exteriores ortogonais

Nas figuras 3.24 e 3.25 apresentam-se as distribuições do fluxo de calor e da temperatura para o exemplo representativo de uma zona de ligação com pilar saliente e inserido entre duas paredes verticais. Para este caso de ponte térmica, pode-se ver que o exemplo representativo deste tipo de ligação apresentava as regras de qualidade face as recomendações existentes. Assim, fez-se uma simulação numérica da solução construtiva sem continuidade do isolamento térmico, de forma a obter uma análise comparativa entre as duas situações. Analisando as figuras, verifica-se que a solução com continuidade do isolamento térmico apresenta valores de fluxo de calor muito inferiores aos apresentados pela solução sem continuidade do isolamento térmico. Pode-se observar que para primeira situação na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural, existem valores de fluxo de calor muito mais elevados do que para a segunda situação.

Da observação feita à figura 3.25, pode-se verificar que a distribuição de temperatura apresenta uma configuração muito diferente entre as duas situações. Pode-se observar que a distribuição da temperatura é mais homogénea para a situação em que existe continuidade do isolamento térmico. Existem também, diferenças ao nível da distribuição das temperaturas superficiais interior e exterior.

O quadro 3.7 apresenta os valores de coeficiente de transmissão térmica linear obtidos do programa BISCO, da tabela A.2 da norma EN ISO 14683:2007 e da tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006). Como se pode observar, existem diferenças muito significativas entre os valores de ψ obtidos do programa BISCO, da tabela A.2, da norma EN ISO 14683:2007 e da tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006). Os valores ψ obtidos da norma EN ISO 14683:2007 e da tabela IV.3 do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) são menos conservativos que os valores obtidos do programa BISCO. Assim como, se pode ver que o valor de ψ obtido do programa de simulação numérica BISCO para a situação em que não existe continuidade do isolamento térmico, é o dobro do valor obtido para a solução sem continuidade do isolamento térmico.

Em relação ao parâmetro indicador do risco de ocorrência de condensação, o valor do factor de temperatura superficial é mais elevado na situação em que existe continuidade do isolamento térmico, apresentando esta solução menor risco para a ocorrência de condensações.

A análise realizada às zonas de pontes térmicas através do programa BISCO permitiu verificar que é nas zonas de transição entre elementos construtivos diferentes onde existem maiores valores de taxa de fluxo de calor. Assim, nas zonas das juntas (junções de materiais diferentes, como por exemplo, nas ligações entre alvenaria e os elementos de betão armado como pilares e vigas) é importante a existência da continuidade do isolamento térmico. Com esta solução obtém-se valores mais reduzidos de coeficiente de transmissão térmica linear. Estas diferenças são significativas nas situações de pilar inserido na zona da fachada e na zona de ligação entre duas paredes verticais.

No quadro 3,8 apresentam-se os valores dos parâmetros térmicos analisados para cada caso de ponte térmica, tendo em conta as duas situações construtivas, descritas no sub capítulo anterior.

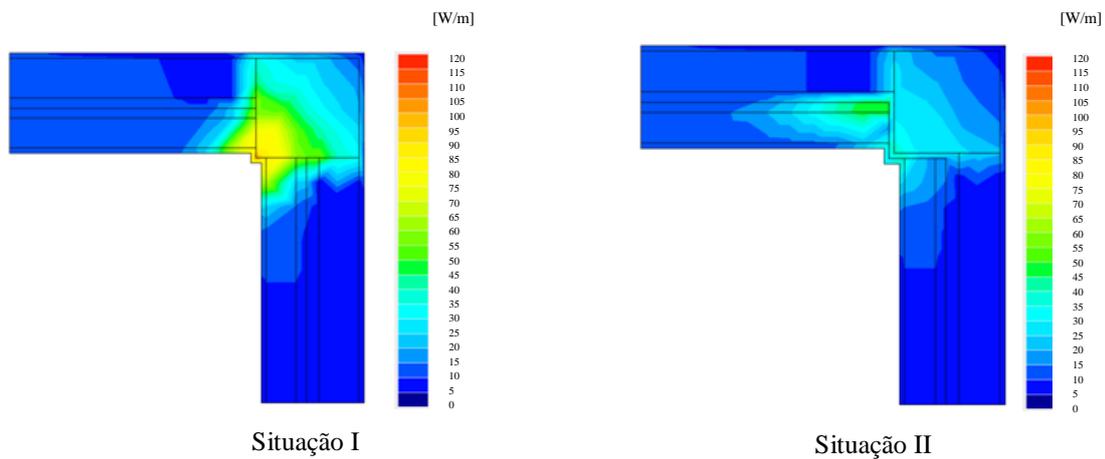


Figura 3.24 - Distribuição do fluxo de calor zona de ligação entre duas paredes verticais

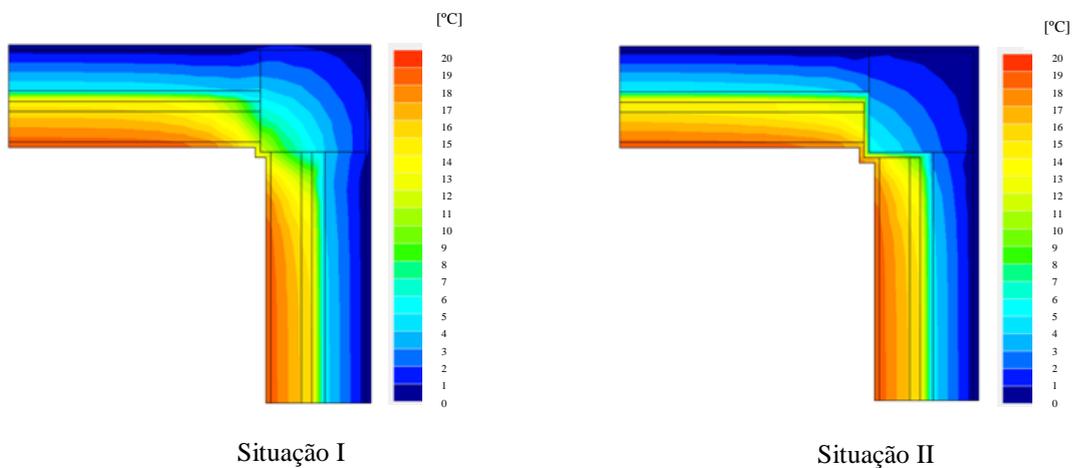


Figura 3.25 - Distribuição da temperatura na zona de ligação entre duas paredes verticais

Quadro 3.7 - Valor de ψ para a zona de ligação entre duas paredes verticais

	ψ (BISCO) [W/m.°C]	ψ (ISO 14683) [W/m.°C]	ψ (RCCTE) [W/m.°C]	Factor de temperatura superficial f_{Rsi}
Situação I	0,62	0,15	0,20	0,62
Situação II	0,35	0,15	0,20	0,80

Quadro 3.8 - Valores de coeficiente de transmissão térmica linear e de factor de temperatura superficial para os diferentes casos de ponte térmica

Casos de ponte térmica		Valor de ψ (BISCO) [W/m.°C]	Valor de ψ (RCCTE) [W/m.°C]	Valor de ψ (EN ISO 14683) [W/m.°C]	Factor de temperatura superficial f_{Rsi}
Ligação da fachada com laje de esteira de cobertura inclinada	Situação I	0,86	0,75	0,75	0,64
	Situação II	0,75	0,75	0,75	0,64
Ligação da fachada com laje de cobertura plana	Situação I	0,63	0,60	0,75	0,62
	Situação II	0,58	0,60	0,75	0,68
Ligação da fachada com laje de piso intermédio	Situação I	0,96	1,05	0,30 (Ψ_{inf} e Ψ_{sup})	0,74
	Situação II	0,89	1,05	0,30 (Ψ_{inf} e Ψ_{sup})	0,74
2º caso de ligação da fachada com laje de piso intermédio	Situação I	0,90	1,05	0,30 (Ψ_{inf} e Ψ_{sup})	0,74
	Situação II	0,84	1,05	0,30 (Ψ_{inf} e Ψ_{sup})	0,74
Ligação com pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior	Situação I	0,34	-	-	0,84
	Situação II	0,15	-	-	0,90
Ligação com pilar saliente e inserido entre duas paredes ortogonais	Situação I	0,62	0,15	0,20	0,62
	Situação II	0,35	0,15	0,20	0,80

4 Análise da influência das pontes térmicas nas necessidades energéticas e nas perdas térmicas dos edifícios

Neste capítulo efectua-se uma análise das perdas térmicas e das necessidades energéticas de um edifício situado no distrito de Setúbal através dos métodos de cálculo do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006), adoptando-se para a envolvente exterior as soluções construtivas identificadas no capítulo anterior. Esta análise tem o objectivo de verificar se existem diferenças ao nível das perdas térmicas e necessidades energéticas entre as duas situações construtivas, descritas no capítulo 3, que caracterizam as zonas de ligação entre os diferentes elementos construtivos da envolvente do edifício.

4.1 Caso de estudo

O caso de estudo constitui um edifício, implantado com uma área útil de pavimento A_p de 116,17 m², no lote 84, adjacente a outro edifício. Situa-se no concelho de Almada em zona muito exposta ao vento, a uma altitude de 50m, inserida na zona climática II-V1. O edifício apresenta a orientação da fachada principal orientada a Este, a posterior orientada para Oeste, e a fachada lateral comum ao edifício adjacente orientada a Sul.

O edifício é constituído por um piso subterrâneo (piso -1), que é reservada ao estacionamento automóvel e a locais de arrumação dos habitantes. Os restantes quatro pisos (piso 1, 2, 3 e 4) são destinados a habitação, onde em cada piso existe apenas um fogo e uma zona comum. A comunicação entre os pisos é feita através da zona comum, que engloba as escadas de serviço e elevador.

Em relação ao piso -1 que se encontra orientado a Oeste, o acesso é feito exclusivamente por automóveis (garagens individuais). As cotas do terreno das fachadas Este e Oeste diferem, sendo a da fachada Oeste 3m mais baixa que a fachada orientada a Este.

No piso 1 encontra-se a entrada do edifício, sendo que este mesmo piso contém uma zona comum, que é constituída pelas escadas de serviço e pelo elevador, assim como um fogo com uma área de 106,9 m² com a tipologia T3. Nos restantes pisos existe também uma zona comum, constituída pelas escadas de serviço e elevador, e todos os fogos são de tipologia T4 com uma área de 116,17 m². A entrada nos fogos dos pisos 2, 3 e 4 é feita pela zona comum. O pé direito dos fogos de todos os pisos é de 2,60 m.

O piso 1 por ter uma área menor, dispõe os compartimentos de maneira diferente dos restantes pisos. Existe ainda uma área técnica acima do último piso assim como a cobertura, sendo ambos acessíveis pela escada de serviço por cima do piso 4. Este estudo recairá sobre o piso 3.

Na figura 4.1 está ilustrado o alçado principal do edifício que consta do presente caso de estudo.

Nos capítulos a seguir apresentam-se as características dos elementos construtivos do edifício, que passará pelo estudo da fracção autónoma, a vários níveis, como sejam as suas dimensões, orientação, geometria e a caracterização térmica de três tipos de soluções construtivas observadas nas visitas realizadas às obras em fase de revestimentos do distrito de Setúbal, pretendeu-se assim chegar à identificação dos elementos correntes e não correntes da envolvente e ao seu tipo de exposição, que pode ser interior ou exterior, e indicar assim os valores dos parâmetros térmicos que os caracterizam.



Figura 4.1 - Alçado principal do edifício situado em Almada

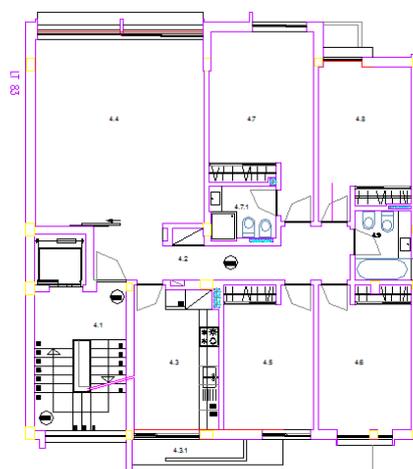


Figura 4.2 - Planta do 3º piso, sobre o qual incidiu a análise higrótérmica e energética

4.1.1 Dados climáticos

O RCCTE apresenta três zonas climáticas distintas de Inverno (I1, I2 e I3) e de Verão (V1, V2 e V3). Tendo em conta que o edifício do presente caso de estudo localiza-se em Almada, logo encontra-se na zona climática I1-V1. Neste trabalho quantifica-se as necessidades energéticas na estação de Inverno, pelo que se apresenta apenas os dados climáticos relativos a esta estação. Assim, os dados climáticos da estação de aquecimento (Inverno) para a zona climática I1 localizada no Continente, são:

- duração da estação de aquecimento igual a 5,3 meses;
- número de graus-dias (GD) igual a 1160°C.dia;
- energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul (G_{sul}) igual a 108kWh/m².mês; - temperatura interior (θ_{int}) de conforto igual a 20°C.

4.1.2 Caracterização térmica da envolvente do edifício

4.1.2.1 Caracterização térmica da zona corrente

Começa-se por identificar a envolvente em contacto com o exterior, assim como a envolvente que está em contacto com locais não aquecidos, ou seja, o edifício adjacente, patim e caixa de elevador. Um dos parâmetros essenciais para a caracterização térmica de uma solução construtiva é o coeficiente de transmissão térmica. Para os cálculos deste coeficiente é necessário a resistência superficial exterior e a resistência superficial interior, respectivamente, R_{se} e R_{si} , apresentados no quadro 4.1. A escolha destes valores é feita em função da direcção do fluxo de calor que atravessa o elemento e do respectivo sentido, no caso de a direcção ser vertical. Os valores de condutibilidade térmica de cada material são obtidos do ITE 50.

Quadro 4.1 - Resistências térmicas superficiais segundo o RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006)

		Rsi	Rse	
			Exterior	local não aquecido
horizontal		0,13	0,04	0,13
vertical	ascendente	0,10	0,04	0,10
	descendente	0,17	0,04	0,17

Para as paredes exteriores é adoptada a solução construtiva denominada de parede de dupla. A parede exterior é composta por dois panos de alvenaria de tijolo de 15 e 11 respectivamente, e caixa de ar parcialmente preenchida com isolamento térmico. O pormenor e a composição da parede exterior,

bem como as espessuras dos diversos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, são ilustrados a seguir na figura 4.3 e no quadro 4.2.

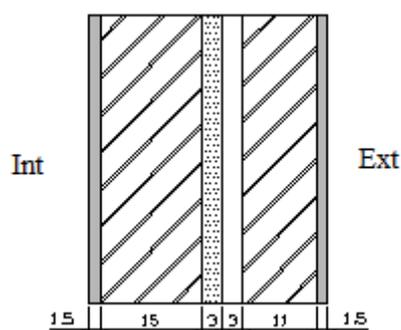


Figura 4.3 - Pormenor construtivo da parede exterior

Legenda:

- Reboco de argamassa
- Alvenaria de tijolo
- XPS
- Caixa de ar

Quadro 4.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior

Parede em envolvente exterior - Zona Corrente			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m². C W)
R_{se}	-	-	0,04
Reboco de argamassa	0,015	1,30	0,01
Alvenaria de tijolo 11	0,11	-	0,27
Caixa de ar	0,03	-	0,18
XPS	0,03	0,037	0,81
Alvenaria de tijolo 15	0,15	-	0,39
Reboco de gesso	0,015	0,43	0,03
R_{si}	-	-	0,10
Total	0,35	-	1,86
U (W/m².°C)			0,54

A parede interior que está em contacto com o edifício adjacente é constituída por dois panos de alvenaria de tijolo de 11 e isolamento térmico a preencher a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos. O respectivo pormenor e composição da parede, bem como as espessuras dos diversos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, são apresentados na figura 4.4 e no quadro 4.3.

A parede interior que está em contacto com a caixa de elevador é constituída por betão armado revestida por lâ mineral com 4 cm de espessura. O respectivo pormenor e composição da parede, bem como as espessuras dos diversos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, são apresentados na figura 4.5 e no quadro 4.4.

A parede interior em contacto com a zona comum (entre a cozinha e o patim) é constituída por dois panos de alvenaria de tijolo de 11 e isolamento térmico a preencher a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos. O pormenor construtivo e a composição são ilustrados a seguir na figura 4.6 e no quadro 4.5.

O elemento horizontal em contacto com o exterior é formado por uma camada de seixo rolado com aproximadamente 5 cm de espessura, isolamento térmico com espessura de 3 cm, um sistema de impermeabilização com 1 cm de espessura e uma laje de betão armado com 20 cm de espessura. O pormenor e a composição da cobertura em contacto com o exterior são apresentados na figura 4.7 e no quadro 4.6.

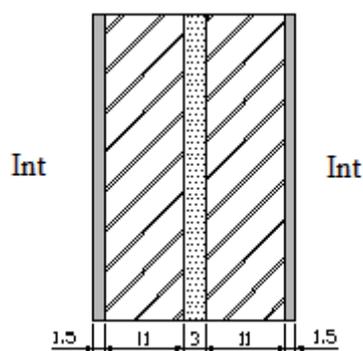
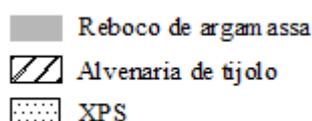


Figura 4.4 - Pormenor construtivo da parede em contacto com edifício adjacente

Legenda:



Quadro 4.3- Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com edifício adjacente

Parede em envolvente interior - Zona Corrente 1			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)
R_{se}	-	-	0,13
Reboco de argamassa	0,015	1,30	0,01
Alvenaria de tijolo de 11	0,11	-	0,27
XPS	0,03	0,037	0,81
Alvenaria de tijolo de 11	0,11	-	0,27
Reboco de argamassa	0,015	1,30	0,01
R_{si}	-	-	0,13
Total	0,28	-	1,63
U (W/m².°C)		0,61	

Quadro 4.4 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com caixa de elevador

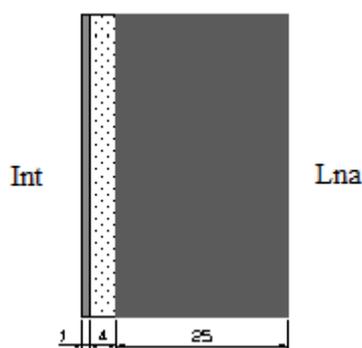
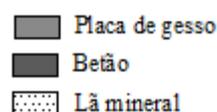


Figura 4.5 - Pormenor construtivo da parede interior em contacto com caixa de elevador

Legenda:



Parede em envolvente interior em contacto com caixa de elevador			
Elementos	e (m)	λ (W/m. C)	R (m².°C/W)
R_{se}	-	-	0,13
Placa de gesso tradicional	0,01	0,25	0,04
Lã mineral	0,04	0,04	1,0
Betão	0,25	2,0	0,13
R_{si}	-	-	0,13
Total	0,30	-	1,32
U (W/m².°C)		0,76	

O elemento da envolvente horizontal em contacto com o interior é constituído por ladrilhos cerâmicos com 1,5 cm de espessura, pelo exterior, uma camada de betonilha de regularização com 3 cm de espessura, uma placa de isolamento térmico com espessura de 2 cm e uma laje de betão armado com 20 cm de espessura. O pormenor e a composição da cobertura em contacto com o exterior são apresentados na figura 4.8 e no quadro 4.7.

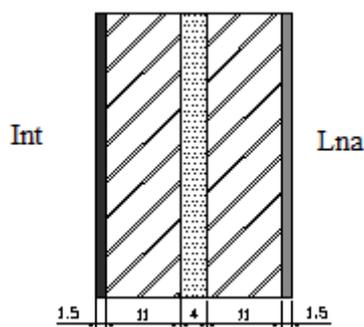


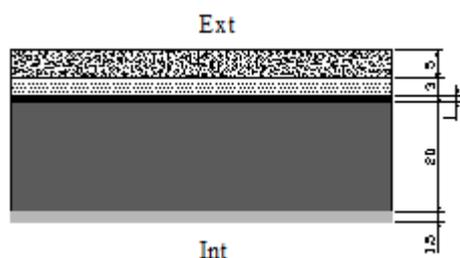
Figura 4.6 - Pormenor construtivo da parede interior em contacto com zona comum

Legenda:

- Placa de gesso
- Alvenaria de tijolo
- Lã mineral
- Reboco de gesso

Quadro 4.5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior em contacto com zona comum

Parede em contacto com zona comum - Zona Corrente 2			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)
R _{se}	-	-	0,13
Placa de gesso	0,015	0,25	0,06
Tijolo 11	0,11	-	0,27
Lã mineral	0,02	0,04	0,50
Tijolo 11	0,11	-	0,27
Reboco de gesso	0,015	0,43	0,02
R _{si}	-	-	0,13
Total	0,27	-	1,38
U (W/m².°C)		0,72	



Legenda:

- Reboco de argamassa
- Betão
- Sistema de impermeabilização
- XPS
- Seixo rolado

Figura 4.7 - Pormenor construtivo da cobertura em contacto com exterior

Quadro 4.6 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura em envolvente exterior

Cobertura em envolvente exterior			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)
R _{se}	-	-	0,04
Godo	0,05	2,0	0,03
XPS	0,03	0,037	0,81
Impermeabilização	0,01	0,23	0,04
Betão	0,20	2,0	0,10
Reboco de gesso	0,015	0,43	0,03
R _{si}	-	-	0,10
Total	0,30	-	1,15
U (W/m².°C)		0,87	

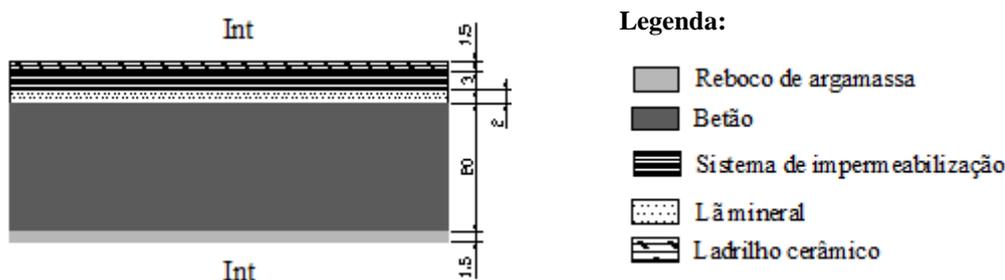


Figura 4.8 - Pormenor construtivo da cobertura em contacto com o piso técnico

Quadro 4.7 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura em envolvente interior

Cobertura em envolvente interior			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)
R _{se}	-	-	0,10
Ladrilho cerâmico	0,015	0,05	0,30
Regularização	0,03	0,85	0,04
Lã mineral	0,02	0,04	0,50
Betão	0,20	2,0	0,10
Reboco de gesso	0,015	0,43	0,03
R _{si}	-	-	0,10
Total	0,28	-	1,17
U (W/m².°C)			0,85

4.1.2.2 Caracterização térmica das zonas de ponte térmica, não havendo continuidade do isolamento térmico

Os pilares e as caixas de estore constituem as pontes térmicas planas existentes na envolvente do edifício. Nestas zonas, a correcção adoptada teve em conta a exigência regulamentar do RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) relativa ao coeficiente de transmissão térmica máximo permitido para essas zonas. O cálculo deste coeficiente é feito, como já foi referido anteriormente, da mesma forma que se faz para as zonas correntes das envolventes.

Para as pontes térmicas planas que se encontram nas paredes da envolvente exterior, têm-se dois casos, sendo o primeiro denominado de “ponte térmica 1”, relativo à zona dos pilares. Para esta situação adopta-se o revestimento dos pilares com uma placa de XPS com a espessura de 2 cm no interior e tijolo cerâmico de 3 cm de espessura. O pormenor e a composição desta solução construtiva são apresentados na figura 4.9 e no quadro 4.8.

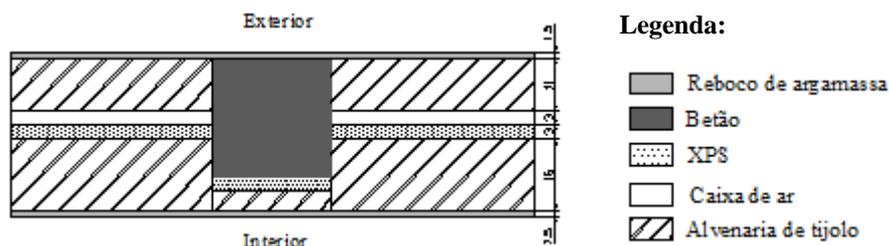


Figura 4.9 - Pormenor construtivo do pilar na parede exterior revestido com XPS

O segundo caso de ponte térmica plana existente nas paredes exteriores são as caixas de estores. Adoptou-se para este caso uma solução em que a caixa de estore se encontra revestida pelo interior com isolamento térmico com a camada de reboco superficial aplicada sobre armadura de fibra de vidro. Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, o RCCTE (Decreto -Lei nº80/2006) considera o espaço interior da caixa de estore como local não aquecido.

Quadro 4.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pilar inserido na parede exterior

Pilar inserido na parede em envolvente exterior - Ponte Térmica Plana 1			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)
R _{se}	-	-	0,04
Reboco de argamassa	0,015	1,3	0,01
XPS	0,03	0,037	0,81
Tijolo de 4	0,04	-	0,10
Betão	0,25	2,0	0,12
Reboco de argamassa	0,015	1,3	0,01
R _{si}	-	-	0,13
Total	0,35	-	1,22
U (W/m².°C)		0,82	

Quadro 4.9 - Coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore

Caixa de estore inserida na parede em envolvente exterior - Ponte Térmica Plana 2			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)
R _{si}	-	-	0,13
Revestimento interior	0,012	1,3	0,015
EPS	0,03	0,036	0,83
R _{si}	-	-	0,13
Total	-	-	1,11
U (W/m².°C)		0,90	

A ponte térmica plana inserido na envolvente interior em contacto com o edifício adjacente, denominada de “ponte térmica plana 3”, é constituída por pilares de betão armado com 20 cm de

espessura revestidos pelo interior com isolamento térmico com 3 cm de espessura e tijolo cerâmico de 4 cm. O pormenor e a composição desta solução construtiva são apresentados na figura 4.10 e no quadro 4.10.

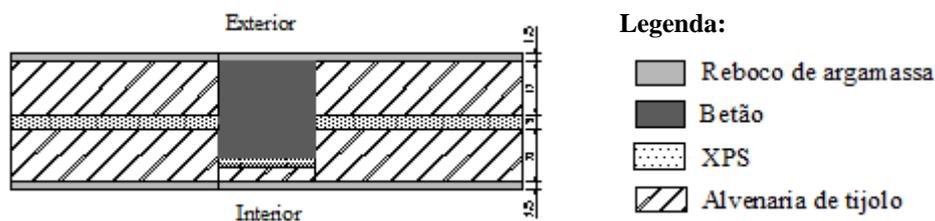


Figura 4.10 - Pormenor construtivo do pilar na parede em contacto com edifício adjacente revestido com XPS

Quadro 4.10 - Coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica plana da envolvente em contacto com edifício adjacente

Pilar inserido na parede em envolvente interior - Ponte Térmica Plana 3			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)
R_{se}	-	-	0,13
Reboco de argamassa	0,015	1,3	0,01
Betão	0,20	2,0	0,10
XPS	0,02	0,037	0,54
Tijolo de 3	0,03	-	0,07
Reboco de argamassa	0,015	1,3	0,01
R_{si}	-	-	0,13
Total	0,28	-	0,99
U (W/m².°C)			1,01

A ponte térmica plana da envolvente interior em contacto com zona comum, denominada de “ponte térmica plana 2”, é composta por pilares de betão armado de 20 cm revestidos pelo interior com isolamento térmico com 3 cm de espessura e tijolo cerâmico de 3 cm de espessura. O pormenor e a composição desta solução construtiva são apresentados na figura 4.11 e no quadro 4.11.

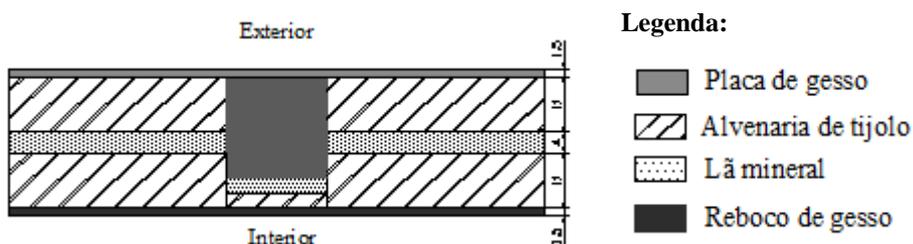


Figura 4.11 - Pormenor construtivo do pilar na parede em contacto com zona comum revestido com lã mineral

Quadro 4.11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica plana inserida na envolvente interior

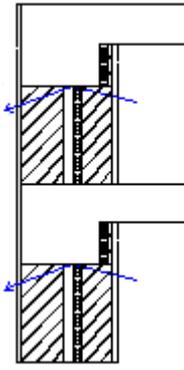
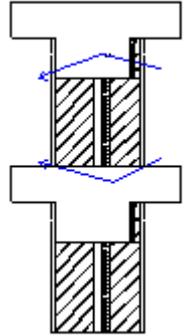
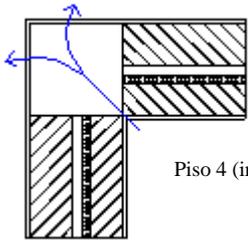
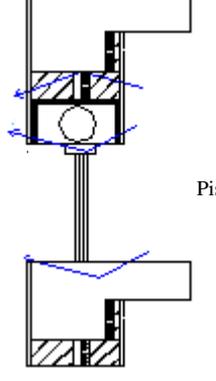
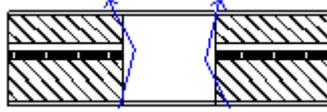
Pilar inserido na parede em envolvente interior - Ponte Térmica Plana 4			
Elementos	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m².°C/W)
R _{se}	-	-	0,13
Reboco de argamassa	0,015	1,3	0,01
Betão	0,20	2,0	0,10
Lã mineral	0,03	0,04	0,75
Tijolo de 3	0,03	-	0,07
Reboco de argamassa	0,015	1,3	0,01
R _{si}	-	-	0,13
Total	0,30	-	1,20
U (W/m².°C)		0,83	

No quadro 4.12 têm-se os diferentes valores de ψ para os diferentes casos de pontes térmicas observados nas visitas realizadas às obras em Portugal, tendo a situação em que não existe continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural. Para tal adopta-se os valores calculados pelo programa BISCO no capítulo 3 para cada caso de ponte térmica tendo em conta situação I - situação em que não existe continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural. De referir que, relativamente às pontes térmicas associadas à caixa de estore, à caixilharia e à varanda, o programa não foi utilizado, pelo que se apresenta apenas o valor da tabela IV.1 do RCCTE.

As perdas térmicas através de elementos em contacto com locais não-úteis (não aquecidos) constituem uma fracção do valor que teriam se esses elementos fizessem fronteira com o exterior. O coeficiente τ que traduz esse decréscimo de perdas toma valores convencionais em função da natureza do espaço não útil, das suas condições de ventilação, e da relação entre as áreas da envolvente interior e exterior A_i/A_u – Tabela IV.1 do RCCTE. A_i corresponde à área do elemento que separa o espaço útil interior e o espaço não-útil e A_u corresponde à área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior. Neste caso, distinguem-se as paredes em contacto com zonas comuns do edifício (Patim) e as paredes em contacto com o edifício adjacente.

O RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) despreza as pontes térmicas lineares ($\psi = 0$) na envolvente interior sempre que o valor do coeficiente τ seja inferior a 0,7. No caso em estudo o coeficiente τ é igual a 0,6 para a parede de separação de edifícios adjacentes (Tabela IV.1 do RCCTE) e toma o valor igual a 0,5 para a parede de separação das circulações comuns (escadas e elevadores) - Quadro 4.13. Como estes valores de τ são inferiores a 0,7, apenas serão contabilizadas as pontes térmicas planas, desprezando a contribuição das pontes térmicas lineares da envolvente interior ($\psi = 0$).

Quadro 4.12 - Pontes térmicas lineares e os respectivos coeficientes de transmissão térmica linear ψ

Tipo de ligação	Pormenor construtivo e respectivos valores de ψ sem continuidade do isolamento térmico
<p>Ligação entre fachada e cobertura</p> <p>Ligação entre fachada e laje de piso intermédio</p>	 <p>$\psi=0,62$</p> <p>Piso 4 (interior)</p> <p>$\psi=0,45$</p>
<p>Ligação entre fachada e cobertura</p> <p>Ligação entre fachada varanda¹</p>	 <p>$\psi=0,62$</p> <p>Piso 4 (Interior)</p> <p>$\psi=0,35$</p> <p>Piso 3 (interior)</p>
<p>Ligação entre duas paredes verticais</p>	 <p>$\psi=0,70$</p> <p>Piso 4 (interior)</p>
<p>Ligação de fachada com caixa de estore¹</p> <p>Ligação de fachada com caixilharia¹</p>	 <p>$\psi=0,62$</p> <p>$\psi=0,20$</p> <p>Piso 4 (interior)</p> <p>$\psi=0,20$</p>
<p>Pilar inserido na zona de fachada</p>	 <p>$\psi=0,34$</p>

¹ Valor obtido da tabela IV.3 do RCCTE

Quadro 4.13 - Valores de τ associados aos espaços não - aquecidos

Local	Área útil interior (m ²)	Área não útil interior (área comum) (m ²)	Ai/Au	τ
Circulação comum	108,53	81,98	1,32	0,5 ⁽¹⁾
Edifício adjacente	-	-	-	0,6 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Com abertura permanente para o exterior considerando área de aberturas permanentes/ volume total < 0,5 m²/ m³.

⁽²⁾ No caso do edifício adjacente não foi necessário calcular áreas A_i e A_u porque o τ é igual a 0,6 para qualquer A_i/A_u.

4.1.2.3 Caracterização das zonas de ponte térmica, existindo continuidade do isolamento térmico

Neste subcapítulo apresentam-se as soluções construtivas adoptadas nas zonas de ponte térmica com a existência de continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e os elementos estruturais.

Para as pontes térmicas planas que se encontram nas paredes da envolvente exterior, têm-se dois casos, sendo o primeiro denominado de “ponte térmica 1”, relativo à zona dos pilares. Para esta situação adopta-se o revestimento dos pilares com isolamento térmico de 3 cm no interior, tendo este continuidade com o isolamento térmico inserido na zona corrente com a espessura, e tijolo cerâmico de 4 cm de espessura. O pormenor e a composição desta solução construtiva são apresentados na figura 4.12 .

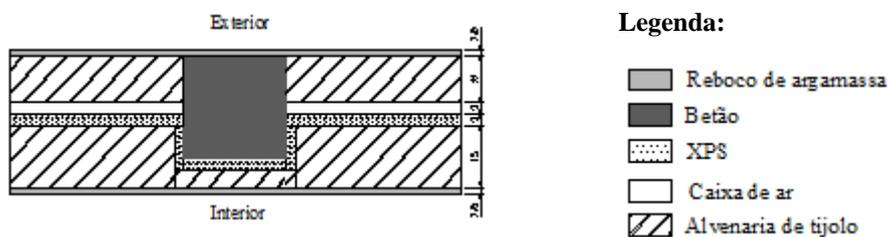


Figura 4.12 - Pormenor construtivo do pilar na parede exterior revestido com XPS

O segundo caso de ponte térmica plana existente nas paredes exteriores são as caixas de estores. Adoptou-se para este caso uma solução em que a caixa de estore se encontra revestida pelo interior com isolamento térmico com a camada de reboco superficial aplicada sobre armadura de fibra de vidro.

A ponte térmica plana inserido na envolvente interior em contacto com o edifício adjacente, denominada de “ponte térmica plana 3”, é constituída por pilares de betão armado com 20 cm de espessura revestidos pelo interior com isolamento térmico com 3 cm de espessura, tendo este continuidade na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural, e tijolo cerâmico de 4 cm. O pormenor e a composição desta solução construtiva são apresentados na figura 4.13.

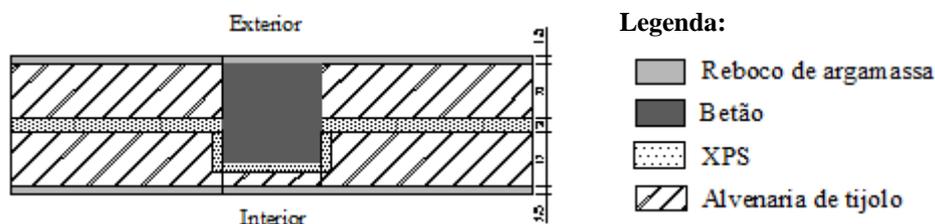


Figura 4.13 - Pormenor construtivo do pilar na parede em contacto com edifício adjacente revestido com XPS

A ponte térmica plana da envolvente interior em contacto com zona comum, denominada de “ponte térmica plana 2”, é composta por pilares de betão armado de 20 cm revestidos pelo interior com isolamento térmico com 3 cm de espessura, tendo este continuidade na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural e tijolo cerâmico de 4 cm de espessura. O pormenor e a composição desta solução construtiva são apresentados na figura 4.14.

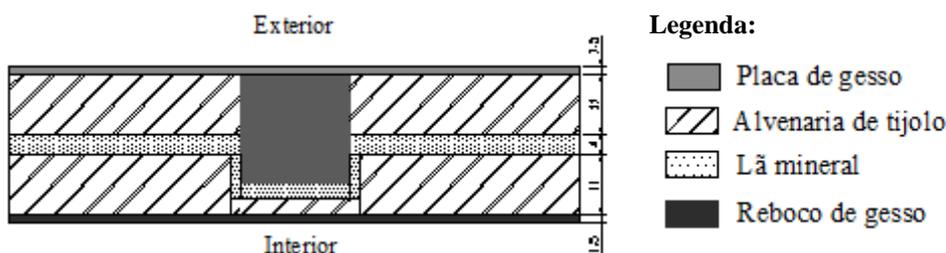
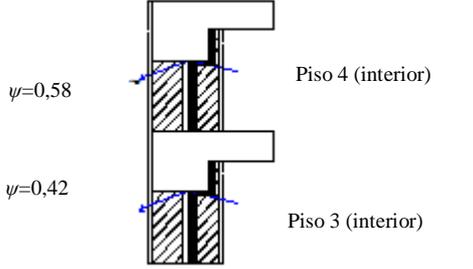
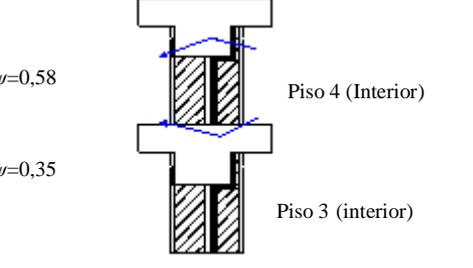
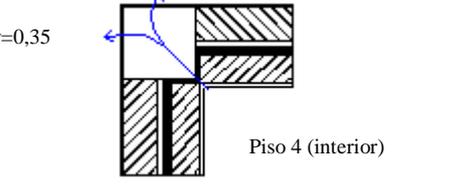
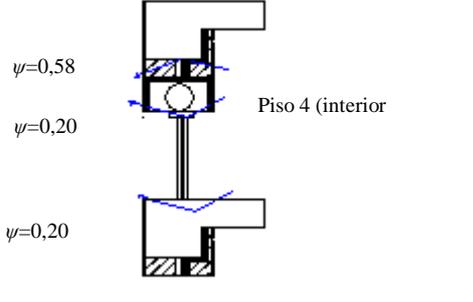
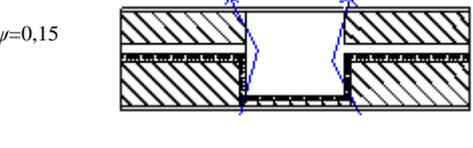


Figura 4.14 - Pormenor construtivo do pilar na parede em contacto com zona comum revestido com lã mineral

No quadro 4.14 têm-se os diferentes valores de ψ para os diferentes tipos de pontes térmicas lineares, tendo em conta os valores calculados pelo programa BISCO. A diferença que existe em relação à caracterização anterior, reside no facto de aqui se tratar de situações reais com a existência de continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e os elementos estruturais.

A contabilização das pontes térmicas lineares existentes na envolvente interior é desprezada pelas razões já anteriormente referidas.

Quadro 4.14 - Pontes térmicas lineares e os respectivos coeficientes de transmissão térmica linear, obtidos do programa BISCO

Tipo de ligação	Pormenor construtivo e respectivos valores de ψ com continuidade do isolamento térmico
Ligação entre fachada e cobertura e ligação entre fachada e laje de piso intermédio	 <p>$\psi=0,58$</p> <p>$\psi=0,42$</p> <p>Piso 4 (interior)</p> <p>Piso 3 (interior)</p>
Ligação entre fachada e cobertura e ligação entre fachada varanda ²	 <p>$\psi=0,58$</p> <p>$\psi=0,35$</p> <p>Piso 4 (Interior)</p> <p>Piso 3 (interior)</p>
Ligação entre duas paredes verticais	 <p>$\psi=0,35$</p> <p>Piso 4 (interior)</p>
Ligação de fachada com caixa de estore ² e ligação de fachada com caixilharia ²	 <p>$\psi=0,58$</p> <p>$\psi=0,20$</p> <p>$\psi=0,20$</p> <p>Piso 4 (interior)</p>
Pilar inserido na fachada	 <p>$\psi=0,15$</p> <p>Piso 4 (interior)</p>

² Valor obtido da tabela IV.3 do RCCTE

4.1.2.4 Quantificação das perdas de calor e das necessidades energéticas

Fez-se a contabilização das perdas de calor totais e necessidades de energia útil do presente caso de estudo para as duas situações acima descritas através do uso da metodologia de cálculo simplificada descrita no capítulo 3.1, através da qual se quantificaram as diferentes categorias de perdas e ganhos de calor (anexos 1 e 2). No que diz respeito às perdas, contabilizaram-se as perdas de calor por condução pela envolvente opaca interior e exterior, onde se incluem as pontes térmicas, condução pelos envidraçados, e convecção por renovação do ar. Dentro das perdas por condução pela envolvente opaca, separaram-se ainda as que acontecem em zona corrente das que decorrem das heterogeneidades nela inseridas, de forma a facilitar a análise de resultados. Relativamente aos ganhos, contabilizaram-se os decorrentes da radiação solar (ganhos solares) e os resultantes da ocupação e equipamentos (ganhos internos). Para efectuar os cálculos foi efectuado previamente todo o levantamento dimensional do fogo (pé-direito, áreas de elementos, comprimentos de pontes térmicas, volume interior).

No quadro seguinte listam-se os valores das diferentes categorias de perdas de calor, tendo em conta os dados climáticos e parâmetros térmicos da construção anteriormente apresentados, nomeadamente, coeficientes de transmissão térmica superficial U e linear ψ , que foram calculados, e taxa de renovação horária, para a qual foi tomado o valor unitário ($R_{ph}=0,6 \text{ h}^{-1}$). As perdas de calor pelas pontes térmicas lineares são contabilizadas para as situações em que se tem continuidade do isolamento térmico e em que não existe continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e o elemento construtivo adjacente.

Os cálculos das perdas de calor totais apresentam-se no quadro 4.19, que contém as diferentes categorias de perdas térmicas que se realizam através de diferentes elementos construtivos, e resulta da soma das seguintes parcelas:

- perdas térmicas em zonas correntes com o exterior;
- perdas em zonas correntes com locais não aquecidos;
- perdas por ventilação, perdas através dos envidraçados;
- perdas através das pontes térmicas lineares;
- perdas através das pontes térmicas planas com o exterior;
- perdas através das pontes térmicas planas com locais não aquecidos.

Nos quadros 4.15, 4.16 e 4.17 apresentam-se os valores de cálculo de perdas de calor através da envolvente opaca vertical e da envolvente opaca horizontal através da soma das perdas em zona corrente, das perdas que se realizam através das heterogeneidades nela inseridas e das pontes térmicas lineares para as duas situações construtivas, uma sem continuidade do isolamento térmico e outra com continuidade do isolamento térmico, designadas respectivamente por situação I e situação II.

Quadro 4.15 -Contabilização das perdas térmicas totais

Elementos construtivos	Perdas térmicas [KWh/ano]	
	Situação I	Situação II
Cobertura	2671,5	
Paredes exteriores	725,8	
Pontes térmicas planas inseridas nas paredes exteriores	141,2	
Paredes em contacto com locais não aquecidos	278,4	
Cobertura em contacto com piso técnico	18,7	
Pontes térmicas planas inseridas nas paredes interiores	153,4	
Ventilação	1620,3	
Envidraçados	2055,7	
Pontes térmicas lineares	Situação I	Situação II
	1191,8	1071,0
Perdas térmicas globais	8856,8	8735,9

Quadro 4.16 - Perdas térmicas através da envolvente opaca horizontal

Elementos construtivos	Perdas térmicas [KWh/ano]	
	Situação I	Situação II
Cobertura em contacto com o exterior	3044,3	3020,1
Cobertura em contacto com locais não aquecidos	18,7	18,7
Envolvente opaca horizontal	3063,00	3038,8

Quadro 4.17 -Perdas térmicas através da envolvente opaca vertical

	Perdas térmicas [KWh/ano]	
	Situação I	Situação II
Envolvente opaca vertical em contacto com exterior	1686,0	1589,4
Envolvente opaca vertical em contacto com locais não aquecidos	431,8	431,8
Envolvente opaca vertical	2117,8	2021,22

No quadro 4.18 apresentam-se as perdas de calor através das pontes térmicas planas e das pontes térmicas lineares para as duas situações construtivas.

O cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento (NAQ) faz-se subtraindo os ganhos solares internos às perdas de calor. Assim, as necessidades de energia de aquecimento resultam da soma das seguintes parcelas:

- perdas térmicas em zonas correntes com o exterior;

- perdas em zonas correntes com locais não aquecidos (Ina);
- perdas por ventilação;
- perdas através dos envidraçados;
- perdas através das pontes térmicas lineares;
- perdas através das pontes térmicas planas com o exterior;
- perdas através das pontes térmicas planas com locais não aquecidos (Ina);
- subtração dos ganhos úteis (solares e internos). Os valores de necessidades de energia útil de aquecimento anuais para as duas situações construtivas são apresentados no quadro seguinte.

Quadro 4.18 - Perdas térmicas através das pontes térmicas

Elementos construtivos	Perdas térmicas [KWh/ano]	
	Situação I	Situação II
Pontes térmicas planas	294,5	294,5
Pontes térmicas lineares	1191,8	1071,0
Pontes térmicas	1488,3	1365,5

Quadro 4.19 - Cálculo das Necessidades de Aquecimento Anuais

	Perdas térmicas, ganhos térmicos e necessidades de aquecimento globais [KWh/ano]	
	Situação I	Situação II
Perdas térmicas totais	8856,8	8735,9
Ganhos solares e internos	3986,5	3982,4
Necessidades de aquecimento anuais	4870,3	4753,5

4.1.3 Análise dos resultados

Tendo em conta os resultados obtidos, é de salientar que não existem diferenças significativas na influência das pontes térmicas nas necessidades energéticas e perdas térmicas globais entre a análise sem continuidade do isolamento térmico nas zonas de ponte térmica e a análise realizada com continuidade do isolamento térmico nos diferentes casos de ponte térmica - Quadro 4.20 e quadro 4.21.

Os quadros Quadro 4.21, Quadro 4.22 e Quadro 4.23 apresentam uma análise em termos relativos da influência das perdas térmicas pelas pontes térmicas sobre o conjunto total das perdas térmicas, e que depende de diversos factores. Pode-se constatar que a influência das pontes térmicas nas perdas térmicas globais de um edifício pode atingir valores à volta dos 16%. Verifica-se também que a influência destas pode representar cerca de 30% das necessidades energéticas globais de um edifício. Relativamente às perdas térmicas pelas pontes térmicas planas, pode-se observar que estas

têm menor influência nas perdas térmicas globais e nas necessidades energéticas globais de um edifício que as perdas térmicas lineares. Conclui-se também que a influência destas diminui com a existência de continuidade do isolamento térmico.

Quadro 4.20 - Perdas térmicas totais e necessidades de energia útil de aquecimento

	Perdas térmicas e necessidades de energia útil de aquecimento [KWh/m ² .ano]	
	Situação I	Situação II
Perdas térmicas totais	79,2	78,0
Necessidades energéticas de energia útil de aquecimento	43,5	42,5

Quadro 4.21 - Perdas térmicas pelas pontes térmicas por m².ano

	Perdas térmicas [KWh/m ² .ano]	
	Situação I	Situação II
Perdas térmicas pelas pontes térmicas planas	2,6	2,6
Perdas térmicas pelas pontes térmicas lineares	10,6	9,6

Quadro 4.22 - Influência das pontes térmicas nas perdas térmicas totais

	Influência das pontes térmicas nas perdas térmicas totais [%]	
	Situação I	Situação II
Influência das pontes térmicas planas nas perdas térmicas totais	3,3	3,2
Influência das pontes térmicas lineares nas perdas térmicas totais	13,4	12,2
Influência das pontes térmicas nas perdas térmicas totais	16,8	15,6

Quadro 4.23 - Influência das pontes térmicas nas NAQ

	Influência das pontes térmicas nas NAQ [%]	
	Situação I	Situação II
Influência das Pontes térmicas planas nas NAQ	6,0	6,2
Influência das Pontes térmicas lineares nas NAQ	24,5	22,5
Influência das Pontes térmicas nas NAQ	30,5	28,7

De uma forma geral, o que estas tabelas dizem é que os resultados obtidos das análises higrótérmicas e energéticas globais, tendo em conta a situação I e a situação II, encontram-se muito próximos um do outro.

5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Conclusões

Com a realização deste trabalho é possível dizer que existe muitas vezes incumprimento das regras de qualidade, face às recomendações existentes em vários documentos do LNEC e da comunidade científica europeia, das soluções construtivas adoptadas para as zonas de pontes térmicas. No âmbito das visitas realizadas às obras em Portugal, foi possível observar a falta de preocupação com a homogeneidade das propriedades térmicas nas zonas de ponte térmica, sendo a falta de continuidade do isolamento térmico, a situação que merece maior destaque neste trabalho. Existe ainda algumas habitações que não cumprem as regras impostas pelo novo RCCTE (Decreto - Lei nº80/2006) ao impor limites nas diferenças de resistências térmicas existentes entre as zonas correntes e as zonas de pontes térmicas.

A análise efectuada com o programa de simulação numérica BISCO permitiu verificar que a aplicabilidade das regras de qualidade nas zonas de pontes térmicas tem influência nos parâmetros térmicos que caracterizam estas zonas. Assim se pode concluir que esta abordagem permite minimizar os efeitos negativos que as pontes térmicas têm nos edifícios, nomeadamente a diminuição das perdas de calor lineares e a diminuição do risco de ocorrência de condensações.

A análise higrotérmica e energética a um fogo de tipologia T4 permitiu verificar que a aplicação da continuidade do isolamento térmico nas zonas de ponte térmica não tem influência significativa nas perdas térmicas globais e nas necessidades energéticas globais determinadas com recurso ao programa BISCO. Este trabalho permitiu mostrar que a influência das perdas por pontes térmicas pode representar cerca de 30% das necessidades energéticas de aquecimento. Assim, pode-se ver o papel importante que as pontes térmicas têm no desempenho térmico dos edifícios, pelo que é uma área onde se justifica um maior cuidado no sentido de reduzir as perdas de calor associadas. É neste sentido que vai a nova regulamentação aprovada mais recentemente (RCCTE Decreto-Lei Nº80/2006), a qual é muito mais exigente e restritiva relativamente à anterior (RCCTE Decreto-Lei Nº40/1990).

5.2 Desenvolvimentos futuros

No âmbito das visitas realizadas a obras em Portugal, não foi possível observar todas as situações de pontes térmica existentes. Muitas destas situações contemplam as ligações existentes entre a fachada e os pavimentos térreos. Seria interessante verificar a influência que a aplicabilidade das regras de qualidade nestes casos de pontes térmicas têm nos parâmetros térmicos que caracterizam

estas zonas. De seguida fazendo a análise a um piso de um edifício em contacto com o solo, verificava-se a influência que a aplicabilidade das regras de qualidade neste tipo de ponte térmica têm nas perdas térmicas globais e nas necessidades energéticas globais

Bibliografia

ARMSTRONG, Sean - *Acceptable Construction Details*. Building standards, DEHLG.Environment Community and local government, s/d. [http://www.i-b-c-i.ie/docs/conferences/2009/Acceptable Construction Details, Thermal Bridging and Air Permeability](http://www.i-b-c-i.ie/docs/conferences/2009/Acceptable%20Construction%20Details,%20Thermal%20Bridging%20and%20Air%20Permeability) [online] (28/03/2010).

CORVACHO, Maria - *Pontes térmicas, Análise do Fenómeno e proposta de soluções*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.

COUASNET, Yves - *Les condensations dans les bâtiment - Guide pratique et elements d'analyse*, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1990.

ENERGIA E GEOLOGIA, Direcção Geral - Balanços energéticos, Estatísticas. www.dge.pt [Online] , (22/03/2011).

EN ISO 10211-1: 1995 - *Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures part 1- General calculation methods*. Brussels, 1995.

EN ISO 10211-2: 2007 - *Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations*. Brussels, 2007.

EN ISO 10211-2: 2001 - *Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures part 2: linear thermal bridges*. Brussels, 2001.

EN ISO 14683: 2007 - *Thermal bridges in building construction - linear thermal transmittance - Simplified methods and default values*. Brussels, 2007.

FREITAS, Vasco - *Implicações construtivas no novo RCCTE na concepção de paredes de alvenaria*. Seminário sobre paredes de alvenaria P.B. Lourenço et al, 2007.

FREITAS, Vasco - *Isolamento térmico de fachadas pelo exterior - Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido - ETICS*. Maxit - Tecnologias de construção e Renovação, Lda. Porto, 2002.

HENRIQUES, Fernando - *Paredes Duplas. Concepção e Critérios de Estanquidade*. Congresso Nacional da Construção. IST, Lisboa,2001.

INCAU, M. - *Heat transfer problems in an energy efficient building*. University of Oradea, 2009

M. O'BRIEN, Sean et al. - *The effects of thermal bridging at interface conditions*. s/d. [www.http://best1.thebestconference.org](http://best1.thebestconference.org) [Online], (28/03/2010).

MASCARENHAS, Jorge - *Sistemas de construção - IX -Contributos para o cumprimento do RCCTE, Detalhes Construtivos sem Pontes térmicas, Materiais básicos (6ªparte): o Betão*. Lisboa, Livros Horizonte, 2007.

O'BRIAN, Sean M. *Thermal bridging in the building envelope*. New York , 2005, Construction the specifier.

PARKER P.; LÓSINSKY, C - *Thermal and hygrothermal analysis in building envelope commissioning*. s/d. best2.thebestconference.org [Online], (30/07/2010)

PHYSIBEL - *Bisco, Computer program to calculate two-dimensional steady state heat transfer in free-form objects*. s.l. :, 2006.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - *Paredes de Edifícios -Comportamentos térmicos de paredes de edifícios, parâmetros de caracterização e exigências a satisfazer* . Lisboa, 2000.

RCCTE - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto -Lei nº40/1990*.s.l : Porto Editora, 1990.

RCCTE - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto-Lei Nº80/2006*. s.l. : Porto Editora, 2006.

RODRIGUES, António et al.- *Térmica de edifícios*, Orion. Lisboa, 2009.

ROUX, J.J et al. *Effect of 2D modelling of thermal bridges on the energy performance of buildings Numerical application on the Matisse apartment*. Centre de Thermique de Lyon, Lyon : Elsevier, 2000.

SANTOS, Carlos Pina dos e MATIAS, Luís - *ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. s.l. : LNEC, 2007.

SAMUEL, Aizaz. *Analysis of thermal bridges*. Hosted by Energy Systems Research Unit, University of Strathclyde .s/d.

SANTOS, Carlos Pina dos - *Evolução das soluções de paredes face a novas exigências regulamentares*. Seminário sobre paredes de alvenaria P.B. Lourenço et al.(eds),2007.

WOUTERS P.;VANDERMARCKE B. et al.- *Development of limits for the linear thermal transmittance of thermal bridges in buildings*. s/d. www.ornl.gov/sci/buildings/2010/ [Online], (10/08/2010)

Anexos

Anexo 1

Relatórios de obra

Objectivo geral:

Pretende-se com a realização dos relatórios de obra dar uma panorâmica sucinta do sistema construtivo mais utilizado na realização de fachadas em Portugal, dando especial ênfase ao modo como são realizadas, na generalidade, as ligações entre elementos constituintes da envolvente exterior, onde se verificam as zonas de ponte térmica.

RELATÓRIO DE OBRA 1 Dissertação 2010/2011		- Júlio Pessoa nº27595
<i>Nome da obra:</i> Habitação Unifamiliar (2 Geminadas)		<i>Fase da obra:</i> Execução de revestimentos
<i>Localização:</i> Quinta do Conde - Sesimbra	<i>Data de início:</i> 30/07/2010	<i>Prazo de execução:</i> 12 Meses
<i>Dono-de-obra:</i> Gemicivil Construções, Lda	<i>Empreiteiro:</i> Jacinto Dias	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 145000 Euros	<i>Visita nº1</i>	<i>Data da visita:</i> 3-Novembro-2010

Descrição

Foi realizada uma visita a uma habitação unifamiliar localizada na quinta do conde - Figura 1.a. Verificou-se que para a parede da envolvente em contacto com o exterior, adoptou-se a solução construtiva denominada de parede de pano duplo. A parede é constituída por dois panos de alvenaria de 11 cm e isolamento térmico poliestireno extrudido (XPS) de espessura de 4 cm a ocupar a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos de alvenaria - Figura 2.a.



Figura 1.a - Vista geral sobre a habitação

As situações de ponte térmica que se conseguiram identificar em obra foram as seguintes:

- Ligação de parede exterior com laje de cobertura;
- Pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior.

Nas duas situações de ponte térmica efectua-se a correcção térmica dos elementos estruturais pelo interior com isolamento térmico - figuras 2.a, 3.a, 4.a e 5.a.



Figura 2.a - Vista pelo interior sobre uma zona de ligação de parede exterior com cobertura

No caso de ligação de parede exterior com cobertura efectuou-se a correcção térmica da viga pelo interior com placas de poliestireno extrudido de 2 cm de espessura. O revestimento foi feito com tijolo cerâmico com espessura de 4 a 7 cm - figuras 2.a e 3.a. Nestas figuras pode-se observar que não existe continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural. Esta zona de transição entre elementos construtivos de diferentes materiais pode originar o surgimento de acréscimo de perdas térmicas lineares.



Figura 3.a - Vista pelo exterior sobre o elemento estrutural viga e a parede exterior



Figura 4.a - Vista pelo exterior da viga e do pilar

Na situação em que se tem um pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior, efectuou-se a correcção térmica do elemento estrutural pelo interior com isolamento térmico poliestireno extrudido de 3 cm de espessura - figura 5.a. O revestimento foi feito com tijolo cerâmico de 4 a 7 cm de espessura. Nesta situação de ponte térmica não existe novamente continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e o elemento estrutural.



Figura 5.a - Vista pelo interior sobre o pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior



Figura 6.a - Vista pelo exterior da habitação

Observações

As correcções das pontes térmicas foram executadas pelo interior com isolamento térmico do mesmo material do isolamento aplicado na fachada e efectuou-se recobrimento destas com tijolo cerâmico de espessura de 4 a 7 cm. O problema que aqui existe é a falta de continuidade do isolamento , criando uma zona de ponte térmica linear.

RELATÓRIO DE OBRA 2		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Habitação Unifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Execução de Revestimentos
<i>Localização:</i> Trafaria	<i>Data de início:</i> 19/05/2010	<i>Prazo de execução:</i> 1 ano
<i>Dono-de-obra:</i> José Manuel Duarte	<i>Empreiteiro:</i> Vaporobra	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 500000 Euros	<i>Visita nº.1</i>	<i>Data da visita:</i> 4-Março-2011

Descrição

Foi realizada uma visita a uma habitação unifamiliar com dois pisos acima da cota de soleira e uma cave, localizada na zona da Trafaria - Figura 1.b.



Figura 1.b - Vista geral pelo exterior da habitação

A solução construtiva utilizada para a parede da envolvente em contacto com o exterior referente aos dois pisos acima da cota de soleira é de pano duplo de tijolo de 11cm com 2 placas de isolamento térmico poliestireno extrudido de 4 cm de espessura a ocupar a totalidade do espaço compreendido entre os dois panos de alvenaria - Figura 2.b. Nesta figura pode-se ver uma zona de ligação da parede exterior com caixa -de - estore, em que esta é revestida pelo interior com uma camada de isolamento térmico de 3,5 cm de espessura, cujo o material de que é feito se encontra ilustrado na figura 8.b.



Figura 2.b - Vista pelo interior sobre uma zona de ligação da parede exterior com caixa - de - estore

Nas figuras 3.b, 4.b e 5.b, que ilustram imagens do piso acima da cota de soleira, pode-se ver o revestimento dos pilares e vigas é feito com o material ilustrado na figura 7.b. Verifica-se que a correcção térmica dos elementos estruturais dos pisos acima da cota de soleira é realizada pelo interior com uma camada de isolamento térmico de 5 cm de material apresentado na figura 8.b.



Figura 3.b - Vista pelo exterior do terraço



Figura 4.b - Vista pelo exterior dos pilares e da caixa de estore



Figura 5.b - Vista sobre a caixa -de - estore

Na Figura 6.b, verifica-se que a cave possuem paredes de alvenaria e de betão armado. Pode-se ver também na figura 6.b que as zonas de betão armado no interior da cave são revestidas pelo interior com o material ilustrado na figura 7.b. Nesta figura, verifica-se que no interior da cave, assim como nos pisos acima do nível do solo, as paredes de alvenaria em contacto com o exterior são de pano duplo de tijolo de 11 cm com 2 placas de isolamento térmico de 4 cm espessura a ocupar a totalidade do espaço compreendido entre os panos de alvenaria.

Os elementos estruturais vigas e pilares são corrigidas com isolamento térmico, cujo o material é apresentado na figura 7.b. Este material é constituído por um painel "sandwich" composto por duas camadas de 5mm cada de fibras mineralizadas de madeira de abeto, ligadas com cimento "portland" e intercaladas por uma camada de poliestireno extrudido auto-extensível.



Figura 6.b - Vista sobre o interior da cave



Figura 7.b - Vista sobre a parede exterior da cave



Figura 8.b - Placa de isolamento térmico utilizado na correcção térmica dos pilares, das vigas e das caixas -de - estore

Observações

Nesta obra verificou-se que o material, com que se efectuou a correcção térmica dos elementos estruturais, é diferente do material isolante presente entre os panos de alvenaria da zona corrente. Esta situação contribui para a falta de homogeneidade das propriedades térmicas dos diferentes elementos que constituem a envolvente da habitação.

RELATÓRIO DE OBRA 3		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Habitação Unifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Execução de Revestimentos
<i>Localização:</i> Feijó	<i>Data de início:</i> 04/09/2010	<i>Prazo de execução:</i> 07/12/2011
<i>Dono-de-obra:</i> Eugénio da Silva, Empreiteiro de Construção Civil, Lda	<i>Empreiteiro:</i> Eugénio da Silva, Empreiteiro de Construção Civil, Lda.	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 235 000 Euros	<i>Visita nº.</i> 1	<i>Data da visita:</i> 4-Março-2011

Descrição

Foi realizada uma visita a uma habitação unifamiliar situada no Feijó. Como se pode observar pelas figuras 1.c e 2.c, a habitação é constituída por 3 pisos (uma cave e 2 pisos acima do nível do solo).



Figura 1.c - Painel com as informações gerais da obra

A fachada é constituída por dois panos de alvenaria de 11 cm, com 2 placas de isolamento térmico poliestireno extrudido de 4 cm de espessura a ocupar o espaço entre os respectivos panos de alvenaria - Figura 3.c. Na figura 4-c pode-se ver uma situação de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio. Verifica-se que se efectuou a correcção da ponte térmica da viga pelo interior com 1 placa de isolamento térmico poliestireno extrudido de 4 cm de espessura. Não se conseguiu observar

qualquer tipo de correcção térmica nos pilares. Nas situações de ponte térmica envolvendo os elementos estruturais pilares, não conseguiu observar qualquer correcção térmica destes.



Figura 2.c - Vista pelo exterior da cave



Figura 3.c - Vista sobre a parede exterior da habitação



Figura 4.c - Vista sobre uma zona de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio



Figura 5.c - Vista sobre o interior da cave



Figura 6.c - Vista pelo interior sobre uma situação de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio



Figura 7.c - Vista sobre a parede exterior

Observações

A correcção térmica das vigas não é acompanhada pela continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre a zona corrente e os elementos estruturais, que constituem a envolvente do edifício.

RELATÓRIO DE OBRA 4		Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Habitação Unifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Execução de revestimentos
<i>Localização:</i> Rua Mário Martins, Vale Flor	<i>Data de início:</i> .../ 2010	<i>Prazo de execução:</i> 1 Ano
<i>Dono-de-obra:</i> Desconhecido	<i>Empreiteiro:</i> Sociedade Construções, Lda.	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 300 000 Euros	<i>Visita nº.1</i>	<i>Data da visita:</i> 3 - Março - 2011

Descrição

Nesta primeira e única visita que foi realizada a esta obra, verificou-se que esta se encontrava na fase de execução de revestimentos, como mostra a figura 1.d.

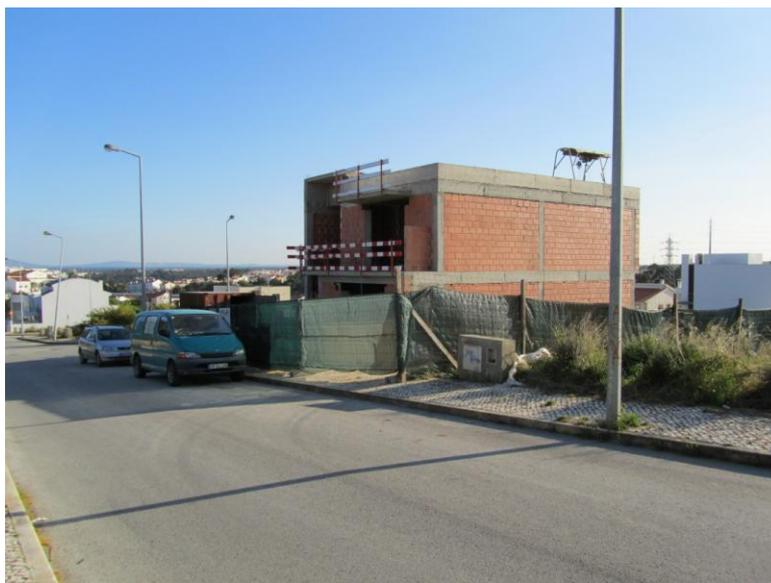


Figura 1.d - Perspectiva global da habitação

A figura 2.d ilustra uma situação de ligação de parede exterior com laje de pios intermédio. Verifica-se que para a parede de alvenaria em contacto com o exterior adoptou-se parede dupla com tijolo de 15cm pelo interior e tijolo de 11cm pelo exterior, com a caixa de ar junto ao pano interior e

uma placa de isolamento térmico lã de rocha de 4 cm. De realçar, que não é feita qualquer correcção térmica da viga, como se pode ver na mesma figura com o isolamento térmico lã de rocha, efectuando-se o revestimento da viga pelo interior com forra cerâmica de 4 cm de espessura.



Figura 2.d - Vista pelo interior sobre uma zona de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio



Figura 3.d - Vista pelo exterior sobre uma zona de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio



Figura 4.d - Vista pelo exterior da pala



Figura 5.d - Vista pelo exterior da habitação



Figura 6.d - Vista pelo exterior de uma zona de ligação de parede exterior com cobertura



Figura 7.d - Vista pelo exterior sobre vão para caixa -de -estore

Observações

Na construção das paredes exteriores de alvenaria, a disposição dos elementos construtivos que compõem a parede dupla é errada. A caixa - de -ar é colocada junto ao pano interior, colocando em causa muitas das funções que são atribuídas à solução construtiva denominada de parede dupla. Não se observou qualquer correcção térmica dos elementos estruturais.

RELATÓRIO DE OBRA 5		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Habitação multifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Execução de revestimentos
<i>Localização:</i> Quinta da Ladeira Ltº2 Paio Pires	<i>Data de início:</i> 04/12/2008	<i>Prazo de execução:</i> 3 anos
<i>Dono-de-obra:</i> Predial Antunes Ferreira II construções Lda	<i>Empreiteiro:</i> Predial Antunes Ferreira II construções Lda	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 10000000 Euros	<i>Visita nº.1</i>	<i>Data da visita:</i> 7 de Março de 2011

Descrição

Foi feita uma visita a um edifício multifamiliar, situado no Seixal, com seis pisos acima da cota de soleira e dois pisos abaixo da cota de soleira - Figura 1.e.



Figura 1.e - Perspectiva global da obra

Verificou-se que, esta obra se encontrava em fase colocação de impermeabilizações e isolamento nas paredes da envolvente em contacto com o exterior.

A solução construtiva adoptada para as paredes de alvenaria em contacto com o exterior é o sistema construtivo designado por sistema "ETICS", como se pode ver na figura 2.e.



Figura 2.e - Vista sobre a parede exterior

O sistema construtivo "ETICS" pertence à classe de sistemas térmicos de fachada pelo exterior com rebocos armados directamente aplicados sobre o isolamento térmico. Estes sistemas são constituídos por uma camada de isolamento térmico (neste caso, o poliestireno expandido) aplicada sobre o suporte (neste caso, um pano de alvenaria de tijolo térmico) - Figura 3.e, e um paramento exterior para protecção, em particular, das solicitações climáticas e mecânicas.



Figura 3.e - Pano de alvenaria de tijolo térmico



Figura 4.e - Sistema construtivo "ETICS"

Observações

O sistema construtivo "ETICS" tem como vantagem permitir eliminar todas as pontes térmicas, uma vez que o isolamento térmico envolve a totalidade do edifício. Outra das vantagens reside no facto de serem eliminados todos os conflitos provocados pelas dilatações diferentes dos elementos de uma fachada em especial o betão e a alvenaria de tijolo. Como desvantagem tem o facto de, quando sujeito a radiação solar directa o isolamento perder parte do efeito isolador. Outra desvantagem consiste no facto de se perder calor nos diversos materiais até ao isolamento térmico, quando se aquece o edifício.

RELATÓRIO DE OBRA 6		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Habitação unifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Execução de revestimentos
<i>Localização:</i> Quinta do Conde	<i>Data de início:</i> 07/12/2010	<i>Prazo de execução:</i> 1 ano
<i>Dono-de-obra:</i> João António Pires	<i>Empreiteiro:</i> João António Pires	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 200000 Euros	<i>Visita nº.1</i>	<i>Data da visita:</i> 7 de Março de 2011

Descrição

Foi feita uma visita a uma obra situada na Quinta do Conde, encontrando-se em fase de execução de revestimentos, como se pode ver na figura 1.f.



Figura 1.f - Perspectiva global da habitação

Para a parede de da envolvente em contacto com o exterior foi adoptada a solução de pano duplo, com a placa de isolamento térmico poliestireno extrudido de 4 cm de espessura a ocupar todo o espaço existente entre os dois panos de alvenaria exterior e interior de 15 e 11 cm de espessura, respectivamente, como se pode observar na figura 2.f.



Figura 2.f - Vista pelo interior da parede da envolvente exterior



Figura 3.f - Vista pelo interior da parede dupla

As duas situações de ponte térmica que se conseguiram observar foram as seguintes:

- Pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior;
- Ligação de parede exterior com laje de piso intermédio.

No caso do pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior, foi realizada a correcção térmica pelo exterior com uma placa de isolamento térmico poliestireno extrudido de 4 cm de espessura, como se pode ver nas figuras 4.f.

Na situação de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio, efectuou-se a mesma correcção térmica do elemento estrutural viga que se utilizou no pilar.



Figura 4.f - Vista sobre o pilar inserido no mesmo alinhamento da parede exterior



Figura 5.f - Vista sobre uma situação de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio

Observações

O facto de se construir parede exterior com dois panos de tijolo e isolamento, mas sem caixa de ar e o isolamento ser impermeável à água, vai ter como consequência, o vapor de água não conseguir atravessá-lo, ficando no interior da construção.

RELATÓRIO DE OBRA 7		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Habitação multifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Execução de revestimentos
<i>Localização:</i> Montijo	<i>Data de início:</i> 16/09/2010	<i>Prazo de execução:</i> 1 ano
<i>Dono-de-obra:</i> Canuir Construções, Lda	<i>Empreiteiro:</i> Canuir Construções, Lda	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 500000	<i>Visita nº.1</i>	<i>Data da visita:</i> 11 de Março de 2011

Descrição

Foi realizada uma visita a um edifício multifamiliar com cinco pisos acima da cota de soleira e uma cave, localizado no Montijo - Figura 1.g.



Figura 1.g - Perspectiva global do edifício

Para as paredes da envolvente exterior foi utilizada a solução construtiva de pano duplo com uma placa de lã de rocha de 4 cm de espessura a ocupar a totalidade do espaço existente entre os dois panos de tijolo de 11 cm, como se pode ver nas figuras 2.g e 3.g.



Figura 2.g - Vista pelo interior de uma zona de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio

Na figura 2.g tem-se uma ilustração de uma zona de ligação da parede exterior com laje de piso intermédio. Nesta situação pode-se observar a correcção da ponte térmica da viga pelo interior com uma placa de lã de rocha de 2 cm de espessura e revestida com tijolo cerâmico de 4cm de espessura.



Figura 3.g - Vista sobre a parede de pano duplo

Observações

Na situação de ponte térmica que se conseguiu observar, pôde-se verificar que a correcção térmica dos elementos estruturais é realizada sem que exista continuidade do isolamento térmico na zona de transição entre os elementos estruturais e a zona corrente.

RELATÓRIO DE OBRA 8		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Habitação Multifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Execução de Revestimentos
<i>Localização:</i> Montijo	<i>Data de início:</i> ...	<i>Prazo de execução:</i> 1 ano
<i>Dono-de-obra:</i> A.C. Almeida - Construções, Lda.	<i>Empreiteiro:</i> A.C. Almeida - Construções, Lda.	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 700 000 Euros	<i>Visita nº.1</i>	<i>Data da visita:</i> 11 de Março de 2011

Descrição

Foi realizada uma visita a uma obra que será uma habitação multifamiliar, com 5 pisos acima da cota de soleira e um abaixo do nível do solo, situada no Montijo - Figura 1.h.



Figura 1.h - Perspectiva global do edifício

A visita permitiu verificar que a obra se encontrava em fase de execução de revestimentos. Para as paredes da envolvente exterior foi utilizada a solução construtiva de pano duplo com uma placa de lâ de rocha de 4 cm de espessura a ocupar a totalidade do espaço existente entre os dois panos de tijolo de 11 cm, como se pode ver nas figuras 2.h e 3.h.

A figura 2.h ilustra uma situação de ligação de parede exterior com caixa - de - estore. Pode-se verificar que é executado o revestimento da caixa - de - estore pelo interior com uma placa de poliestireno expandido de 4 cm de espessura.



Figura 2.h - Vista sobre uma zona de ligação de parede exterior com caixa - de - estore



Figura 3.h - Vista pelo exterior de uma zona de ligação de parede exterior com laje de piso intermédio



Figura 4.h - Perspectiva lateral do edifício



Figura 5.h - Vista pelo exterior do edifício

Observações

Não foi efectuada qualquer correcção térmica dos elemento estruturais de betão armado (vigas e pilares).

RELATÓRIO DE OBRA 9		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
Nome da obra: Habitação Unifamiliar		Fase da obra: Execução de Paredes
Localização: Oeiras – Paço D’Arcos	Data de início: .../2010	Prazo de execução: 1 ano
Dono-de-obra: Anónimo	Empreiteiro: Anónimo	Fiscalização: Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
Valor empreitada: 500 000 Euros	Visita nº. 1	Data da visita: 25 - Novembro -2010

Descrição

Foi realizada uma visita a uma habitação unifamiliar situada em Oeiras. Esta habitação tem um piso abaixo da cota de soleira e dois pisos acima do nível do solo - Figura 1.i.



Figura 1.i - Vista pelo exterior da habitação

Para a parede da envolvente em contacto com exterior foi adoptada a solução de parede dupla. A parede é constituída por um pano de alvenaria interior de 11cm e caixa de ar, duas placas de isolamento térmico de poliestireno extrudido e lã de rocha , uma de 4 cm de espessura e outra de 3 cm de, respectivamente, e um pano de alvenaria exterior de 15 cm. A lâmina - de - ar de 2 cm de

espessura encontra-se entre o pano de alvenaria interior e a placa de isolamento térmico XPS - Figuras 2.i e 3.i.



Figura 2.i - Vista sobre a parede exterior

A disposição construtiva da parede exterior não cumpre as regras de qualidade da que estão associadas à execução da parede dupla, encontrando-se a caixa -de -ar junto do pano interior da parede. De realçar que, esta construção se encontrava perto de uma via férrea e deduz-se que por essa razão se colocou lã de rocha pelo facto de nas suas características possuir a propriedade de bom isolante acústico.



Figura 3.i - Vista sobre uma zona de ligação de parede exterior com caixilharia



Figura 4.i - Vista pelo exterior da cave

Na vista sobre o interior da garagem (nesta construção, espaço aquecido) - Figura 6.i, verifica-se que as pontes térmicas serão corrigidas pelo interior, existindo o desfaseamento entre o pano interior da parede dupla e os elementos estruturais.



Figura 6.i - Vista pelo interior da cave

Na vista sobre uma das entradas do piso enterrado pode se ver que na laje superior a ponte térmica será corrigida com a aplicação de isolamento térmico pelo exterior.



Figura 7.i - Desfasamento entre o elemento estrutural pilar e a parede exterior para a aplicação do isolamento térmico

A figura 8.i ilustra uma zona de ligação entre duas verticais com o pilar saliente em relação às paredes. Efectua-se a correcção térmica do pilar com uma placa de isolamento térmico de 3 cm de espessura pelo interior, terminando com o revestimento com tijolo cerâmico de 4 cm de espessura. O isolamento térmico aplicado no elemento estrutural tem continuidade na zona de transição entre o pilar e a zona corrente.



Figura 8.i - Vista sobre uma zona de ligação entre duas paredes verticais com o pilar saliente em relação às paredes

Observações

Nesta habitação são efectuadas as das pontes térmicas dos elementos estruturais pelo exterior nos pisos acima do nível da cota de soleira e pelo interior no piso abaixo do nível do solo.

A solução de parede dupla não cumpre as regras de qualidade que lhe estão associadas, existindo má disposição dos elementos que a compõem.

RELATÓRIO DE OBRA 10		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Habitação Unifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Correção de pontes térmicas
<i>Localização:</i> Funchalinho - Almada	<i>Data de início:</i> .../2008	<i>Prazo de execução:</i> 1 ano
<i>Dono-de-obra:</i> Anónimo	<i>Empreiteiro:</i> Anónimo	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 150 000 Euros	<i>Visita nº.1</i>	<i>Data da visita:</i> 25 de Setembro de 2008

Descrição

Realizou-se uma visita a uma habitação unifamiliar localizada no Funchalinho. Esta habitação tem dois pisos acima da cota de soleira e um piso abaixo do nível do solo - Figura 1.j.



Figura 1.j - Perspectiva geral da obra

A solução adoptada para as paredes da envolvente em contacto com exterior foi de parede dupla com dois panos de alvenaria de tijolo de 11 cm, com caixa de ar de 3 cm de espessura e uma placa de isolamento térmico poliestireno extrudido de 4 cm de espessura colocada junto ao pano interior - Figura 2.j.



Figura 2.j - Vista sobre a parede da envolvente em contacto com o exterior

Nos pisos acima da cota de soleira foi efectuada a correcção das pontes térmicas dos elementos estruturais pelo exterior com placas de isolamento térmico de 3 cm de espessura - Figura 3.j. No piso abaixo do nível do solo (zona aquecida) vai ser efectuada a correcção dos elementos estruturais pelo interior - Figura 4.j.



Figura 3.j - Vista pelo exterior da habitação



Figura 4.j - Vista pelo interior da cave

Não foi efectuada impermeabilização pelo exterior, tendo sido só aplicado uma tela alveolar para permitir a protecção do betão contra agentes corrosivos no solo, sendo que a humidade que atravessa exteriormente é captada pelo interior - Figura 5.j.



Figura 5.j - Vista pelo exterior da cave

Observações

Verifica-se, que nas zona de ponte térmica não existe continuidade do isolamento térmico nas zonas de transição entre a zona corrente e os elementos estruturais.

RELATÓRIO DE OBRA 11		- Júlio Pessoa nº27595
Dissertação 2010/2011		
<i>Nome da obra:</i> Edifício multifamiliar		<i>Fase da obra:</i> Execução de revestimentos
<i>Localização:</i> Amadora	<i>Data de início:</i> 30/08/2010	<i>Prazo de execução:</i> -
<i>Dono-de-obra:</i> -	<i>Empreiteiro:</i> -	<i>Fiscalização:</i> Perito Qualificado no Sistema de Certificação Energética
<i>Valor empreitada:</i> 300000 Euros	<i>Visita nº1</i>	<i>Data da visita:</i> 9 de Março de 2011

Descrição

Foi realizada uma visita a uma obra situada na Amadora, que terá a utilização de edifício multifamiliar com dois pisos acima da cota de soleira e um piso abaixo do nível do solo - Figura 1.k.



Figura 1.k - Vista pelo exterior da habitação

Para a parede da envolvente em contacto com o exterior adoptou--se o sistema construtivo designado por sistema "ETICS" - Figuras 2.k e 3.k.



Figura 2.k - Vista sobre a parede da envolvente em contacto com o exterior

O sistema construtivo "ETICS" pertence à classe de sistemas térmicos de fachada pelo exterior com rebocos armados directamente aplicados sobre o isolamento térmico. Estes sistemas são constituídos por uma camada de isolamento térmico (neste caso, o poliestireno expandido) aplicada sobre o suporte (neste caso, um pano de alvenaria de tijolo de 11 cm) - Figura 3.k.



Figura 3.k - Elementos constituintes do sistema "ETICS"

Observações

O sistema "ETICS" tem como vantagem permitir eliminar todas as pontes térmicas, uma vez que o isolamento térmico envolve a totalidade do edifício. Outra das vantagens reside no facto de

serem eliminados todos os conflitos provocados pelas dilatações diferentes dos elementos de uma fachada em especial o betão e a alvenaria de tijolo. Como desvantagem tem o facto de, quando sujeito a radiação solar directa o isolamento perder parte do efeito isolador, além de que, quando se aquece o edifício perde-se calor nos diversos materiais até ao isolamento.

Anexo 2

Caracterização do caso de estudo

FICHA N.º1	
REGULAMENTO DAS CARACTERISTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)	
Demonstração da conformidade Regulamentar para emissão de Licença ou Autorização Construção (Nos termos da alínea a) do n.º.2 do artigo 12º.)	
Câmara Municipal de:	Almada
Edifício:	Lote 84
Localização:	Almada
Nº de fracções autónomas: 1 (4º piso)	
Para cada fracção autónoma ou corpo incluir:	
Ficha 2 - Levantamento Dimensional	
Ficha 3 - Comprovação de Satisfação dos Requisitos Mínimos	
Fichas FC IV e FC V (Anexos IV e V do RCCTE)	

PAREDES (descrição sumária e valor de U)	ÁREAS (m ²) POR ORIENTAÇÃO								
	N	NE	E	SE	S	S W	W	NW	Total
Parede Exterior_zc U=0,54 W/m ² .°C	27,79		9,84		1,35		9,3		48,28
Parede Exterior_ptp1 (pilar) U=0,82 W/m ² .°C	0,96		1,66						2,62
Parede Exterior_ptp2 (estore) U=0,90 W/m ² .°C			1,26				1,99		3,25
Parede Interior_zc 2 U=0,71 W/m ² .°C					10,1 3				10,13
Parede Interior_zc 1 (edifício adjacente) U=0,89 W/m ² .°C					11,1 3				11,13
Parede Interior_ptp1 (elevador) U=0,82W/m ² .°C			4,23		4,34				8,57
Parede Interior_ptp2 (circulação comum) U=0,94 W/m ² .°C					1,78				1,78
Parede Interior_ptp3 (ed. Adjacente) U=0,83 W/m ² .°C					2,49				2,49
Envidraçados Geral U=2,7 W/m ² .°C			8,52				17,1 5		25,67
Envidraçado I.S. 4.9 U= 3,7 W/m ² .°C	1,23								1,23

Folha de cálculo FC IV.1b

Perdas associadas à envolvente opaca vertical interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis	Área	U	τ	$\tau U A$
	(m ²)	(W/m ² .°C)	(-)	(W/°C)
Sala 4.4._S_zc1	11,13	0,61	0,60	4,07
Sala 4.4._S_ptp3	2,49	1,01	0,60	1,51
Sala 4.4._E_ptp1	3,95	0,75	0,50	1,48
Hall 4.2._S_ptp1	4,34	0,75	0,50	1,63
Hall 4.2._E_porta	1,98	2,50	0,50	2,48
Hall 4.2._E_ptp1	0,28	0,75	0,50	0,11
Cozinha 4.3._S_zc2	10,13	0,72	0,50	3,65
Cozinha 4.3._S_ptp2	1,78	0,89	0,50	0,79
				0,00
			TOTAL	15,71

Coberturas Interiores	Área	U	τ	$\tau U A$
	(m ²)	(W/m ² .°C)	(-)	(W/°C)
Cobertura interior_zc	1,58	0,85	0,50	0,67
				0,00
				0,00
			TOTAL	0,71

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/°C)	TOTAL	16,38
---	--------	-------	-------

Folha de cálculo FC IV.1c

Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área	U	U.A
	(m ²)	(W/m ² .°C)	(W/°C)
Verticais:			
Cozinha 4.3_Este	4,08	2,70	11,02
Quarto 4.5_Este	1,50	2,70	4,05
Quarto 4.6_Este	2,94	2,70	7,94
I.S 4.9_Norte	1,23	3,70	4,53
Quarto 4.8_Oeste	2,40	2,70	6,48
Quarto 4.7_Oeste	2,88	2,70	7,78
Sala 4.4_Oeste	11,87	2,70	32,05
Horizontais:			
			0,00
			0,00
			0,00
	26,90	TOTAL	73,84

Folha de cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à renovação de ar

Área Útil de Pavimento	<input type="text" value="111,88"/>	(m ²)
	x	
Pé-direito médio	<input type="text" value="2,55"/>	(m)
	=	
Volume interior	<input type="text" value="285,29"/>	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumpre a NP 1037-1? (S ou N) se SIM:

Se NÃO:

Classe da Caixilharia (s/c, 1, 2 ou 3) - Taxa de Renovação Nominal:

Caixas de Estore (S ou N) -

Classe de Exposição (1, 2, 3 ou 4) -

Aberturas auto-reguláveis? -

Área de envidraçados > 15% Ap? -

Portas Exteriores bem vedadas? -

Volume m³

Taxa de Renovação Nominal h⁻¹

x (W.h/m³°C)

= (W/°C)

TOTAL

Folha de cálculo FC IV.1f

Valor máximo de necessidades de aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		54,15
Coberturas exteriores		110,30
Pavimentos exteriores		0,00
Envidraçados exteriores		26,90
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	191,35
Paredes interiores		19,40
Coberturas interiores		0,79
Pavimentos interiores		0,00
Envidraçados interiores		0,00
Área total:		211,54
Volume (de FCIV.1d):		/
		285,29
		=
Factor de forma FF		0,74
Graus-dias no local (°C.dia)		1160,00
$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$	Para $FF \square 0,5$	Auxiliar 50,32
$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}$	Para $0,5 < FF \square 1$	60,68
$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}] (1,2 - 0,2FF)$	Para $1 < FF \square 1,5$	63,82
$N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$	Para $FF > 1,5$	83,92
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - N_i (kWh/m².ano)		60,68

Anexo 3: Tabelas de cálculo do RCCTE: Caso de estudo com correcção térmica dos elementos estruturais, não existindo continuidade do isolamento térmico

FICHA N.º 2
 REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS
 LEVANTAMENTO DIMENSIONAL,
 (Nos termos do artigo 12.º, n.º 2, alínea b)
 (PARA UMA ÚNICA FRACÇÃO AUTÓNOMA)

Edifício/FA : Lote 84/4º piso

Área útil de pavimento:	111,88	Pé direito médio (ponderado):	2,55
--------------------------------	--------	--------------------------------------	------

Elementos correntes da envolvente		A	U
		(m ²)	(W/m ² .°C)
PAVIMENTOS			
sobre exterior			
sobre área não útil			
Total			
PAREDES			
Ext. (total)	48,28		0,54
Interiores	21,26		0,72
Pontes térmicas planas	18,71		(ver quadro)
Total	88,25		
COBERTURAS			
não ventilado	1,577		
ventilado	110,30		
planas	110,30		0,87
sob área não útil	1,57		0,85
Total	111,88		

Elementos em Contacto com o Solo		comp. (m)	Ψ (W/m.°C)
PAVIMENTOS			
PAREDES			

Pontes Térmicas		
	comp. (m)	Ψ (W/m.°C)
FACHADA COM PAVIMENTO:		
térreo		
intermédios	31,80	0,45
sobre locais não aquecidos ou exteriores	-	-
FACHADA COM COBERTURA		
cobertura	31,8	0,62
varanda	6,7	0,35
caixa de estore	57,42	0,20
peitoril / padieira		0,15
Pilar inserido na zona corrente	6,9	
LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES	4,6	0,34

COEFICIENTE DE ABSORÇÃO - α	
PAREDE	COBERTURA
0,4	0,4

Folha de cálculo FC IV.1a

Perdas associadas à envolvente opaca vertical exterior

Paredes Exteriores	Área	U	U A
	(m ²)	(W/m ² .°C)	(W/°C)
Quarto 4.6_N_zc	10,98	0,54	5,93
Quarto 4.6_N_ptp 1	0,32	0,82	0,26
I.S._N_zc	3,75	0,54	2,03
I.S._N_ptp 1	0,64	0,82	0,52
Quarto 4.8_N_zc	11,02	0,54	5,95
Quarto 4.8_W_zc	4,31	0,54	2,33
Quarto 4.8_W_ptp 2	0,3	0,9	0,27
Quarto 4.7_N_zc	2,04	0,54	1,10
Quarto 4.7_W_zc	4,86	0,54	2,62
Quarto 4.7_W_ptp 2	0,43	0,9	0,39
Sala 4.4_W_zc	0,13	0,54	0,07
Sala 4.4_W_ptp 2	1,26	0,9	1,13
Sala 4.4_S_zc	1,35	0,54	0,73
Quarto 4.6_E_zc	3,45	0,54	1,86
Quarto 4.6_E_ptp 1	0,64	0,82	0,52
Quarto 4.6_E_ptp 2	0,37	0,9	0,33
Quarto 4.5_E_zc	5,27	0,54	2,85
Quarto 4.5_E_ptp 2	0,38	0,9	0,34
Cozinha_E_zc	1,12	0,54	0,60
Cozinha_E_ptp 1	1,02	0,82	0,84
Cozinha_E_ptp 2	0,51	0,9	0,46
	54,15	TOTAL	31,14
Coberturas	Área	U	U A
	(m ²)	(W/m ² .°C)	(W/°C)
Cobertura_zc_ascendente	110,30	0,87	95,96

Pontes térmicas lineares	Comp.	ψ	ψ B
	B (m)	(W/m.°C)	(W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada c/pav. sobre garagem e desvão			0,00
Fachada com pavimentos intermédios	18,72	0,45	8,42
Fachada com cobertura	21,59	0,62	13,39
Fachada com varanda	11,29	0,35	3,95
Duas paredes verticais	4,6	0,7	3,22
Fachada com caixa de estore	13,66	0	0,00
Pilar inserido em zona de fachada			
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	57,42	0,2	11,48
Pilar inserido em zona de fachada	6,9	0,34	2,35
		TOTAL	42,81

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação	Tipo	Área (m ²)	X()	g [^] (-)	F _s (-) F _h F _o F _f	F _g (-)	F _w (-)	A _e (m ²)
Cozinha 4.3_Este	Duplo	4,08	0,56	0,63	0,78	0,70	0,90	0,47
Quarto 4.5_Este	Duplo	1,50	0,56	0,63	0,88	0,70	0,90	0,18
Quarto 4.6_Este	Duplo	2,94	0,56	0,63	0,87	0,70	0,90	0,27
Instalação sanitária 4.9_Norte	Duplo	1,23	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,12
Quarto 4.8_Oeste	Duplo	2,40	0,56	0,63	0,42	0,70	0,90	0,47
Quarto 4.7_Oeste	Duplo	2,88	0,56	0,63	0,53	0,70	0,90	0,56
Sala 4.4_Oeste	Duplo	11,87	0,56	0,63	0,52	0,70	0,90	2,06

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)

4,13

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{sul})
na zona II (kWh/m².mês)

108,00

x

Duração da estação de aquecimento (meses)

5,30

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

2364,26

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	4,00	(W/m ²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	5,30	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	111,88	(m ²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	1707,74	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$$

4071,99
8862,62

Inércia do edifício:

3,00

a =

4,2

 $\gamma =$

0,47

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos

 (η)

0,98

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

4071,99

x

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)

3986,54

Folha de cálculo FC IV.2

Cálculo do valor de Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	169,92
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	16,38
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	73,84
Renovação de ar (de FCIV.1d)	58,20

Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	318,34
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1160,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	8862,62
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	3990,60
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	4876,09
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	111,88
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - N _{ic} (kWh/m ² .ano)	43,58
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - N _i (kWh/m ² .ano)	60,68
	REGULAMENTAR

Anexo 4: Tabelas de cálculo do RCCTE: Caso de estudo com correcção térmica dos elementos estruturais, existindo continuidade do isolamento térmico

Folha de cálculo FC IV.1a

Perdas associadas à envolvente opaca vertical exterior

Paredes Exteriores	Área	U	U A
	(m ²)	(W/m ² .°C)	(W/°C)
Quarto 4.6_N_zc	10,98	0,54	5,93
Quarto 4.6_N_ptp 1	0,32	0,82	0,26
I.S._N_zc	3,75	0,54	2,03
I.S._N_ptp 1	0,64	0,82	0,52
Quarto 4.8_N_zc	11,02	0,54	5,95
Quarto 4.8_W_zc	4,31	0,54	2,33
Quarto 4.8_W_ptp 2	0,3	0,9	0,27
Quarto 4.7_N_zc	2,04	0,54	1,10
Quarto 4.7_W_zc	4,86	0,54	2,62
Quarto 4.7_W_ptp 2	0,43	0,9	0,39
Sala 4.4_W_zc	0,13	0,54	0,07
Sala 4.4_W_ptp 2	1,26	0,9	1,13
Sala 4.4_S_zc	1,35	0,54	0,73
Quarto 4.6_E_zc	3,45	0,54	1,86
Quarto 4.6_E_ptp 1	0,64	0,82	0,52
Quarto 4.6_E_ptp 2	0,37	0,9	0,33
Quarto 4.5_E_zc	5,27	0,54	2,85
Quarto 4.5_E_ptp 2	0,38	0,9	0,34
Cozinha_E_zc	1,12	0,54	0,60
Cozinha_E_ptp 1	1,02	0,82	0,84
Cozinha_E_ptp 2	0,51	0,9	0,46
	54,15	TOTAL	31,14

Coberturas	Área	U	U A
	(m ²)	(W/m ² .°C)	(W/°C)
Cobertura_zc_ascendente	110,30	0,87	95,96

Pontes térmicas lineares	Comp.	ψ	ψB
	B (m)	(W/m.°C)	(W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada c/pav. sobre garagem e desvão			0,00
Fachada com pavimentos intermédios	18,72	0,42	7,86
Fachada com cobertura	21,59	0,58	12,52
Fachada com varanda	11,29	0,35	3,95
Duas paredes verticais	4,6	0,35	1,61
Fachada com caixa de estore	13,66	0	0,00
Pilar inserido em zona de fachada			
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	57,42	0,2	11,48
Pilar inserido em zona de fachada	6,9	0,15	1,04
Outras (descrição...)			0,00
		TOTAL	38,47

Perdas pela envolvente exterior	(W/°C)	TOTAL	165,57
--	---------------	--------------	---------------

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação	Tipo	Área (m ²)	X()	g [^] (-)	F _s (-) F _h F _o F _f	F _g (-)	F _w (-)	A _e (m ²)
Cozinha 4.3_Este	Duplo	4,08	0,56	0,63	0,78	0,70	0,90	0,47
Quarto 4.5_Este	Duplo	1,50	0,56	0,63	0,88	0,70	0,90	0,18
Quarto 4.6_Este	Duplo	2,94	0,56	0,63	0,87	0,70	0,90	0,27
Instalação sanitária 4.9_Norte	Duplo	1,23	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,12
Quarto 4.8_Oeste	Duplo	2,40	0,56	0,63	0,42	0,70	0,90	0,47
Quarto 4.7_Oeste	Duplo	2,88	0,56	0,63	0,53	0,70	0,90	0,56
Sala 4.4_Oeste	Duplo	11,87	0,56	0,63	0,52	0,70	0,90	2,06

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)

4,13

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{sol})
na zona II (kWh/m².mês)

108,00

x

Duração da estação de aquecimento (meses)

5,30

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

2364,26

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	4,00	(W/m ²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	5,30	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	111,88	(m ²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	1707,74	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} = \frac{4071,99}{8741,63}$$

Inércia do edifício:

3,00

a =

4,2

 $\gamma =$

0,47

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos

(η)

0,98

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

x
4071,99

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)

3982,4

Folha de cálculo FC IV.2

Cálculo do valor de Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	165,57
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	16,38
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	73,84
Renovação de ar (de FCIV.1d)	58,20
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	314,00
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1160,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	8741,63
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	3982,40
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	4759,22
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	111,88
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - N _{ic} (kWh/m ² .ano)	42,54
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - N _i (kWh/m ² .ano)	60,68
	REGULAMENTAR

