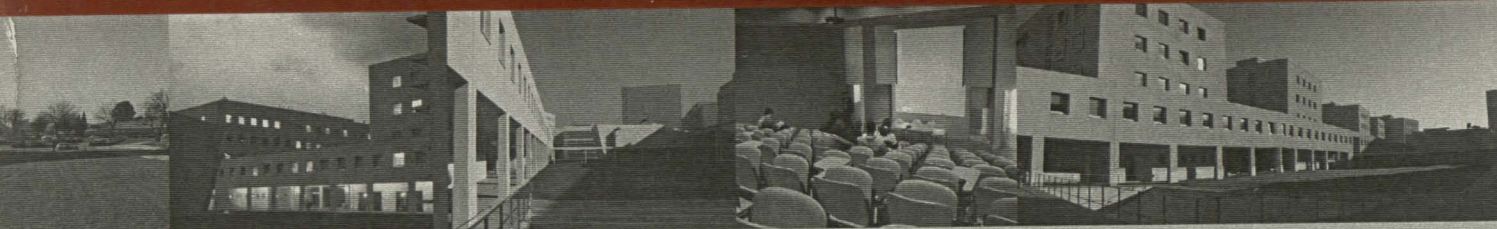




Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP



Maria Isabel Lopes Marcelino Dias de Abreu

Correcção de Pontes Térmicas em Intervenções de Reabilitação



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

CORRECÇÃO DE PONTES TÉRMICAS EM INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO

Maria Isabel Lopes Marcelino Dias de Abreu

**Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
mestre em Construção de Edifícios**

**Dissertação realizada sob a supervisão da Professora Doutora Maria Helena Corvacho,
do Departamento de Engenharia Civil
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

Porto, Julho de 2003

UNIVERSIDADE DO PORTO

Faculdade de Engenharia

BIBLIOTECA M

N.º 68467

CDU 624(043)

Data 12.7.2004

RESUMO

O problema das pontes térmicas é hoje um dos defeitos mais correntes nos edifícios portugueses. Tem sido prática corrente realizar correcções de pontes térmicas que equivalem a forras cerâmicas a envolver os elementos estruturais, com o propósito de resolver o problema. No entanto, a melhoria do comportamento térmico introduzida por estas soluções é praticamente nula. Para além disso, tem sido demasiado frequente o aparecimento de novas patologias decorrentes desta prática. Por outro lado, as zonas de ponte térmica são os pontos preferenciais das fachadas para a concentração de tensões, o que origina, nessas zonas, diversas anomalias de carácter mecânico. Estas fragilidades deram às zonas de ponte térmica o protagonismo nas patologias das fachadas. A prevenção destas anomalias é, assim, indispensável. Existe contudo um enorme número de edifícios, recentemente construídos, com problemas deste tipo, nos quais é essencial proceder a acções de reabilitação.

Neste trabalho são identificadas as patologias nas zonas referidas e é realizado um diagnóstico das causas possíveis.

Identificando as situações de ponte térmica mais problemáticas, é realizado um estudo e são propostas soluções construtivas de reabilitação para melhoria do seu comportamento térmico, que também desempenhem mecanicamente um papel eficaz e se enquadrem harmoniosamente na arquitectura de fachada ou na decoração dos espaços interiores.

Propõem-se também soluções de reabilitação para as anomalias construtivas nestas zonas, dando especial atenção à resolução das anomalias em situações de alvenaria não confinada originadas pelas tentativas de correcção térmica com recurso às forras cerâmicas exteriores. Apresentam-se soluções com a preocupação de resolver simultaneamente o problema da ponte térmica e outras patologias relativas ao funcionamento mecânico.

Palavras-chave: “Ponte térmica”, “Correcção Térmica”, “Patologia”, “Reabilitação”

ABSTRACT

The problem of thermal bridges is today one of the most current problem in the Portuguese buildings. In order to solve the problem, it is usual to make the correction of thermal bridges using brick coverings of the structural elements. However, the improvement of the thermal behaviour introduced by these solutions is practically null. Besides, the arising of new pathologies due to this practice has been too much frequent. On the other hand, the thermal bridges are the preferential points of the façades for the concentration of tensions, resulting, in these zones, many anomalies of mechanical character. These fragilities have given to thermal bridges the protagonism in façade's pathologies. The prevention of this type of anomalies is essential. However, there are an enormous number of buildings constructed with problems of this type, which is essential to rehabilitate.

In this work, the pathologies in the mentioned zones are identified and a diagnosis of the possible causes is carried out.

Identifying the most problematic situations of thermal bridge, constructive solutions of rehabilitation are proposed for the improvement of its thermal behaviour and also for an efficient mechanical performance, fitting harmoniously with the architecture of façades and with decoration of the interior spaces.

Rehabilitation solutions for the constructive anomalies in these zones are also proposed, with special attention to resolution of the anomalies in outer leaf cavity walls originated by thermal correction with brick coverings. Solutions are presented that solve simultaneously the problem of thermal bridges and the other pathologies concerning mechanical performance.

Key-Words: "Thermal Bridge", "Thermal Correction", "Pathology", "Rehabilitation"

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE QUADROS.....	XXIII

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 ÂMBITO DO TRABALHO.....	1
1.2 OBJECTIVOS.....	2
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3

CAPÍTULO 2

PRÁTICA CONSTRUTIVA PORTUGUESA E ESTADO DO CONHECIMENTO NESTE DOMÍNIO

2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SISTEMAS TRADICIONAIS DE PAREDES DE ALVENARIA.....	5
2.1.1 <i>Introdução</i>	5
2.1.2 <i>Os sistemas construtivos utilizados actualmente em paredes exteriores de alvenaria</i>	5
2.1.2.1 Paredes de alvenaria confinada.....	6
2.1.2.2 Paredes de alvenaria não confinada	7
2.1.2.3 Considerações sobre os pontos singulares das alvenarias correntes.....	8
2.1.2.4 A prática construtiva portuguesa no que respeita à correcção das pontes térmicas.....	9
2.1.3 <i>Noções elementares do estado do conhecimento sobre o funcionamento mecânico das alvenarias</i>	16
2.2 A INVESTIGAÇÃO NO DOMÍNIO DA CORRECÇÃO DE PONTES TÉRMICAS EM INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO.....	18
2.2.1 <i>Aspectos gerais</i>	18
2.2.2 <i>Relativamente à vertente térmica do problema</i>	18
2.2.3 <i>Relativamente à vertente construtiva</i>	23

CAPÍTULO 3

PATOLOGIAS ASSOCIADAS ÀS ZONAS DE PONTE TÉRMICA

3.1 INTRODUÇÃO	27
3.2 PATOLOGIAS DIRECTAMENTE DECORRENTES DA EXISTÊNCIA DE PONTES TÉRMICAS	27
3.2.1 <i>Considerações gerais</i>	27
3.2.2 <i>Condensações Superficiais</i>	28
3.2.3 <i>Ocorrência de Bolores e a Degradação dos Revestimentos</i>	29
3.2.4 <i>Heterogeneidade de temperaturas na superfície</i>	31
3.3 PATOLOGIAS OBSERVADAS ACTUALMENTE EM ZONAS DE PONTE TÉRMICA	31
3.3.1 <i>Considerações gerais</i>	31
3.3.2 <i>Descrição do tipo de patologias</i>	32
3.4 FENÓMENOS FÍSICOS RESPONSÁVEIS POR PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM ZONAS DE PONTES TÉRMICAS	37
3.4.1 <i>Considerações gerais</i>	37
3.4.2 <i>Solicitações de origem térmica</i>	38
3.4.2.1 <i>Variações dimensionais das coberturas</i>	39
3.4.2.2 <i>Variações dimensionais das paredes</i>	41
3.4.2.3 <i>Variações dimensionais das estruturas</i>	45
3.4.3 <i>VARIAÇÕES DO TEOR DE HUMIDADE DOS MATERIAIS</i>	46
3.4.3.1 <i>Conceitos gerais</i>	46
3.4.3.2 <i>A expansão dos tijolos cerâmicos</i>	46
3.4.3.3 <i>Retracção da argamassa de assentamento</i>	48
3.4.3.4 <i>Retracção das estruturas reticuladas</i>	48
3.4.3.5 <i>Variação de humidade dos materiais em face da humidade ambiente</i>	49
3.5 CONCEPÇÃO E PROJECTO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	50
3.5.1 <i>O centro de gravidade dos edifícios</i>	50
3.5.2 <i>Dimensionamento dos elementos estruturais</i>	50
3.5.3 <i>Fachadas em balanço e suas deformações</i>	51
3.5.4 <i>Ligações entre elementos construtivos</i>	52
3.5.5 <i>Esbelteza das alvenarias</i>	53
3.5.6 <i>Dimensionamento das alvenarias de preenchimento</i>	53
3.5.7 <i>Juntas de dilatação</i>	54
3.6 O PROBLEMA DOS PANOS NÃO CONFINADOS	54
3.6.1 <i>Considerações gerais</i>	54
3.6.2 <i>Condições de apoio dos panos exteriores de alvenaria</i>	54
3.6.2.1 <i>Com correcção térmica dupla</i>	55
3.6.2.2 <i>Com correcção térmica simples</i>	56
3.6.2.3 <i>Em sistemas com tijolo à vista</i>	56
3.6.2.4 <i>Consequências do apoio insuficiente</i>	57

3.6.2	<i>Ligações entre elementos construtivos</i>	58
3.6.3	<i>Acções do peso próprio e do vento</i>	59
3.6.4	<i>Variações de volume por acção da temperatura e humidade</i>	60
3.6.5	<i>Deformações dos elementos estruturais</i>	61
3.6.6	<i>Execução das forras cerâmicas</i>	62
3.6.6.1	<i>Elementos cerâmicos utilizados</i>	62
3.6.6.2	<i>Execução das forras cerâmicas</i>	63
3.6.7	<i>Consequências da acção simultânea de varias causas em panos com forras cerâmicas pelo exterior</i>	63
3.7	O AGRAVAMENTO DO FENÓMENO HIGROTÉRMICO COM A OCORRÊNCIA DE PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS	66

CAPÍTULO 4

REABILITAÇÃO TÉRMICA DE ZONAS DE PONTE TÉRMICA

4.1	INTRODUÇÃO	67
4.2	CRITÉRIOS DE ANÁLISE DOS EFEITOS DA PONTE TÉRMICA E DE ACEITAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA	68
4.3	AVALIAÇÃO DA IMPORTANCIA DAS DIVERSAS ZONAS DE PONTE TÉRMICA EM TERMOS DOS SEUS EFEITOS	70
4.4	DESEMPENHO TÉRMICO DAS TENTATIVAS DE CORRECÇÃO TÉRMICA REALIZADAS ACTUALMENTE	72
4.5	ESTRATÉGIAS POSSÍVEIS PARA A REABILITAÇÃO TÉRMICA	75
4.6	PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA EM ZONA DE PONTE TÉRMICA	77
4.6.1	<i>Introdução</i>	77
4.6.2	<i>Estratégias de reabilitação térmica adoptadas</i>	77
4.6.3	<i>Sistemas para reforço da resistência térmica e resolução estética das soluções de correcção térmica</i>	81
4.6.4	<i>Ferramentas para a caracterização do comportamento térmico das soluções de reabilitação térmica</i>	84
4.6.5	<i>Soluções construtivas utilizadas nas propostas de reabilitação térmica</i>	86
4.7	PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES EXTERIORES	89
4.7.1	<i>Geometrias sem forra cerâmica</i>	89
4.7.1.1	<i>Geometrias mais gravosas</i>	89
4.7.1.2	<i>Soluções de reabilitação térmica para as geometrias AA e BB</i>	91
4.7.1.3	<i>Análise dos resultados</i>	93
4.7.1.4	<i>Resolução tecnológica e estética das soluções AA1 e AB1</i>	93
4.7.1.5	<i>Resolução tecnológica e estética das soluções AA2 E AB2</i>	94

4.7.1.6	Resolução tecnológica e estética das soluções AA3 e AB3	95
4.7.1.7	Resolução tecnológica e estética da solução AA4 e AB4	97
4.7.2	<i>Geometrias Com forra cerâmica pelo exterior</i>	98
4.7.2.1	Geometrias mais gravosas	98
4.7.2.2	Análise de soluções de reabilitação térmica para as geometrias AC, AD, AE e AF	99
4.7.2.3	Análise dos resultados	101
4.7.2.4	Resolução tecnológica e estética das soluções AC1, AD1, AE1 e AF1	101
4.8	LIGAÇÃO ENTRE UMA LAJE DE COBERTURA E UMA PAREDE EXTERIOR	103
4.8.1	<i>Geometrias sem forra cerâmica</i>	103
4.8.1.1	Geometrias mais gravosas	103
4.8.1.2	Análise de Soluções de reabilitação térmica para as geometrias BA, BB, BC e BD.....	106
4.8.1.3	Análise dos resultados.....	109
4.8.1.4	Resolução tecnológica e estética das soluções BA1 e BB1	109
4.8.1.5	Resolução Tecnológica e estética das soluções BA2, BB2, BC1 e BD1.....	110
4.8.1.6	Resolução Tecnológica e estética das soluções BA3 e BB3.....	113
4.8.1.7	Resolução tecnológica e estética das soluções BA4 e BB4	114
4.8.2	<i>Geometrias com forra cerâmica pelo exterior</i>	115
4.8.2.1	Geometrias mais gravosas	115
4.8.2.2	Propostas de soluções de reabilitação térmica para as geometrias BC, B D, BE, e BF	116
4.8.2.3	Análise dos resultados.....	117
4.8.2.4	Resolução Tecnológica e resolução estética das soluções BC1, BD1, BE1 e BF1.....	117
4.9	LIGAÇÃO ENTRE UM PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO EXTERIOR E UMA PAREDE EXTERIOR.....	118
4.9.1	<i>Geometrias sem forra cerâmica</i>	118
4.9.1.1	Geometrias mais gravosas	118
4.9.1.2	Análise de Soluções de reabilitação térmica das geometrias CA, CB, CE, CF, CG e CH	123
4.9.1.3	Análise dos resultados.....	125
4.9.1.4	Resolução tecnológica e estética das soluções CA1, CB1, CE1 e CF1.....	126
4.9.1.5	Resolução tecnológica e estética das soluções CG1 e CH1	126
4.9.1.6	Resolução tecnológica e estética das soluções CC1 e CD1	127
4.9.2	<i>geometrias com forra cerâmica pelo exterior</i>	129
4.9.2.1	GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS	129
4.9.2.2	Análise de Soluções de reabilitação térmica das geometrias CE, CF, CH, CI, CJ, CL e CM.....	130
4.9.2.3	Análise dos resultados.....	132
4.9.2.4	Resolução tecnológica e estética das soluções CE1, CG1, CH1 e CL1.....	132
4.9.2.5	Resolução tecnológica e estética das soluções CF1, CH1, CJ1 e CM1	133
4.10	LIGAÇÃO ENTRE UMA LAJE DE NÍVEL INTERMÉDIO E UMA PAREDE EXTERIOR.....	133
4.10.1	<i>Geometrias sem forra cerâmica</i>	133
4.10.1.1	Geometrias mais gravosas	133
4.10.1.2	Análise de soluções de reabilitação térmica para as geometrias DA, DB, DC e DD	136
4.10.1.3	Análise dos resultados.....	138
4.10.1.4	Resolução tecnológica e estetica das soluções DA1 e DB1	139
4.10.1.5	Resolução tecnológica e estetica das soluções DA2 e DB2	140
4.10.1.6	Resolução tecnológica e estética das soluções DC1 e DD1.....	141

4.10.2 Geometrias com forra cerâmica pelo exterior.....	142
4.10.2.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS	142
4.10.2.2 Análise de soluções de reabilitação térmica para as geometrias DE e DF.....	142
4.10.2.3 Análise dos resultados	143
4.10.2.4 Resolução tecnológica e estética da solução DB1 e DD1	143
4.11 LIGAÇÃO ENTRE UMA PAREDE EXTERIOR E UMA PAREDE DIVISÓRIA	144
4.11.1 Geometrias sem forra cerâmica	144
4.11.1.1 Geometrias mais gravosas	144
4.11.1.2 Análise de soluções para as geometrias EA e EB.....	147
4.11.1.3 Análise dos resultados	148
4.11.1.4 Resolução tecnológica e estética da solução EA1	148
4.11.1.6 Resolução tecnológica e estética das soluções EB1 e EB2.....	149
4.11.1.5 Resolução tecnológica e estética da solução EA2	150
4.11.2 Geometrias com forra cerâmica pelo exterior.....	151
4.11.2.1 Geometrias mais gravosas	151
4.11.2.2 Análise de soluções para as geometrias EC e ED	151
4.11.2.3 Análise dos resultados	152
4.11.2.4 Resolução tecnológica e estética da solução EC1 e ED1	152
4.12 LIGAÇÃO ENTRE UMA LAJE DE COBERTURA E UMA PAREDE DIVISÓRIA.....	153
4.12.1. Geometrias mais gravosas.....	153
4.12.2 Análise de soluções de reabilitação térmica para as geometrias FA e FB	153
4.12.3 Análise dos resultados	154
4.12.4 Resolução tecnológica e estética das soluções FA1 e FB1.....	154
4.13 LIGAÇÃO ENTRE UM PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO EXTERIOR E UMA PAREDE DIVISORIA	155
4.13.1 Geometrias mais gravosas.....	155
4.13.2 Análise de soluções de reabilitação térmica para as geometrias GA e GB.....	156
4.13.3 Análise dos resultados	157
4.13.4 Resolução tecnológica e estética das soluções GA1 e GB1.....	157
4.13.5 Resolução tecnológica e estética das soluções GA2 e GB2.....	157
4.14 PILAR EM ZONA CORRENTE DE PAREDE.....	158
4.14.1 Geometrias sem forra cerâmica	158
4.14.1.1 Geometrias mais gravosas	158
4.14.1.2 Análise de soluções de reabilitação térmica para as geometrias HA e HB.....	159
4.14.1.3 Análise dos resultados	160
4.14.1.4 Resolução tecnológica e estética das soluções HA1 e HB1.....	160
4.14.1.5 Resolução tecnológica e estética das soluções HA2 e HB2.....	161
4.14.2 geometrias com forra cerâmica pelo exterior.....	161
4.14.2.1 Geometrias mais gravosas	161
4.14.2.2 Análise de soluções de reabilitação térmica para as geometrias IC, ID, IE e IF.....	162
4.14.2.2 Análise dos resultados	163
4.14.2.3 Resolução tecnológica e estética das soluções HC1, HD1, HE1 e HF1.....	163

4.15 LIGAÇÃO ENTRE UMA PAREDE EXTERIOR E UMA CAIXILHARIA	164
4.15.1 <i>Introdução</i>	164
4.15.2 <i>Ombreira e parapeito</i>	164
4.15.2.1 Geometrias mais gravosas	164
4.15.2.2 Análise de Soluções de reabilitação térmica para a geometria <i>JA</i>	166
4.15.2.3 Análise de Soluções de reabilitação térmica para a geometria <i>JB</i>	168
4.15.2.3 Análise dos resultados	169
4.15.2.4 Resolução tecnológica e estética das soluções <i>JA1, JA2, JA3, JA4 e JA5</i>	171
4.15.2.5 Resolução tecnológica e estética das soluções <i>Jb1, JB2 E JB3</i>	172
4.16 ZONA DA CAIXAS DE ESTORE.....	174
4.16.1 <i>Geometrias mais gravosas</i>	174
4.16.2 <i>Análise de Soluções de reabilitação térmica para as geometrias LA, LB, LC e LD</i>	175
4.16.4 <i>Resolução tecnológica e estética das soluções LA1 E LA2</i>	177
4.16.5 <i>Resolução tecnológica e estética das soluções LB1, LB2, LC1 e LD1</i>	178

CAPÍTULO 5

REABILITAÇÃO CONSTRUTIVA EM ZONAS DE PONTE TÉRMICA

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	181
5.2 ESTRATÉGIAS GERAIS DE REABILITAÇÃO CONSTRUTIVA DAS ZONAS DE PONTE TÉRMICA	181
5.3 PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM ALVENARIAS EXTERIORES COM ANOMALIAS CONSTRUTIVAS	187
5.3.1 <i>Quando existe insuficiência de apoio do pano exterior de parede</i>	187
5.3.2 <i>Quando existem deformações da estrutura de suporte</i>	190
5.3.2.1 Deformações das lajes e vigas	190
5.3.2.2 Deformação de lajes em consola	191
5.3.3 <i>Quando existem deformações da parede por variações de temperatura e de humidade</i>	192
5.3.4 <i>Quando existe deformação horizontal da laje de cobertura em terraço</i>	199
5.3.5 <i>Recomendações construtivas</i>	200
5.3.5.1 Juntas de dilatação/contracção	200
5.3.5.2 Ligação entre panos construídos	202
5.3.5.3 Tratamento das forras cerâmicas	207
5.3.5.4 Armaduras nas juntas horizontais de alvenaria.....	211
5.4 SOLUÇÕES SIMULTÂNEAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA E CONSTRUTIVA NAS ZONAS DE PONTE TÉRMICA	213

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES GERAIS DOS TEMAS TRATADOS NESTE TRABALHO.....	215
6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	219
REFERÊNCIAS.....	221
BIBLIOGRAFIA.....	227

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Figura 1.1 –	Exemplos de pontes térmicas [1].....	1
--------------	--------------------------------------	---

CAPÍTULO 2

PRÁTICA CONSTRUTIVA PORTUGUESA E ESTADO DO CONHECIMENTO NESTE DOMÍNIO

Figura 2.1 –	Sistema de parede de alvenaria de enchimento totalmente confinada em toda a sua espessura pela estrutura resistente [4].....	6
Figura 2.2 –	Tipos de parede não confinada	7
Figura 2.3 –	Tipos de correcções cerâmicas de fraco desempenho em zona de topo de laje a) correcção simples pelo exterior; b) correcção dupla pelo exterior; c) correcção com aba saliente no topo da laje; d) correcção simples pelo interior; e) correcção dupla pelo interior;.....	10
Figura 2.4 –	Correcção térmica pelo exterior em zona de pilar	11
Figura 2.5 -	Pormenor de execução de forra cerâmica na platibanda.....	11
Figura 2.6 -	Perspectiva de edifício em construção com recobrimento da estrutura resistente com forras cerâmicas de tijolo furado	12
Figura 2.7 –	Exemplos de execução de forras cerâmicas simples e duplas pelo exterior, executadas na continuidade de cada pano corrente.....	12
Figura 2.8 -	Exemplos de forra cerâmica simples ou duplas pelo exterior realizadas antes do pano exterior integradas no sistema de cofragem das lajes e vigas	13
Figura 2.9 -	Exemplos de correcções cerâmicas pelo exterior executadas à posteriori da execução do pano corrente	13
Figura 2.10 –	Pormenor de peças de tijolo furado para realização de forras cerâmicas simples [4].....	14
Figura 2.11 -	Características dimensionais do elemento cerâmico utilizado como forra dos elementos estruturais em fachadas de tijolo à vista	14
Figura 2.12 –	Pormenor da zona de ligação da parede a um piso intermédio num sistema de parede de tijolo à vista a) com forra contínua; b) com aba saliente c) com passagem integral do pano exterior (fachada cortina).....	15
Figura 2.13 –	Pormenor do topo de laje saliente para apoio do pano exterior de alvenaria e forra cerâmica nessa zona.....	16
Figura 2.14 –	Propostas de reabilitação térmica para diversas zonas de ponte térmica [10]	20

Figura 2.15 -	Correcção de ponte térmica pelo interior em zona de pilar e zona corrente de alvenaria e na ligação entre parede e laje de piso intermédio utilizando material isolante	22
---------------	---	----

CAPÍTULO 3

PATOLOGIAS ASSOCIADAS ÀS ZONAS DE PONTE TÉRMICA

Figura 3.1 -	Condensações e bolores em zona de ponte térmica	30
Figura 3.2 -	Manchas na superfície interior, usualmente denominadas de “fantasmas”	31
Figura 3.3 -	Fissuração horizontal e desprendimento do revestimento junto à laje de cobertura	33
Figura 3.4 -	Destacamento e desprendimento das forras cerâmicas de correcção térmica	34
Figura 3.5 -	Deslocamento do pano exterior em zona de topo de laje e ao longo da forra exterior em zona de esquina de parede [6]	34
Figura 3.6 -	Fissuração dos revestimentos e da alvenaria em zona de cunhal	35
Figura 3.7 -	Fissuração verificada na zona da parede apoiada em laje em consola	35
Figura 3.8 -	Colapso de um pano de parede como consequência da instabilidade	36
Figura 3.9 -	Fissuração típica devida aos movimentos da laje de cobertura	41
Figura 3.10 -	Fissuração em zona de ligação alvenaria estrutura devida a acções térmicas [18]	43
Figura 3.11 -	Fissuração em zona de laje por impedimento da deformação da alvenaria e encurvadura do pano de parede não confinado	43
Figura 3.12 -	Fissuração e arrastamento dos panos mais curtos em cunhais	44
Figura 3.13 -	consequências da deformação das alvenarias em zona de cunhal a) resultante das forças b) fissuração resultante [18]	45
Figura 3.14 -	Fissuração típica nos panos de alvenaria devida a dilatação das estruturas reticuladas	45
Figura 3.15 -	Diferença de posicionamento do centro de gravidade na construção tradicional e na construção actual [6].	50
Figura 3.16 -	Efeito nos panos de alvenaria da deformação das lajes que os suportam [6]	51
Figura 3.17 -	Concentração máxima do valor da deformação na primeira laje devida às sucessivas deformações das lajes intermédias e acumulação de flechas [6]	52
Figura 3.18 -	Efeitos da encurvadura dos panos de alvenaria [2]	53
Figura 3.19 -	Comparação entre larguras efectivas de apoio do pano exterior e a largura mínima, numa parede exterior dupla com pano exterior de 15cm e 22cm.	55
Figura 3.20 -	Largura efectiva do apoio e largura mínima de um pano exterior de tijolo de face à vista	56
Figura 3.21 -	Apoio insuficiente da forra da parede lateral devido à falta de coordenação dimensional modular dos elementos construtivos da parede principal [6]	57
Figura 3.22 -	Rotação do provete ensaiado nas condições de apoiado em ½ da largura total do pano [5]	57
Figura 3.23 -	Fissuração resultante de diferentes movimentos dos elementos construtivos em zona de correcção de ponte térmica [26]	58

Figura 3.24 –	Linha de acção da resultante do peso próprio em zona de forra cerâmica pelo exterior pode passar o limite exterior do apoio [5]	60
Figura 3.25 –	Arrastamento das forras de correcção em zona de platibanda de parede por efeito das variações dimensionais da cobertura [6]	61
Figura 3.26 –	Efeitos da encurvadura do pilar na forra cerâmica de envolvimento [26]	61
Figura 3.27 -	Efeitos nos panos e nas forras cerâmicas, da flexão da laje e rotação do seu topo	62
Figura 3.28 -	realização da forra cerâmica com elementos irregulares conformados em obra	62
Figura 3.29 -	Diferentes espessuras das forras cerâmicas envolvendo o topo das lajes ao longo da altura do edifício [6]	63
Figura 3.30 -	Forças verticais devidas aos movimentos em zona de apoio e indicação das zonas de localização de esforços de corte [5]	64
Figura 3.31 –	Deformações por dilatação e contracção na estrutura resistente e na alvenaria não confinada [6]	65
Figura 3.32 -	Conjugação de vários factores que propiciam o desprendimento das forras em zona de apoio de parede [6]	65

CAPÍTULO 4

REABILITAÇÃO TÉRMICA DE ZONAS DE PONTE TÉRMICA

Figura 4.1 –	Linhas isotérmicas e zona de patologia em zona de cumhal de uma parede homogénea [29]	76
Figura 4.2 -	Estratégias para a intervenção de reabilitação térmica	78
Figura 4.3 -	Características da ponte térmica com pilar em zona corrente de alvenaria [16]	80
Figura 4.4 -	Existência de condensações em zona localizada, pelo insuficiente prolongamento da correcção em zona de ponte térmica [30]	81
Figura 4.5 –	Exemplo de alguns sistemas de forro de madeira aplicado sobre estrutura intermédia	82
Figura 4.6 -	Sistemas de isolamento pelo interior com placas prefabricadas de gesso cartonado com isolante térmico [35]	83
Figura 4.7 –	Soluções construtivas de parede exterior consideradas no cálculo numérico	87
Figura 4.8 -	Soluções construtivas da laje de cobertura e da laje de pavimento utilizada no cálculo numérico	88
Figura 4.9 -	Legenda dos materiais utilizados nas soluções apresentadas	88
Figura 4.10 -	Diagrama de isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre duas paredes exteriores com isolante térmico na caixa de ar (programa kobra)	90
Figura 4.11 -	Pormenor de duas possíveis correcções térmicas com canto constituído por placas de gesso cartonado	94
Figura 4.12 –	Efeito estético possível de correcção térmica com zona de canto e recurso a tintas diferenciadas na zona de ligação de duas paredes [36]	94

Figura 4.13 -	Pormenor da reabilitação térmica pontual com placas de gesso cartonado com três dos sistemas de fixação possíveis	95
Figura 4.14 -	Aspecto exterior de correcção pontual de ponte térmica pelo interior com isolamento térmico.....	96
Figura 4.15 -	Pormenorização e perspectiva de disfarce da correcção pelo interior com pilar fictício	96
Figura 4.16 -	Efeito estético possível com recurso a pilares fictícios para zona de ligação entre duas paredes [37].....	97
Figura 4.17 -	Pormenor de correcção térmica pontual pelo exterior com revestimento descontínuo em placas.....	97
Figura 4.18 -	Pormenor de correcção térmica pontual pelo exterior com placas prefabricadas incluindo o isolante térmico	98
Figura 4.19 -	Perspectiva de possível aspecto visual de reabilitação pelo exterior numa zona de ponte térmica em cunhal	98
Figura 4.20 -	Pormenor de correcção térmica exterior com sistema de revestimento descontínuo e independente sobre isolante térmico com substituição da forra cerâmica.....	102
Figura 4.21 -	Pormenor de correcção térmica exterior com sistema de revestimento descontínuo em placas prefabricadas sobre isolante térmico com substituição da forra cerâmica.....	102
Figura 4.22 -	Perspectiva de correcção térmica pelo exterior, em fachada de edifício com tijolo à vista, como substituição de forra cerâmica	103
Figura 4.23 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre uma laje de cobertura e uma parede exterior dupla com isolamento térmico caixa de ar (programa kobra)	105
Figura 4.24 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação uma laje de cobertura e uma parede exterior dupla com isolamento térmico pelo interior (programa kobra).....	105
Figura 4.25 -	Pormenor da correcção pelo interior na zona de ligação parede exterior e laje de cobertura com isolante térmico pontual e disfarce parcial com tecto falso	110
Figura 4.26 -	Alguns exemplos de soluções de sanca possibilitando o disfarce de uma eventual correcção pelo interior na zona de ligação de laje e parede [36; 37].....	110
Figura 4.27 -	Pormenor de correcção térmica, pelo interior, na zona de ligação parede exterior e laje, com isolante térmico pontual e disfarce com sanca.....	111
Figura 4.28 -	Pormenor da correcção térmica com prolongamento do isolante térmico interior em zona de ligação de parede com laje de cobertura.....	111
Figura 4.29 -	Alguns exemplos de soluções de tecto possibilitando o disfarce de uma eventual correcção pelo interior na zona de ligação de laje e parede [36;37].....	112
Figura 4.30 -	Alguns exemplos de soluções que possibilitam o disfarce de uma correcção pontual pelo interior na zona de ligação de laje e parede [36].....	112
Figura 4.31 -	Pormenor do isolamento térmico pontual da zona de ponte térmica com dois sistemas de revestimento pelo exterior	113
Figura 4.32 -	Aspecto visual de uma possível correcção térmica pelo exterior em zona de ligação de parede com laje de cobertura.....	114
Figura 4.33 -	Pormenor de correcção térmica com sanca do tipo triangular.....	114

Figura 4.34 -	Pormenor da aplicação de revestimento descontínuo e independente sobre isolante térmico na ligação entre uma laje de cobertura e parede exterior.....	118
Figura 4.35 -	Pormenor da aplicação de placas prefabricadas revestimento/isolante na ligação entre laje de cobertura e parede exterior.....	118
Figura 4.36 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre uma laje de pavimento sobre espaço exterior com isolamento pelo exterior e interior e uma parede exterior dupla com isolamento caixa de ar (programa kobra)	120
Figura 4.37 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre um pavimento sobre espaço não aquecido com isolamento pelo exterior e parede exterior com isolamento pelo interior (kobra).....	122
Figura 4.38 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação de uma laje de pavimento sobre espaço não aquecido com isolamento pelo interior e uma parede exterior simples com isolamento térmico pelo exterior (programa kobra).....	122
Figura 4.39 -	Pormenor de correcção térmica na laje com painéis prefabricados isolante/revestimento	126
Figura 4.40 -	Pormenor de reabilitação térmica com revestimento delgado sobre isolante prolongado a partir do isolante térmico da parede.....	127
Figura 4.41 -	Pormenor de correcção térmica sob a laje com isolante térmico fixado e prolongado a partir do isolante térmico da parede.....	127
Figura 4.42 -	Pormenor da correcção térmica com placas prefabricadas isolante/revestimento e isolante fixado à laje com disfarce com tecto falso.....	128
Figura 4.43 -	Pormenor da correcção térmica com revestimento descontínuo e independente na zona de parede e isolante fixado à laje com disfarce com tecto falso	128
Figura 4.44 -	Perspectiva possível da correcção térmica pelo exterior em zona de ligação de parede com laje de pavimento	128
Figura 4.45 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre laje de nível intermédio e uma parede exterior dupla com isolamento caixa de ar	134
Figura 4.46 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre uma laje intermédia e uma parede exterior simples com isolamento pelo interior – geometria <i>dc</i>	135
Figura 4.46 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre uma laje intermédia e uma parede exterior simples com isolamento pelo interior – geometria <i>dd</i> – <i>continuação</i>	136
Figura 4.47 -	Pormenor de correcção térmica pelo interior com isolamento parcial da ponte térmica e disfarce com tecto falso	139
Figura 4.48 -	Pormenor de reabilitação térmica pontual pelo exterior com placas prefabricadas e revestimento descontínuo sobre isolante	140
Figura 4.49 -	Aspecto visual possível de correcção térmica pelo exterior em zona de ligação de laje intermédia com parede exterior	141
Figura 4.50 -	Pormenor de correcção térmica pelo interior com prolongamento do isolamento existente na parede.....	141
Figura 4.51 -	Pormenor da correcção térmica pelo exterior da ponte térmica com dois sistemas de isolamento pelo exterior e possível aspecto exterior	144

Figura 4.52 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre parede divisória e uma parede exterior dupla com isolamento térmico na caixa de ar.....	145
Figura 4.53 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação uma parede divisória e uma parede exterior simples com isolamento térmico pelo interior.....	146
Figura 4.54 -	Pormenor da correcção térmica pelo interior com placas de isolante e revestimento com placa de gesso cartonado	148
Figura 4.55 -	Aspecto visual da correcção pelo interior em zona de ligação de parede exterior com parede divisória interior.....	149
Figura 4.56 -	Pormenor de correcção pelo interior com aplicação de um isolante térmico prolongado pela parede divisória a partir do isolante existente	149
Figura 4.57 -	Perspectiva da correcção pelo interior em zona de ligação de parede exterior e parede interior	150
Figura 4.58 -	Pormenor de correcção de ponte térmica com cantoneiras ou cantos de madeira ou gesso colados.....	150
Figura 4.59 -	Pormenor da reabilitação térmica da ligação entre laje de cobertura e parede divisória	155
Figura 4.60 -	Pormenor da correcção térmica com introdução de rodapé de madeira	157
Figura 4.61 -	Pormenor da correcção térmica pelo exterior com aplicação de isolante térmico sob laje e protecção com tecto falso ou revestimento descontínuo e independente.....	158
Figura 4.62 -	Isotérmicas e linhas de fluxo na zona de pilar em zona corrente de parede	159
Figura 4.63 -	Perspectiva de correcção térmica pelo interior em zona de pilar.....	160
Figura 4.64 -	Pormenor de reabilitação térmica com revestimento descontínuo e independente sobre isolante térmico em zona de pilar e possível aspecto exterior da fachada	161
Figura 4.65 -	Pormenor de correcção térmica com revestimento descontínuo e independente.....	164
Figura 4.66 -	Isotérmicas e linhas de fluxo em ombreira	165
Figura 4.67 -	Isotérmicas e linhas de fluxo em parapeito.....	166
Figura 4.68 -	Pormenor de correcção térmica pelo interior em zona de ombreira	171
Figura 4.69 -	Pormenor de correcção térmica pelo exterior em zona de ombreira.....	172
Figura 4.70 -	Pormenor de isolante na ligação entre caixilharia e ombreira	172
Figura 4.71 -	Pormenor de correcção térmica com remate de isolante térmico [10].....	172
Figura 4.72 -	Pormenor da correcção térmica com substituição total da pedra de parapeito	173
Figura 4.73 -	Pormenor da correcção de ponte térmica em zona de parapeito substituição parcial da pedra de parapeito.....	173
Figura 4.74 -	Pormenor de prolongamento da correcção térmica pelo interior em zona de caixa de estore	177
Figura 4.75 -	Pormenor de correcção térmica na caixa de estore com introdução de isolante pelo interior e dentro da caixa de ar	178
Figura 4.76 -	Pormenor de correcção térmica na caixa de estore com isolante térmico pelo interior	178
Figura 4.77 -	Pormenor de correcção térmica com substituição da estrutura existente por outra com isolante térmico	179

Figura 4.78 -	Pormenor de correcção térmica em caixa de estore com prolongamento do isolante térmico pelo interior	179
Figura 4.79 -	Perspectiva da correcção integrada de parapeito, ombreira e caixa de estore pelo exterior ou interior	180

CAPÍTULO 5

REABILITAÇÃO CONSTRUTIVA EM ZONAS DE PONTE TÉRMICA

Figura 5.1 -	Esquema de princípio sobre as estratégias de reabilitação de zonas de ponte térmica	182
Figura 5.2 -	Procedimentos de actuação na reabilitação construtiva das patologias em zonas de ponte térmica	183
Figura 5.3 -	Acessórios constituintes de sistemas para suporte de panos de alvenaria exterior em fachadas cortina	188
Figura 5.4 -	Pormenor de colocação de apoio metálico em zona de topo de laje para suprir a insuficiência de apoio	189
Figura 5.5 -	Largura da armadura de reforço do reboco exterior em zona de ligação [8]	190
Figura 5.6 -	Reforço dos revestimentos com armadura nas ligações em zona de vãos [17].....	192
Figura 5.7 -	Pormenor da separação dos revestimentos do seu suporte em zona de ligação [43]	193
Figura 5.8 -	Pormenor da junta de dessolidarização em zona de ligação entre parede e laje/viga em panos com forras cerâmicas	194
Figura 5.9 -	Pormenor de junta de dessolidarização em topo de pano de parede	195
Figura 5.10 -	Pormenor do rufo de protecção da junta horizontal de dessolidarização	195
Figura 5.11 -	Junta de cunhal em panos confinados horizontalmente	196
Figura 5.12 -	Pormenor da junta vertical de dessolidarização em zona de ligação a pilar	196
Figura 5.13 -	Ligadores metálicos para realizar a ligação entre alvenaria e elementos de estrutura	197
Figura 5.14 -	Pormenor de dois tipos de perfis para ligações verticais [33].....	198
Figura 5.15 -	Pormenor de aplicação de ligadores em reabilitação	198
Figura 5.16 -	Ligação de montantes à alvenaria em forma de “dente” [42]	199
Figura 5.17 -	Pormenor de ligação entre laje de cobertura e parede exterior	200
Figura 5.18 -	Pormenor do seguimento da junta vertical flexível de dilatação/contractão em alvenaria de tijolo de face à vista	202
Figura 5.19 -	Grampos para realizar o grampeamento de panos exteriores aos pano interiores numa obra de reabilitação ou reforço [49].....	203
Figura 5.20 -	Grampos de ponta ondulada introduzidos em furos e grampos de pontas mecânicas expansíveis utilizados em reabilitação [53].....	204
Figura 5.21 -	Grampos com liberdade de movimentos nas duas direcções do plano de parede.....	205
Figura 5.22 -	Pormenor do espaçamento entre grampos em zona corrente, junto a aberturas e em cunhal entre paredes	206

Figura 5.23 -	Ligadores para fazer a fixação da forra cerâmica à estrutura	209
Figura 5.24 -	Pormenor da fixação da forra cerâmica exterior em zona de viga com a colocação de grampos nas juntas horizontais.....	210
Figura 5.25-	Pormenor da fixação da forra cerâmica exterior em zona de pilar, parede ou platibanda com a colocação de grampos nas juntas horizontais.....	210
Figura 5.26 -	Armadura de juntas horizontais em zona de forra cerâmica [55]	211
Figura 5.27 -	tipos de armaduras para juntas horizontais de alvenarias	212
Figura 5.28-	Pormenor de reabilitação térmica e reabilitação construtiva de zona de piso intermédio e laje de cobertura	213
Figura 5.29 -	Pormenor de reabilitação térmica e reabilitação construtiva de zona de piso intermédio e laje de cobertura	214
Figura 5.30 -	Pormenor de reabilitação térmica e reabilitação construtiva de zona de cunhal.....	214

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO 4

REABILITAÇÃO TÉRMICA DE ZONAS DE PONTE TÉRMICA

Quadro 4.1 –	Classificação das soluções construtivas em função do valor de $\tau_{\text{máximo}}$ da solução [3]	70
Quadro 4.2 –	Síntese dos efeitos das pontes térmicas [3].....	71
Quadro 4.3 –	Comparação de valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para soluções sem correcção e com correcção cerâmica pelo exterior [3].....	72
Quadro 4.3 –	Comparação de valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para soluções sem correcção e com correcção cerâmica pelo exterior [3] – cont.	73
Quadro 4.4 –	Comparação de valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para soluções sem e com correcção cerâmica pelo interior [3].....	74
Quadro 4.5 –	Valores da condutância térmica superficial adoptados no cálculo numérico, em $\text{w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. [3].....	85
Quadro 4.6 -	Condutibilidade térmica dos diferentes materiais considerados na simulação numérica, $\text{w/m } ^\circ\text{C}$ [32]	86
Quadro 4.7 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre duas paredes exteriores [3].....	90
Quadro 4.8 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria AA	92
Quadro 4.9 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria AB	92
Quadro 4.9 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria AB – cont.	93
Quadro 4.10 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre duas paredes com forra cerâmica simples[3]	99
Quadro 4.11 –	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias ac e AD.....	100
Quadro 4.12-	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias ae e AF.....	101
Quadro 4.13 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de cobertura e uma parede exterior [3].....	104
Quadro 4.14 –	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria BA	107
Quadro 4.15 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria BB	108
Quadro 4.16 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial – soluções para as geometrias BC e BD.....	109

Quadro 4.17 -	Valores do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de cobertura e uma parede exterior com correcção cerâmica [3].....	115
Quadro 4.18 -	Valores do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>BC</i> e <i>BD</i>	116
Quadro 4.19 -	Valores do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>BE</i> e <i>BF</i>	117
Quadro 4.20 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de piso e uma parede exterior – isolamento na caixa-de-ar [3]	119
Quadro 4.21 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de piso e um pavimento espaço exterior - isolamento pelo exterior e pelo interior na parede [3].....	121
Quadro 4.22 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>CA</i> e <i>CB</i>	123
Quadro 4.23 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial – soluções para as geometrias <i>CE</i> e <i>CF</i>	124
Quadro 4.24 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>CG</i> e <i>CH</i>	124
Quadro 4.25 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>CC</i> e <i>CD</i>	125
Quadro 4.26 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre laje de pavimento sobre espaço exterior e parede exterior [3].....	129
Quadro 4.26 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre laje de pavimento sobre espaço exterior e parede exterior [3] – cont.	130
Quadro 4.27 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>CE</i> , <i>CF</i> , <i>CG</i> e <i>CH</i>	131
Quadro 4.28 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>CI</i> , <i>CJ</i> , <i>CL</i> e <i>CM</i>	131
Quadro 4.28 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>CI</i> , <i>CJ</i> , <i>CL</i> e <i>CM</i> – cont.	132
Quadro 4.29 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de piso e uma parede exterior – isolamento na caixa-de-ar [3]	133
Quadro 4.30 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de piso intermédio e uma parede exterior – isolamento pelo interior [3].....	135
Quadro 4.31 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>DB</i>	137
Quadro 4.32 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>DC</i>	137
Quadro 4.33 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>DD</i>	138
Quadro 4.34 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de piso intermédio e uma parede exterior – isolamento na caixa de ar [3]	142
Quadro 4.35 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>DF</i>	143
Quadro 4.36 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de piso e uma parede exterior dupla – isolamento na caixa-de-ar [3].....	145
Quadro 4.37 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma parede exterior simples e uma parede divisória – isolamento pelo interior [3].....	146

Quadro 4.38 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>EA</i>	147
Quadro 4.39 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial – soluções para a geometria <i>EB</i>	148
Quadro 4.40 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma parede exterior e uma parede divisória – isolamento na caixa-de-ar [3]	151
Quadro 4.41 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>EC E ED</i>	152
Quadro 4.42-	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre uma laje de cobertura e uma parede divisória [3]	153
Quadro 4.43 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>FA E FB</i>	154
Quadro 4.44 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ligação entre um pavimento sobre espaço exterior e uma parede divisória [3].....	155
Quadro 4.45 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>GA</i>	156
Quadro 4.46 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>GB</i>	156
Quadro 4.47 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - pilar em zona corrente [3].....	158
Quadro 4.48 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>HA</i>	159
Quadro 4.49 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>HB</i>	160
Quadro 4.50 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - pilar em zona corrente de parede [3]	162
Quadro 4.51 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias <i>IC, IE, ID E IF</i>	163
Quadro 4.52 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - ombreira – isolamento na caixa-de-ar [3]	165
Quadro 4.53 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - parapeito – isolamento na caixa-de-ar.....	166
Quadro 4.54 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>JA</i>	167
Quadro 4.55 -	Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para a geometria <i>JB</i>	169
Quadro 4.56 –	situações mais gravosas - caixa de estore – isolamento na caixa-de-ar [3].....	174
Quadro 4.57 –	Soluções mais gravosas - caixa de estore – isolamento pelo interior [3].....	175
Quadro 4.58 –	Soluções de reabilitação térmica - soluções para a geometria <i>LA</i>	176
Quadro 4.59 -	Soluções de reabilitação térmica - soluções para a geometria <i>LB</i>	176
Quadro 4.60 –	Soluções de reabilitação térmica - soluções para a geometria <i>LC</i>	177

CAPÍTULO 5

REABILITAÇÃO CONSTRUTIVA EM ZONAS DE PONTE TÉRMICA

Quadro 5.1 -	Técnicas de estabilização de paredes [38]	184
Quadro 5.2 –	Estratégias de reabilitação da fissuração, suas condicionantes e tipos de intervenção [2].....	185

Quadro 5.3 – Estratégias de reabilitação em situações de variações de temperatura e humidade nas alvenarias [2]	186
Quadro 5.4 – Distâncias máximas entre juntas de dilatação em alvenarias de tijolo de face à vista [47]	201
Quadro 5.5 – Distâncias máximas entre juntas de dilatação em alvenarias de tijolo à vista [42].....	201
Quadro 5.6 - Espaçamento entre grampos [21, 51].....	206

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 ÂMBITO DO TRABALHO

Este trabalho insere-se, predominantemente, no domínio tecnológico, já que pretende propor princípios para soluções de intervenção construtiva em reabilitação com vista a resolver patologias em zonas específicas da envolvente dos edifícios, as zonas de ponte térmica.

Segundo a norma EN-ISO 10211, uma ponte térmica é toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente. Normalmente, as zonas em causa encontram-se onde os elementos construtivos possuem resistências térmicas significativamente inferiores à resistência da zona corrente e/ou então onde existe uma alteração da sua geometria. O fenómeno caracteriza-se pela alteração das condições de transmissão de calor nesses pontos relativamente à restante envolvente.

Muitos são os exemplos de localização de pontes térmicas, a maioria dos quais em zonas de ligação entre diferentes elementos construtivos. A Figura 1.1 mostra alguns desses exemplos.

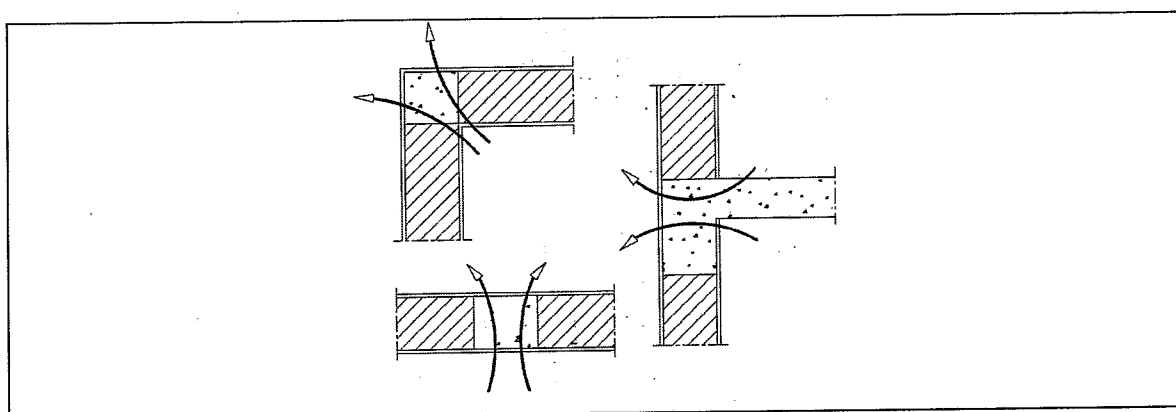


Figura 1.1 – Exemplos de pontes térmicas [1]

A implementação generalizada de paredes duplas de tijolo furado veio tornar mais evidente o fenómeno da ponte térmica e a utilização, mais recente, do isolamento térmico na caixa-de-ar veio agravar ainda mais o mesmo.

Tendo em vista corrigir este fenómeno preconizaram-se soluções de correcção que, devido a uma deficiente concepção e execução, têm vindo a gerar um conjunto de anomalias de carácter mecânico. E agravando ainda mais esta situação, surge o facto de ser, nestas zonas, pela sua fragilidade e pelas soluções construtivas aí utilizadas, que mais, frequentemente, ocorrem patologias resultantes de solicitações internas e externas às próprias alvenarias, com causas muito variadas.

As características deste fenómeno já foram significativamente estudadas em trabalhos anteriores [3]] mas existe uma necessidade de aprofundar e explorar o domínio construtivo deste problema e existe um cenário de patologias nos edifícios portugueses que é necessário resolver. Em face disto, este trabalho enveredou pelo domínio da reabilitação.

São dois os campos de desenvolvimento deste trabalho. O primeiro foi denominado de reabilitação térmica e consiste na melhoria do fenómeno ponte térmica com utilização de soluções construtivas. Implica fazer uma avaliação do comportamento térmico das soluções propostas por meio de uma fase de simulação para prever o seu desempenho.

O segundo foi denominado de reabilitação construtiva e visa intervir segundo dois aspectos distintos: a reabilitação das zonas onde ocorrem pontes térmicas e onde, por coincidência, também se manifestam outras anomalias de origem mecânica; a reabilitação dessas mesmas zonas mas onde foram adoptadas soluções de correcção térmica pelo exterior que criaram anomalias construtivas.

1.2 OBJECTIVOS

O objectivo principal do trabalho é aprofundar o conhecimento sobre as patologias que ocorrem nas zonas de ponte térmica, quer sejam resultantes directamente do fenómeno ponte térmica ou ainda de outros fenómenos, que por coincidência, ocorrem nessas zonas e, com base nisto, desenvolver e propor princípios de intervenção térmica e construtiva para essas zonas.

Com a vertente térmica os objectivos consistem em:

- Conhecer as consequências directas do fenómeno e as patologias a ele associadas desenvolvidas em estudos realizados;
- Propor princípios e soluções construtivas de reabilitação térmica das zonas de ponte térmica que simultaneamente desempenhem um bom papel construtivo.

Relativamente à vertente construtiva os objectivos consistem em:

- Conhecer as causas e os mecanismos que originam as anomalias de funcionamento mecânico das soluções construtivas utilizadas em zonas de ponte térmica;
- Analisar a eficácia e o comportamento das soluções construtivas de correcção térmica utilizadas nestes últimos anos;
- Propor princípios e soluções de reabilitação destas patologias.

Pretende-se caracterizar, o mais possível, as soluções construtivas propostas e pensar em soluções que solucionem, sempre que se imponha e sempre que seja possível, ambas as vertentes.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado da forma descrita seguidamente.

No capítulo 1 define-se objectivo do trabalho, delimita-se o âmbito da investigação e apresenta-se a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 faz-se uma avaliação do estado actual do conhecimento no domínio do conhecimento do fenómeno, mas, principalmente, no domínio da procura de soluções construtivas para a sua correcção.

No capítulo 3 faz-se uma análise das consequências directas do fenómeno fisico ponte térmica na envolvente e as patologias a ele associadas. Analisa-se a outra vertente do problema, as patologias devidas a soluções construtivas utilizadas nas zonas de ponte térmica. Também é analisado o desempenho das tentativas correcção de ponte térmica mais correntes.

No capítulo 4 apresentam-se propostas de reabilitação dos fenómenos de ponte térmica para as zonas mais problemáticas da envolvente, pensando na solução construtiva e na resolução de estética dessas soluções.

No capítulo 5 pretende-se propor, com base em recomendações construtivas, princípios e soluções para reabilitação construtiva de patologias de origem mecânica nas zonas de ponte térmica, que podem ser associadas às soluções de reabilitação térmica.

No capítulo 6 são sintetizadas as conclusões para cada uma das vertentes abordadas e propostos alguns temas para desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO 2

PRÁTICA CONSTRUTIVA PORTUGUESA E ESTADO DO CONHECIMENTO NESTE DOMÍNIO

2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SISTEMAS TRADICIONAIS DE PAREDES DE ALVENARIA

2.1.1 INTRODUÇÃO

Pretende-se com este subcapítulo dar uma panorâmica sucinta do sistema construtivo actualmente mais utilizado na realização de fachadas, dando especial ênfase ao modo como são realizadas, na generalidade, as ligações entre elementos constituintes da fachada, onde normalmente se verificam as zonas de ponte térmica.

2.1.2 OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS UTILIZADOS ACTUALMENTE EM PAREDES EXTERIORES DE ALVENARIA

As paredes podem ser classificadas de variadas formas, nomeadamente quanto à sua função estrutural, ao seu aspecto, localização e tipo de materiais utilizados, entre outras. Quanto à sua função estrutural, apenas se identificam duas classes: as alvenarias estruturais e não estruturais.

As primeiras tiveram uma importância preponderante durante longos anos, mas cederam lugar às segundas nos anos mais próximos, em face da utilização intensiva das estruturas de betão armado e dos elementos cerâmicos aligeirados e outros materiais. Não existe qualquer dúvida que as estruturas de betão armado têm, hoje, uma utilização quase generalizada na maioria dos edifícios portugueses. Também é verdade que as alvenarias realizadas têm, predominantemente a função de enchimento e não lhes é atribuída qualquer participação na função estrutural, embora se saiba que têm algum papel influente, pois podem condicionar a livre deformação da estrutura e em muitas situações têm que resistir a pequenas acções. As juntas de assentamento são realizadas com argamassas hidráulicas convencionais à base de cimento e preenchidas totalmente, quer horizontal e verticalmente.

2.1.2.1 PAREDES DE ALVENARIA CONFINADA

Sem função resistente contabilizada no cálculo estrutural, são apoiadas completamente nas vigas ou lajes, ficando totalmente confinadas pelos elementos horizontais e verticais da estrutura porticada (Figura 2.1). Este confinamento é total em toda a espessura da parede de alvenaria.

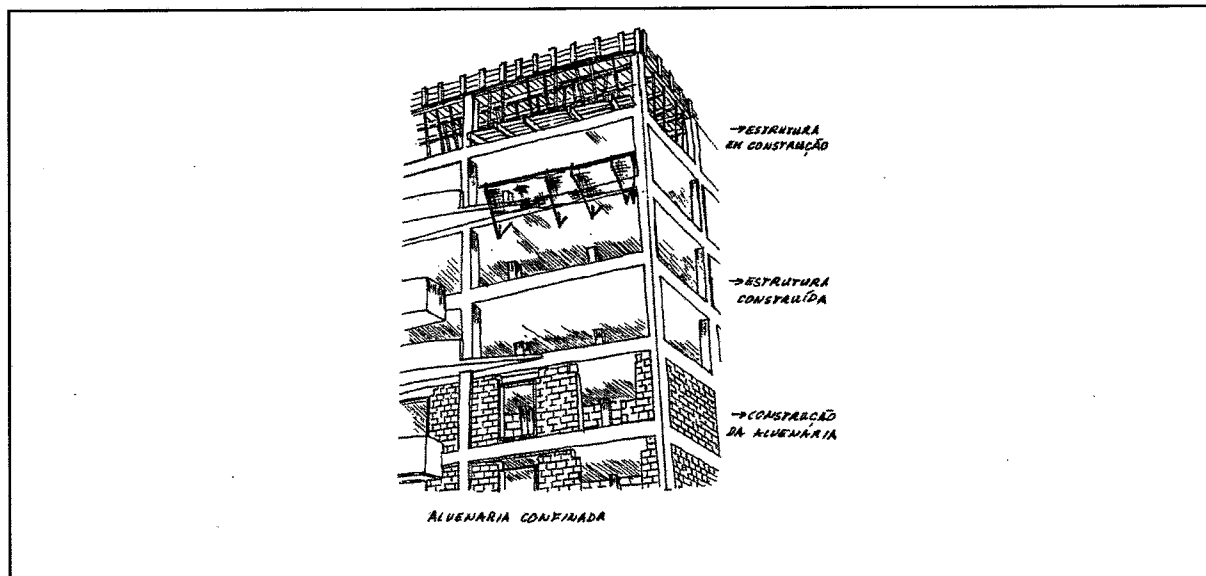


Figura 2.1 – Sistema de parede de alvenaria de enchimento totalmente confinada em toda a sua espessura pela estrutura resistente [4]

O tipo correntemente utilizado é a parede dupla com caixa-de-ar no interior da qual se intensifica o uso de isolantes térmicos. O tijolo cerâmico furado tem utilização mais intensiva como material constituinte, sendo as paredes mais utilizadas de 15cm + 11cm ou de 15cm + 7cm, pano exterior e interior, respectivamente. A largura das paredes exteriores coincide, na maioria dos casos, com a largura dos elementos estruturais de fachada, de forma a garantir superfícies exteriores e interiores planas. De salientar que, não é tradição realizar qualquer ligação, com acessórios mecânicos, do pano de parede exterior aos elementos de suporte ou ao pano interior, ficando a ligação suportada simplesmente pela aderência conseguida pela argamassa de assentamento na junta lateral vertical de ligação de cada pano à estrutura e/ou pela rugosidade das superfícies dos próprios tijolos.

2.1.2.2 PAREDES DE ALVENARIA NÃO CONFINADA

Existem vários tipos de não confinamento. Uma das situações é a das paredes totalmente assentes sobre estrutura resistente mas apenas confinadas horizontalmente, como é o caso das paredes exteriores assentes totalmente sobre corpos em avanço. Outro tipo de não confinamento é o caso das paredes que só são confinadas em parte da sua espessura. Os dois tipos de não confinamento referidos podem estar associados (Figura 2.2).

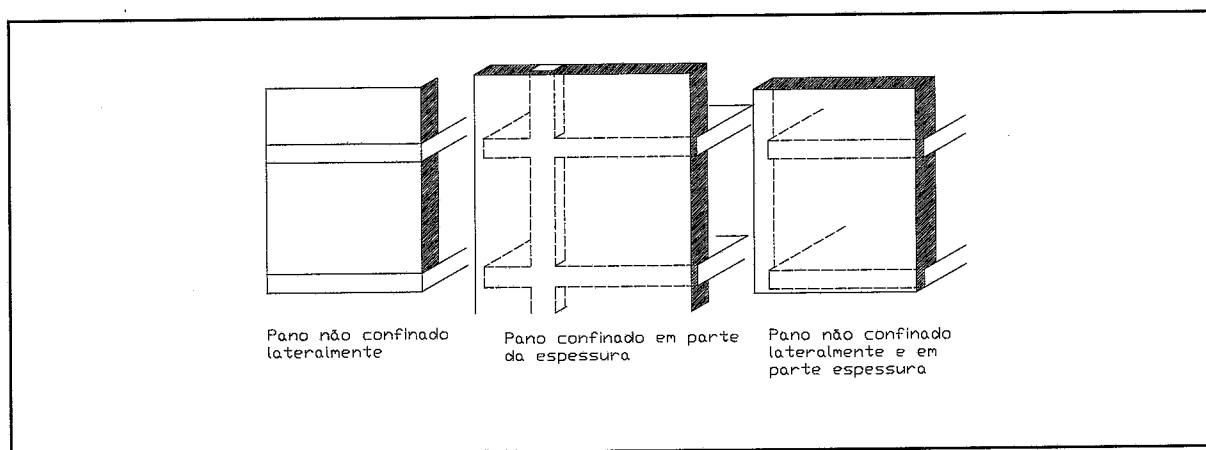


Figura 2.2 – Tipos de parede não confinada

O primeiro caso, é frequente nos edifícios de construção corrente em face do recurso intensivo da arquitectura aos corpos em consola.

O segundo e terceiro casos presenciam-se numa fase temporal mais recente, em que novos sistemas construtivos se impõem com modificação da concepção das fachadas. Um dos sistemas emergentes ultimamente são as fachadas de tijolo de face à vista, em que o pano exterior é de tijolo do tipo maciço ou do tipo perfurado, associado a um pano interior de tijolo de furação horizontal e constituindo uma parede dupla, fachadas cuja tradição noutros países europeus já é muito longa, nomeadamente no Reino Unido, mas que entre nós nunca tiveram muita expressão. A imagem exterior que se pretende é a de uma parede tradicional maciça responsável pela resistência global da fachada, o que de facto não acontece. A estrutura resistente é completamente envolvida pelos panos exteriores de alvenaria, dando um aspecto homogéneo ao conjunto de fachada, não deixando contudo de ser apoiada, das mais diversas formas, na mesma. Recorre-se em algumas situações ao uso de grampos de ligação ao pano interior, parte integrante do sistema, embora se tenham registado, por visita a obras, práticas de não colocação de

qualquer dispositivo de ligação do pano exterior em toda sua altura, altura esta que por vezes é de dois ou três pés direitos.

O envolvimento da estrutura resistente referido, pode ser realizado de duas formas: através de uma forra de elementos cerâmicos, pouco espessos, na continuidade do pano corrente e/ou através da passagem total do pano exterior e recorrendo a dispositivos mecânicos de fixação aos suportes, o mais correntemente chamado sistema de fachada cortina. O pano interior de parede é apoiado completamente na estrutura resistente. De referir que não há tradição de colocação de armaduras nas juntas horizontais ou verticais entre tijolos.

2.1.2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PONTOS SINGULARES DAS ALVENARIAS CORRENTES

A indústria de produção nacional tem-se apenas limitado a produzir os constituintes mais elementares, sem grande preocupação pela concepção de zonas particulares. O avanço para sistemas integrados, onde existe uma concepção pensada para o todo, tem sido até agora um processo lento.

As soluções utilizadas em pontos singulares das alvenarias, tais como as ligações da alvenaria à estrutura, baseiam-se numa adaptação, em obra, dos elementos cerâmicos correntes às zonas específicas, pois não existe uma tradição de produção nacional de formatos específicos para as variadas zonas particulares da envolvente. Os elementos são alterados em obra, ficando afectada a sua estrutura original e sendo provavelmente diminuída a sua resistência mecânica global, o que compromete o seu desempenho final. Em face destas formas irregulares e mal adaptadas às zonas particulares, o assentamento nestas zonas consegue-se à custa da realização de elementos mal posicionados e com o recurso ao preenchimento de folgas e espaços vazios com argamassa, muito para além da espessura recomendada para as juntas entre tijolos.

As padieiras dos vãos são realizadas com tijolos armados ou elementos em betão armado e apoiam directamente na alvenaria. As caixas de estore, quando existem, são realizadas normalmente com elementos pré-fabricados de betão e assentes também directamente nos panos de alvenaria.

2.1.2.4 A PRÁTICA CONSTRUTIVA PORTUGUESA NO QUE RESPEITA À CORRECÇÃO DAS PONTES TÉRMICAS

Os sistemas construtivos descritos conduzem a uma envolvente termicamente bastante heterogénea, visto que coabitam elementos com diferentes coeficientes de transmissão térmica em toda a envolvente vertical. Por exemplo, as estruturas de betão armado; as paredes duplas de material cerâmico e as caixas de estore. As primeiras e as últimas possuem um coeficiente de transmissão térmica muito mais elevado que as segundas. Estas heterogeneidades associadas as zonas geometricamente particulares originam as pontes térmicas, com todas as suas consequências.

Com entrada em vigor do *Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)*, novas exigências surgiram no âmbito do isolamento térmico da envolvente, e foi dada maior atenção à problemática da existência das pontes térmicas na envolvente com as soluções construtivas até então utilizadas. Numa fase temporal inicial, as heterogeneidades já existentes com o sistema tradicional, foram agravadas pelo facto de a aplicação prática dos princípios do *RCCTE* se ter limitado à colocação de um isolante térmico na caixa-de-ar da zona corrente, sem contudo ser realizada qualquer actuação nas zonas menos resistentes termicamente. Esta tendência aumentou significativamente a discrepância entre as resistências térmicas dos vários constituintes da envolvente e até agravou o fenómeno de ponte térmica, mantendo-se durante alguns anos e ainda agora nos hábitos construtivos.

O *RCCTE* apresenta um factor de majoração das perdas térmicas pela envolvente com vista a contabilizar o acréscimo de perda térmica pelas pontes térmicas da envolvente. Este factor, denominado de factor de concentração de perdas térmica, é utilizado quando da aplicação do regulamento em face 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* faz referencia às chamadas correcções de ponte térmica com o objectivo de atingir este valor, baseado em algo análogo ao que já se fazia noutros países, tendo em vista uma eliminação ou redução do fenómeno de ponte térmica. O *RCCTE* denomina de correcção simples a introdução de uma resistência térmica adicional de $0,06 \text{ m}^2\text{C/W}$ para a zona ponte térmica e admite que a realização 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 térmica adicional de

0,12 m²C/W, admitindo que uma forra de tijolo de 7cm cumpre esse requisito. Inspiradas nestes princípios de melhoria térmica, têm sido adoptadas na prática soluções construtivas que consistem na realização de forras cerâmicas, de pequena espessura, a envolver a face exterior ou interior dos elementos estruturais de betão armado. Para além destas correcções o regulamento também indica algumas medidas complementares, tais como o isolamento das caixas de estore.

A Figura 2.3 mostra os vários tipos de correcção térmica realizados na zona de ligação entre parede exterior e laje ou viga de piso intermédio.

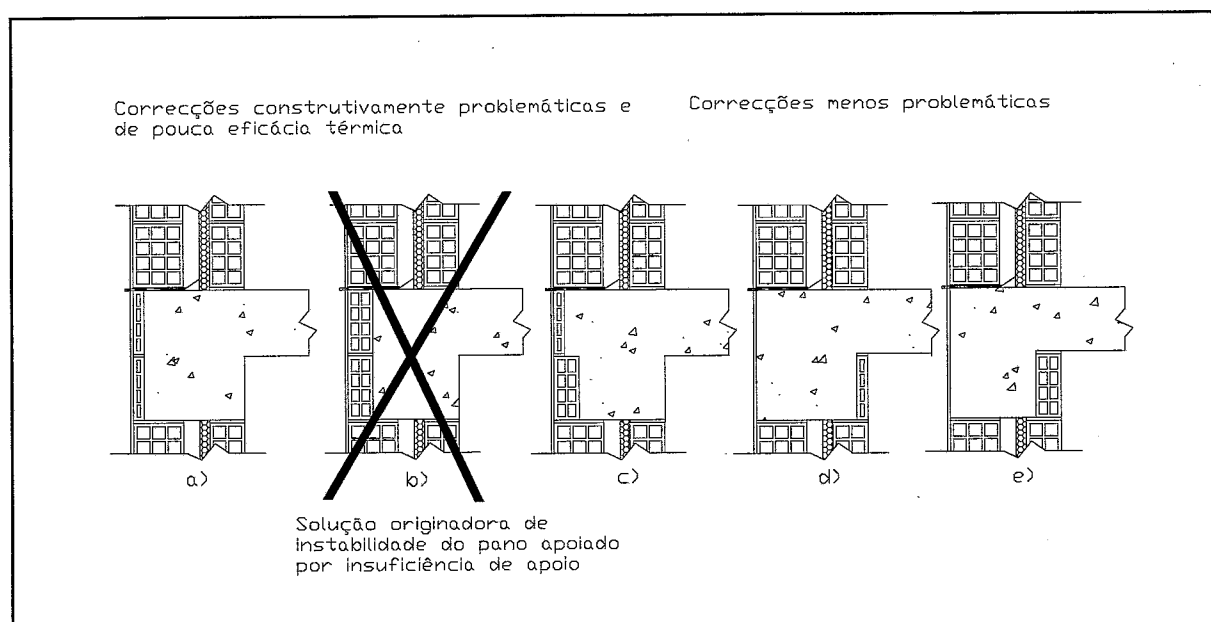


Figura 2.3 – Tipos de correcções cerâmicas de fraco desempenho em zona de topo de laje a) correcção simples pelo exterior; b) correcção dupla pelo exterior; c) correcção com aba saliente no topo da laje; d) correcção simples pelo interior; e) correcção dupla pelo interior;

Em zonas de pilar e parede resistente, também são realizadas forras cerâmicas com as mesmas espessuras referidas, pelo interior ou pelo exterior. A Figura 2.4 mostra exemplos de execução de forras de correcção pelo exterior em zona de pilar.



Figura 2.4 – Correção térmica pelo exterior em zona de pilar

As platibandas ou muretes de cobertura também são revestidas com as forras cerâmicas pelo exterior (Figura 2.5).



Figura 2.5 - Pormenor de execução de forra cerâmica na platibanda

A Figura 2.6 apresenta o aspecto visual de um edifício em construção realizado com forras cerâmicas pelo exterior, dissimulando a estrutura resistente em betão armado.

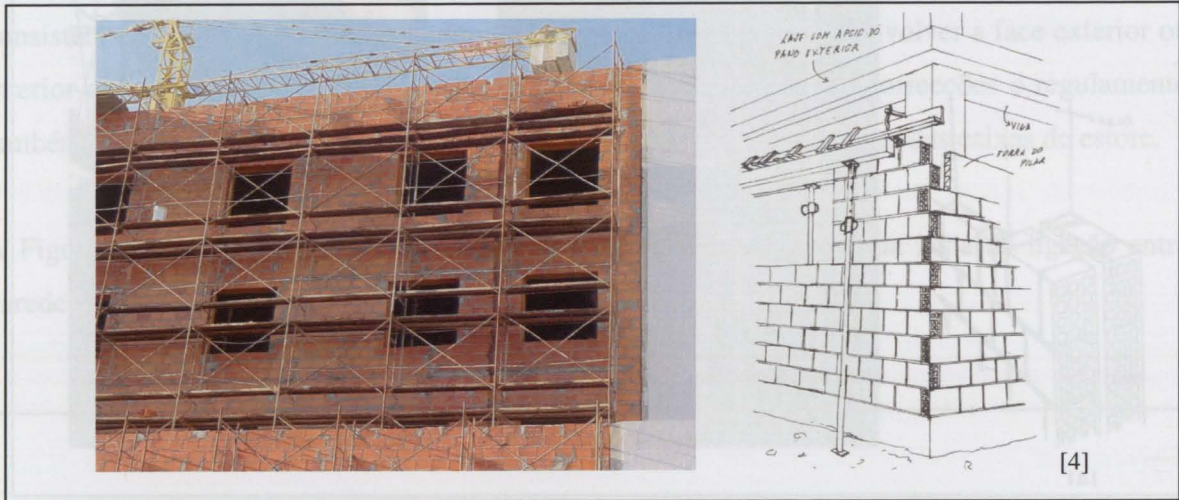


Figura 2.6 - Perspectiva de edifício em construção com recobrimento da estrutura resistente com forras cerâmicas de tijolo furado

O processo de execução das forras cerâmicas tem sido de três formas distintas: assentes na continuidade temporal do pano exterior; realizadas em simultâneo com a betonagem das vigas ou depois da realização do pano corrente. A fixação, com dispositivo mecânico, à estrutura ou à restante alvenaria, não é prática, criando um pano exterior com variações de espessura em toda altura do edifício. A Figura 2.7 mostra alguns exemplos de correcção térmica em edifícios com execução da forra ao mesmo tempo que é executado o pano corrente.

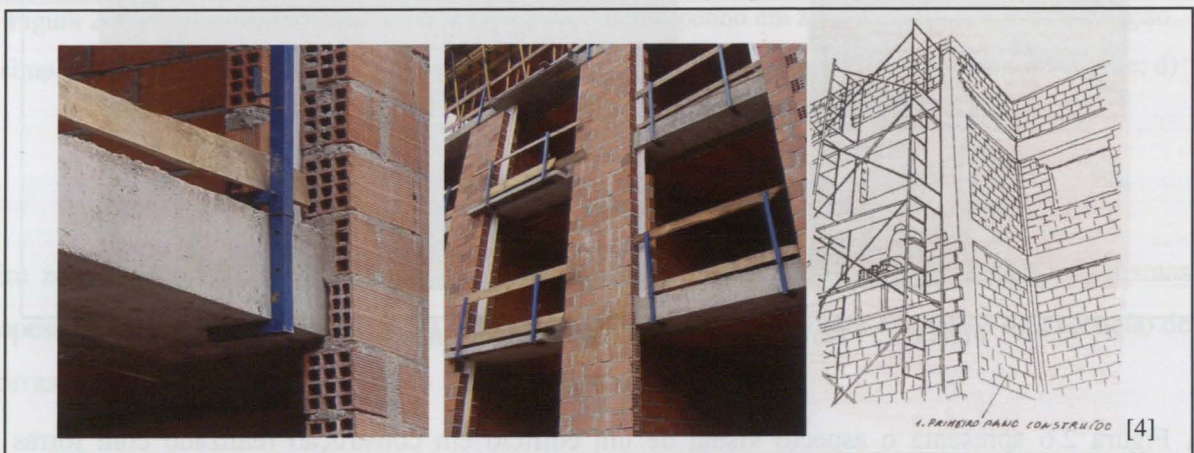


Figura 2.7 – Exemplos de execução de forras cerâmicas simples e duplas pelo exterior, executadas na continuidade de cada pano corrente

Em algumas situações, estão a ser integradas na cofragem das lajes e vigas, previamente à betonagem, tal como se pode constatar na Figura 2.8.

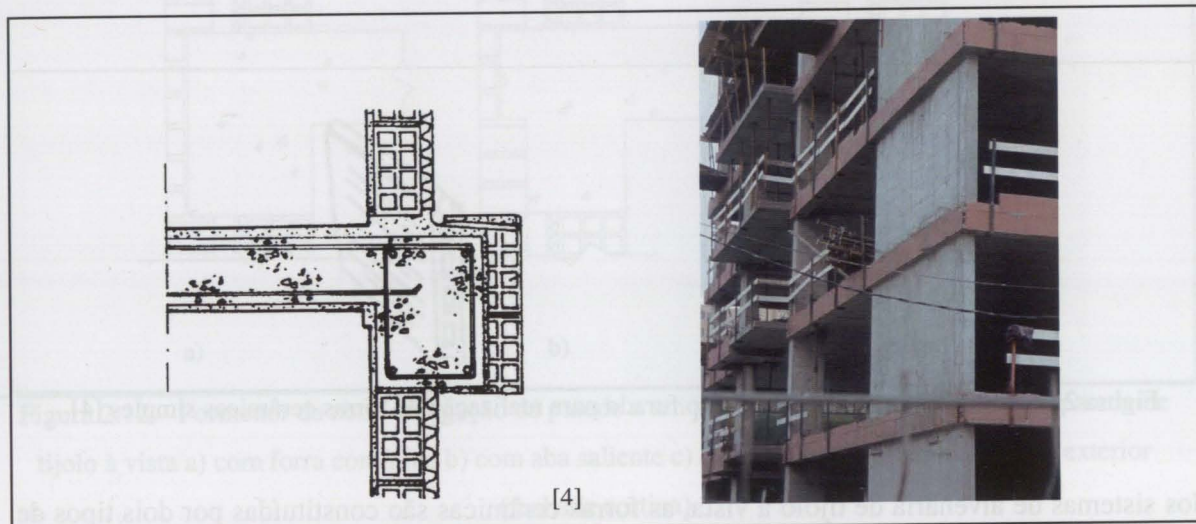


Figura 2.8 - Exemplos de forra cerâmica simples ou duplas pelo exterior realizadas antes do pano exterior integradas no sistema de cofragem das lajes e vigas

Também é frequente encontrarem-se situações em que as forras cerâmicas são realizadas depois de realizado o pano corrente, criando uma descontinuidade ainda mais pronunciada entre a zona corrente e a zona de ponte térmica (Figura 2.9).



Figura 2.9 - Exemplos de correcções cerâmicas pelo exterior executadas à posteriori da execução do pano corrente

Na realização destas forras são utilizados elementos de formato corrente conformados em obra e elementos existentes no mercado com espessuras reduzidas. Os tijolos conformados utilizam-se

para realizar os remates na zona de transição da espessura do pano. Existem elementos específicos, produzidos pela indústria de cerâmica, para realização de forras cerâmicas simples, com cerca de 3cm de espessura (Figura 2.10).

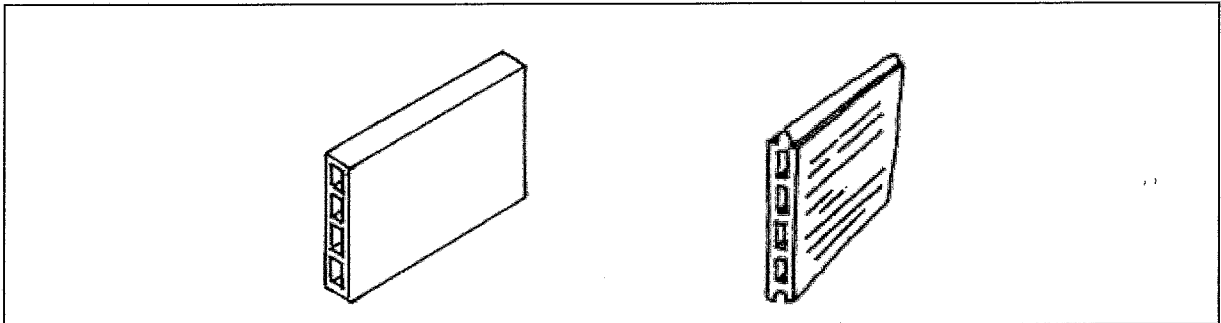


Figura 2.10 – Pormenor de peças de tijolo furado para realização de forras cerâmicas simples [4]

Nos sistemas de alvenaria de tijolo à vista, as forras cerâmicas são constituídas por dois tipos de elementos cerâmicos finos, com cerca de 3cm de espessura (Figura 2.11).

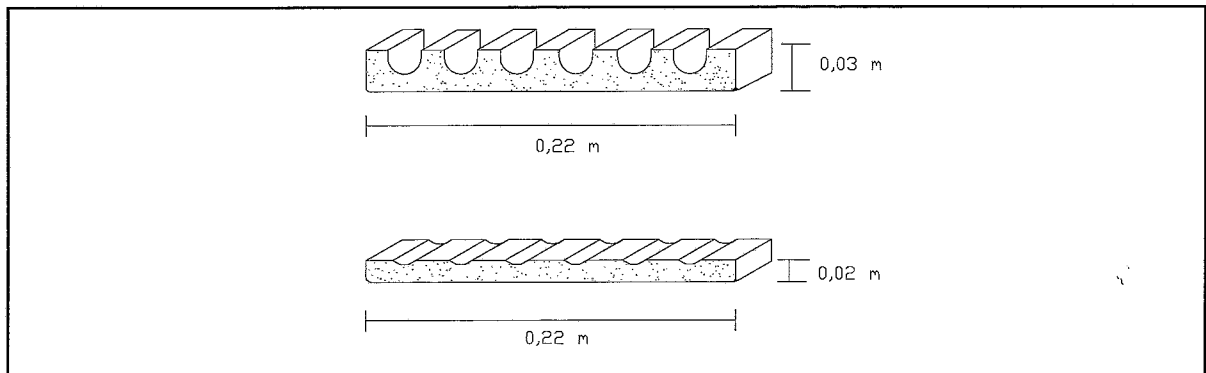


Figura 2.11 - Características dimensionais do elemento cerâmico utilizado como forra dos elementos estruturais em fachadas de tijolo à vista

Existe também o sistema de fachada cortina em que o pano exterior de tijolo assenta numa estrutura de apoios metálicos fixados aos elementos estruturais. Usualmente esta última solução constitui sistemas integrados com uma patente específica.

A Figura 2.12 mostra o pormenor construtivo genérico dos vários tipos de sistemas de tijolo à vista, em zona de ligação de piso intermédio com a parede exterior.

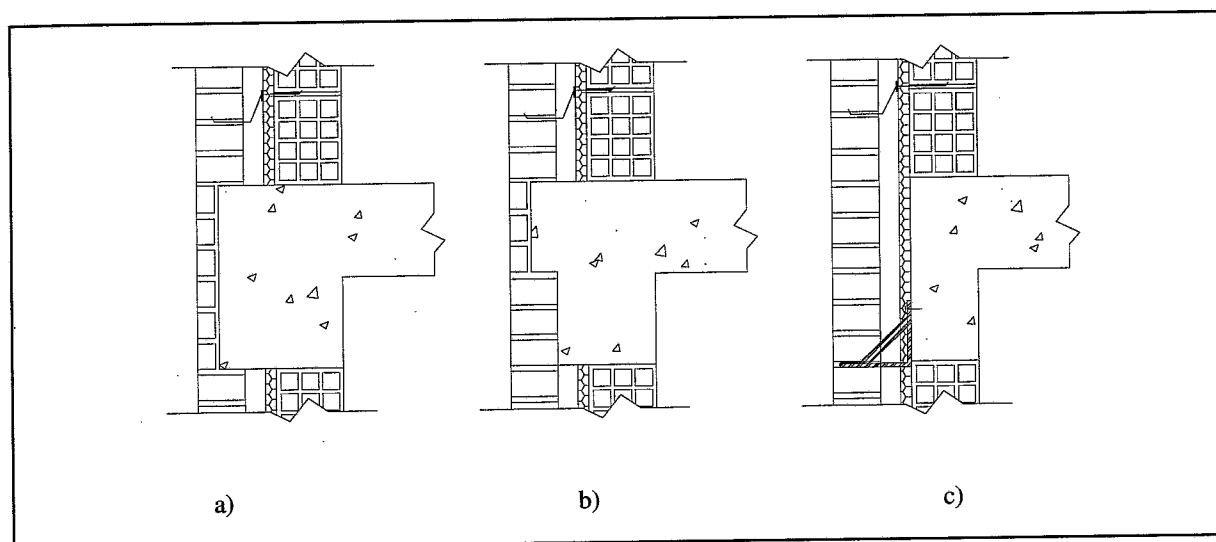


Figura 2.12 – Pormenor da zona de ligação da parede a um piso intermédio num sistema de parede de tijolo à vista a) com forra contínua; b) com aba saliente c) com passagem integral do pano exterior (fachada cortina)

O importante a salientar é que as forras pelo exterior têm sido as protagonistas de anomalias de alguma gravidade, já que, existe uma transformação das condições de apoio dos panos exteriores de parede em comparação com as condições iniciais da construção tradicional confinada. Até aqui, o sistema utilizado, o confinado, pressupunha um apoio total do pano exterior mas esta prática veio alterar, perigosamente, as condições de ligação entre as paredes de enchimento e as estruturas, relativamente ao que era tradicional. O seu funcionamento mecânico é alterado e a estabilidade é questionada.

Deduz-se que, em face desta nova corrente construtiva, novos desafios se põem e obrigam a uma reflexão mais profunda sobre o comportamento dos sistemas de alvenaria de enchimento. Muitas soluções têm vindo a ser desenvolvidas noutros países, em face do semi-apoio dos panos, desde a adopção isolada de peças metálicas de suporte até aos sistemas integrados de alvenaria. Em Portugal, em muitas situações, o projecto de estruturas contempla já a adopção de consolas salientes nos topos de lajes para ajudar ao apoio do pano exterior semi-confinado (Figura 2.13).

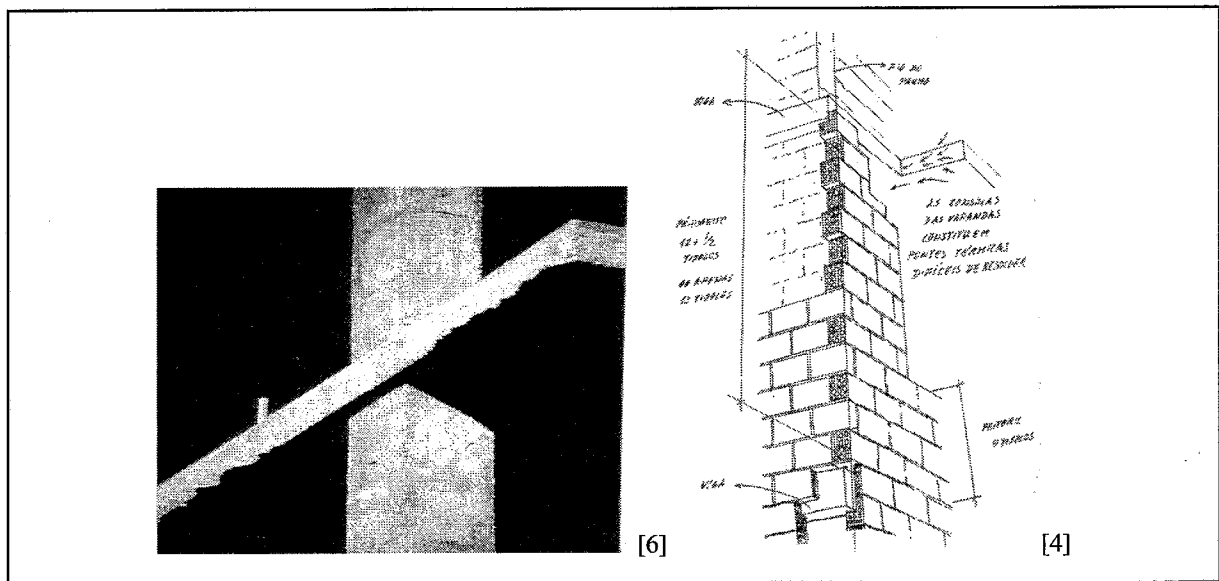


Figura 2.13 – Pormenor do topo de laje saliente para apoio do pano exterior de alvenaria e forra cerâmica nessa zona

2.1.3 NOÇÕES ELEMENTARES DO ESTADO DO CONHECIMENTO SOBRE O FUNCIONAMENTO MECÂNICO DAS ALVENARIAS

As considerações seguintes são baseadas na publicação "Manual de Execução de Alvenarias" [7]. Todas as paredes estão sujeitas a acções diversas, as paredes com função resistente e as paredes cuja função é apenas de preenchimento. Em face dessas solicitações, todas as paredes têm que assegurar uma exigência fundamental de estabilidade, o que implica um conhecimento do seu funcionamento mecânico

O estudo do comportamento mecânico das alvenarias nem sempre é de fácil compreensão. As alvenarias não são elementos homogêneos mas sim elementos compostos por diversos materiais. Os elementos (tijolos e blocos) podem variar em muitos aspectos: no tipo de material, na geometria, na qualidade de produção. Os materiais, por exemplo as argamassas de assentamento, podem variar nas suas características. A juntar a tudo, isto pesa ainda a variabilidade da sua execução. Por isso, existe uma grande dispersão das suas características resistentes. Os ensaios experimentais trazem alguns problemas, bem como a interpretação dos resultados que põe algumas dificuldades.

Contudo, é já do domínio do conhecimento que as alvenarias:

- Têm uma fraca resistência à tracção e que esta depende da resistência da aderência entre os elementos e a argamassa;
- A sua resistência depende da resistência isolada de cada elementos constituinte e da relação entre os seus volumes no pano de parede.

Sabe-se também que uma redução da espessura das juntas e o aumento da resistência da argamassa favorecem a resistência global da alvenaria, embora com alguns limites.

As alvenarias estão sujeitas a:

- Cargas verticais, que mobilizam a resistência à compressão da parede;
- Cargas horizontais no seu plano, devidas à acção do vento e dos sismos, mobilizando a resistência ao corte;
- Cargas horizontais no plano perpendicular, devidas principalmente à acção do vento que mobiliza resistência à flexão.

Sabe-se ainda que o aumento da compressão e da resistência à compressão na direcção horizontal do plano de parede tem um efeito favorável na resistência ao corte, dentro de certos limites, e que o não preenchimento das juntas verticais, a ausência de cargas verticais significativas e grandes esbeltezas têm o efeito contrário.

As paredes com função exclusivamente de preenchimento têm cargas verticais originadas pelo seu peso próprio e pelo peso dos elementos que sobre elas descarregam. A sua resistência a acções verticais é principalmente condicionada pela sua esbelteza, por isso é aconselhado que a sua espessura seja adequada face à sua altura e comprimento. As zonas onde existem cargas concentradas devem ser analisadas.

As deformações nos elementos estruturais provocam cargas nas paredes que mobilizam a resistência à flexão e o efeito de arco.

A acção do vento produz efeitos no plano de parede, sendo a resistência assegurada teoricamente pela estrutura. Esta acção também produz efeitos no plano perpendicular mobilizando a resistência à flexão e depende da pressão dinâmica do vento, das dimensões e condições de ligação desta à estrutura. Os apoios verticais e as ligações entre elementos que assegurem algum encastramento são favoráveis para a transmissão destas acções das paredes para as estruturas. A

resistência a estas acções é superior no plano perpendicular às juntas horizontais de assentamento. A existência de aberturas agrava os efeitos destas acções. A resistência à flexão depende do tipo de argamassa utilizada e da sua aderência. É importante que as argamassas devam ter boa retenção de água e as juntas devem ser correctamente preenchidas. As espessuras da parede devem respeitar as esbeltezas máximas permitidas de forma que assegurem um comportamento adequado a esta acção. No caso das paredes duplas, considera-se que os dois planos só contribuem conjuntamente para resistir a esta acção quando convenientemente travados.

2.2 A INVESTIGAÇÃO NO DOMÍNIO DA CORRECÇÃO DE PONTES TÉRMICAS EM INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO

2.2.1 ASPECTOS GERAIS

Muito tem sido realizado no domínio do estudo das pontes térmicas. Este estudo tem sido assente, principalmente, em duas abordagens distintas. A primeira incide na caracterização do fenómeno de ponte térmica, nomeadamente na quantificação dos fluxos de calor e na análise da distribuição das temperaturas. A segunda, objectivo último da investigação, surge na sequência da primeira e envereda pela procura de soluções de concepção e execução da envolvente para a realização prática de correcções de ponte térmica.

Não são muitos os estudos vocacionados especificamente para as acções de reabilitação das pontes térmicas. A maioria dos estudos existentes refere-se, principalmente, a recomendações construtivas para as zonas específicas da envolvente e pormenorização vocacionada para aplicação em construção nova, que nem sempre é aplicável a obras de reabilitação. No entanto, estas informações são fonte de inspiração essencial para possíveis acções de reabilitação.

2.2.2 RELATIVAMENTE À VERTENTE TÉRMICA DO PROBLEMA

A investigação no domínio da caracterização do fenómeno físico das pontes térmicas tem-se realizado, desde há já alguns anos, com inúmeros estudos sobre a matéria, a nível nacional e internacional. É constante a contribuição de novos investigadores que vêm trazer novas achegas para um estudo que se pretende global e abrangente. Por isso, muito poderia ser dito,

relativamente aos estudos de caracterização do fenómeno físico até agora realizados, mas não é este o objectivo deste trabalho, e toda esta vertente já foi analisada em trabalhos anteriores.

Em [3] apresenta-se um estudo sobre esta matéria, concentrado na análise e caracterização detalhada do fenómeno. Faz-se uma análise de diversos métodos de caracterização do comportamento das pontes térmicas, teóricos, experimentais, numéricos e simplificados e procede-se à sua aplicação a zonas de ponte térmica da envolvente, fazendo estudos de sensibilidade dos resultados face à variação de determinados parâmetros dimensionais dos elementos construtivos. No que respeita à correcção térmica, foi elaborado um catálogo de pontes térmicas [3] onde se propõem soluções de princípio de correcção com a sua caracterização teórica, por simulação numérica. Este catálogo fornece, para cada geometria estudada, dados fundamentais, tais como: os valores da perda térmica total e do acréscimo da perda, por aplicação da metodologia do *RCCTE*, e o valor máximo do factor de temperatura superficial e seu posicionamento na envolvente. No entanto, não se aprofunda a pormenorização construtiva dessas soluções. Tornou-se, desta forma, um ponto de partida para o arranque deste trabalho, funcionando como um teste de avaliação inicial das soluções de princípio mais favoráveis. Pode-se dizer, genericamente, que se encontram soluções satisfatórias quando se garante uma continuidade do material isolante da zona corrente. Neste trabalho são também elaboradas algumas recomendações construtivas para a concepção dessas zonas e das correcções a efectuar, principalmente baseadas no *DTU 20.1*.

Relativamente aos programas de simulação, concluiu-se recentemente a nível europeu, o projecto *Kopractice*, que pretendia adoptar uma ferramenta informática já existente de forma a trazer a análise das pontes térmicas para a prática de projecto. No âmbito do projecto *Eurokobra*, antecessor do *Kopractice*, foi desenvolvido um programa de simulação numérica de pontes térmicas denominado *Kobra*, sob a responsabilidade da empresa belga *Physibel* e com a colaboração de investigadores europeus. Esta ferramenta possibilita simulação bi-dimensional de pontes térmicas e incluiu uma base de dados (*Eurokobra*) com geometrias de pormenores construtivos. De salientar que, neste momento, a versão disponível deste programa, pelo facto de ter sido desenvolvido noutros países, onde a realidade construtiva é bem diferente da nossa, disponibiliza geometrias que não se enquadram na nossa realidade. Esta questão está a ser desenvolvida.

Outro software disponível, entre outros, para avaliação do comportamento das pontes térmicas é o programa informático *CONDUC*, desenvolvido no trabalho de *Corvacho* [3]. Este programa aplica o método das diferenças finitas a geometrias bi-dimensionais e permite simulações em regime permanente ou variável.

Em Inglaterra, o *Building Research Establishment (BRE)* tem-se debruçado sobre estas questões e apresenta alguns avanços importantes no campo das pontes térmicas. No âmbito do *Energy Efficiency Office's Best Practice Programme*, é responsável pela elaboração de documentos do tipo *Good Practice Guide* onde se apresentam regras e soluções práticas de isolamento térmico da envolvente para evitar o risco de patologias a elas associadas, onde se incluem soluções de princípio para correcção de pontes térmicas, com alguma pormenorização. Mais recentemente, ao abrigo do mesmo programa, surgiram duas publicações do mesmo tipo [10; 11], que abordam especificamente este problema e apresentam também soluções de princípio, quer para construção nova quer para reabilitação de construções já existentes (Figura 2.14). Contudo, não apresentam pormenorização construtiva das soluções nem regras de execução.

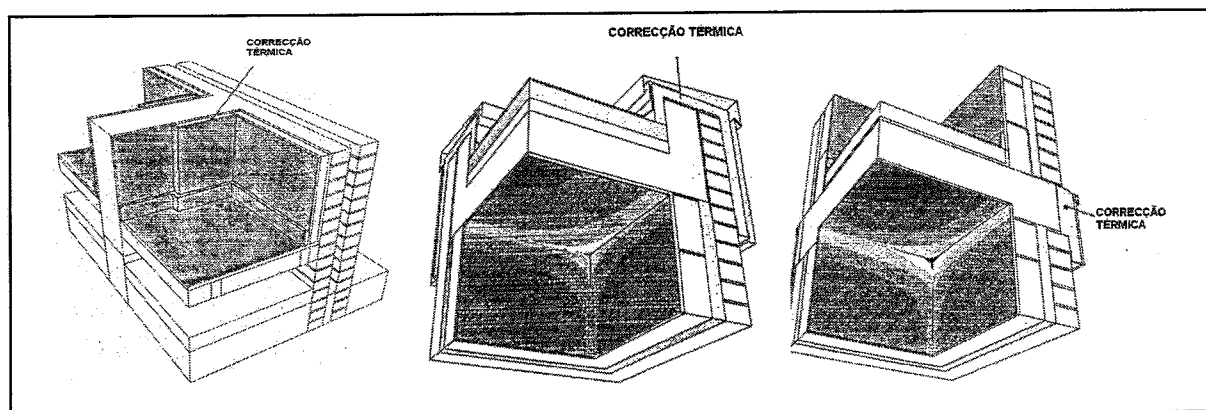


Figura 2.14 – Propostas de reabilitação térmica para diversas zonas de ponte térmica [10]

A edição de 2002 da regulamentação inglesa sobre edifícios, *The Building Regulations 2000, Approved Document, Part L1 e Part L2*, propõe requisitos mais exigentes para o desempenho térmico da envolvente, sempre com o objectivo de tornar os edifícios, energeticamente, mais eficientes e reduzir os riscos de ocorrência de patologias. Propõe valores mais exigentes para os valores de referência do coeficiente de transmissão térmica dos seus elementos, bem como ainda novos métodos de caracterização do fenómeno de ponte térmica.

Para fazer face a esses novos requisitos e para tornar mais fácil a sua implementação na prática construtiva, foi elaborada recentemente pelo *Department for Environment, Food & Rural Affairs*

e pelo *Transport Local Government Regions* uma publicação denominada “Limiting Thermal Bridging and Air Leakage: Robust Construction Details for Dwellings and Similar Buildings” [12], vocacionada para a aplicação prática em projecto de edifícios. Neste documento apresentam-se soluções práticas de correcção de ponte térmica cujo desempenho térmico foi comprovado. Essa concepção assentou nos seguintes requisitos:

- Boa execução em obra;
- Reduzidos riscos de aparecimento de patologias relacionadas com erros técnicos;
- Baseado em práticas construtivas existentes;
- Utilização de materiais disponíveis no mercado;
- Princípios de evolução e não revolução da técnica.

Torna-se evidente que para além de impor novas exigências cabe também pensar na sua aplicabilidade construtiva. Sendo assim, houve uma preocupação no sentido de conceber pormenores construtivos, cuja eficácia térmica cumpria os requisitos da regulamentação que tivesse uma aplicabilidade prática e facilitada em projecto.

Outro estudo de suporte da nova regulamentação inglesa, elaborado por *T. Ward* do *Building Research Establishment* [3] avalia os efeitos das pontes térmicas em ligações entre elementos construtivos e zonas de vãos para os casos não abordados por [12]. Estabelece os valores críticos do factor de temperatura superficial para limitar o risco de condensação superficial e, principalmente, o desenvolvimento de bolores. Esta publicação também apresenta novos métodos de avaliação do desempenho térmico das pontes térmicas e a forma de englobar a perda térmica por ela ocorrida na perda térmica global pela envolvente.

Em França, o risco de condensação, é avaliado através de um factor de temperatura em função da higrometria dos espaços interiores e publicado pelo *CSTB*. O *CSTB* tem estudos feitos no âmbito da caracterização física das pontes térmicas, de salientar as “*Règles TH-K77*”, mas sem incluir regras práticas. No aspecto construtivo, o *DTU 20.1* faz referencia às denominadas “*habillages*”, nome dado às forras de material que cobrem a estrutura resistente. Sem pretenderem ser correcções de ponte térmica funcionam como tal. Para estas situações são especificadas regras de concepção e execução que podem ser inspiradoras para acções de reabilitação. Contudo, algumas das regras são de difícil execução, não justificando a melhoria térmica que se obtém com a sua aplicação.

Na Bélgica não existe neste momento um regulamento para avaliar o risco de condensações, apenas é reconhecido um documento, o “Technical Note 153”, editado pelo BBRI em 1984.

Na Holanda existe normalização, que estabelece a performance energética dos edifícios. No “Dutch Buildings Regulation” (“Bouwbesluit”), são referidos, em função dos locais, os valores limite do valor do factor de temperatura superficial, que é calculado através da norma *NEN 2778 (Moisture Control in Buildings Standard – Determination Methods)* [9].

Na Noruega o “Technical Regulations under Planning and Building Act 1997 – 22 January 1997 No. 33”, possui alguns parágrafos relevantes para este tema. O “Guide to Technical Regulations” identifica as zonas de ponte térmica e remete para os “Building Details Sheets”, da responsabilidade do *Norwegian Building Research*. Neste documentos estão incluídos métodos para o cálculo de pontes térmicas e para evitar o risco de condensações [9].

Em Espanha existem, em diversas publicações ligadas à reabilitação global de edifícios [14; 15] e às técnicas de isolamento térmico da envolvente, [16], estudos sobre caracterização de pontes térmicas e técnicas de reabilitação térmica, onde se apresentam algumas soluções de correcção. É aconselhado que a correcção seja feita de preferência pelo exterior, através do isolamento generalizado, mas quando isto não é possível é necessário adoptar outro tipo de soluções. Essas soluções passam, fundamentalmente, pela incorporação de material isolante pelo interior, na zona de ponte térmica. A Figura 2.15 mostra dois tipos de solução apresentados para duas zonas de ponte térmica.

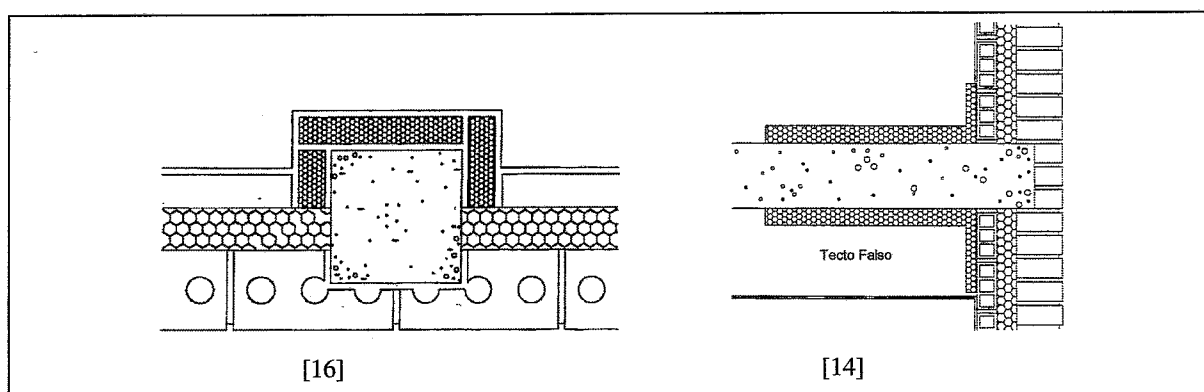


Figura 2.15 - Correcção de ponte térmica pelo interior em zona de pilar e zona corrente de alvenaria e na ligação entre parede e laje de piso intermédio utilizando material isolante

Na primeira, garante-se a correcção pela continuidade do isolante. Na segunda, o princípio de correcção assenta na garantia de que o atravessamento, pelas linhas de fluxo, de uma distancia suficientemente longa ao longo da laje para que se crie uma resistência térmica semelhante à resistência térmica na zona próxima da ligação. De referir que a reabilitação na parte superior da laje não é suficientemente pormenorizada, sendo necessário pensar no tratamento desta zona. São apresentadas fórmulas expeditas para cálculo das dimensões desta correcção. Também são tecidas considerações sobre a correcção das caixas de estore, no entanto, não é desenvolvida qualquer pormenorização destas soluções.

Em Itália, existem guias de projecto, onde são fornecidas regras de concepção e pormenorização construtiva para a realização de correcções térmicas, mas com objectivos de aplicação em obra nova. O cálculo de pontes térmicas é imposto pela *Norma UNI 10344*.

A *Norma EN ISO 13788* fornece um método para projectar a envolvente de forma a prevenir as condensações e a geração de bolores [9].

2.2.3 RELATIVAMENTE À VERTENTE CONSTRUTIVA

A reabilitação construtiva das pontes térmicas, tal como foi definida anteriormente, surge como uma área de sentido muito abrangente, pois implica um conhecimento lato de um amplo leque de anomalias ocorrentes nas fachadas. Muitas podem ser as possíveis causas dessas anomalias, o que constitui um campo muito vasto de investigação.

Existem já um número significativo de estudos sobre o comportamento das fachadas, principalmente das alvenarias, face às diversas solicitações, que são apontadas como as mais frequentes: os movimentos da estrutura e as acções de origem térmica e higrotérmica. Nestes estudos incluiu-se, para além da análise dos fenómenos referidos, a caracterização das patologias deles resultantes e possíveis acções preventivas e curativas. No entanto este trabalho nunca está finalizado em face de constantes evoluções nos materiais e sistemas de fachadas utilizados. Estes trabalhos possibilitam um avanço na procura de novas soluções e regras construtivas e também na reabilitação das existentes. Muitos outros estudos, nacionais e internacionais, têm já feito uma identificação e caracterização das anomalias mais frequentes nas alvenarias e apontam as causas mais frequentes e mais prováveis.

Tem sido cada vez mais evidente que algumas das causas e mecanismos das anomalias, que não tinham muita influência no desencadeamento de patologias nos sistemas tradicionais de fachada confinada, assumem agora uma expressão importante nos edifícios onde foram realizadas soluções de correção térmica pelo exterior ou qualquer outro sistema construtivo que altere as condições de confinamento das alvenaria, como é o caso do sistema de tijolo de face à vista. Em face do panorama, cada vez mais significativo, de ocorrência de patologias em fachadas, em muitas das quais foram utilizados sistemas de forra cerâmica pelo exterior, têm sido realizados alguns estudos de análise das possíveis causas que estão na origem destas anomalias.

Em [2] *J. Mendes da Silva*, no âmbito da sua tese de doutoramento, apresenta um estudo no domínio da fissuração das alvenarias e do seu comportamento face às acções térmicas e higrotérmicas, com particular atenção para a solução de tijolo face à vista e panos não confinados.

Recentemente, *R. Vicente* [5] concluiu um trabalho de grande importância para este tema, onde é realizada uma análise do comportamento mecânico das alvenarias com correção de pontes térmicas pelo exterior. Os fenómenos de fissuração e a iminente instabilidade que estes panos podem sofrer foram comprovados através de ensaios experimentais e simulações por métodos numéricos em computador. Concluiu que quando esta a largura de apoio mínima não é cumprida são observáveis fenómenos de rotação da parede, pondo em causa a sua estabilidade.

No campo da influência das deformações da estrutura no comportamento das alvenarias também já foram realizados alguns trabalhos [17; 18], onde se encontram algumas considerações neste campo e também no campo das acções higrotérmicas.

V. Freitas e P.S. Pinto, apresentaram recentemente uma comunicação [19] sobre repercussão da expansão do tijolo vazado de barro vermelho, causada pela humidade, nas alvenarias não totalmente confinadas, resultantes de soluções preconizadas para o tratamento, pelo exterior, de pontes térmicas.

O “Manual de Alvenaria de Tijolo”, uma publicação do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV) [7], apresenta um exaustivo estudo sobre as alvenarias em muitas das suas vertentes, nomeadamente levanta o problema das correções inadequadas de ponte térmica e apresenta algumas recomendações construtivas.

O *Eurocódigo 6* [20] possui algumas regras para concepção e dimensionamento de alvenarias, sem no entanto ser muito pormenorizado para pontos singulares e remetendo muitas questões para regulamentação específica de cada país sobre alvenarias.

O *Building Research. Establishment, (BRE)* possui várias publicações, onde se aborda, entre outras, as patologias relacionadas com as forras cerâmicas, realizadas nas alvenarias de tijolo de face à vista, alvenarias com uma larga tradição no Reino Unido. Apresentam algumas estratégias e soluções de reabilitação. Neste país, a base do conhecimento do comportamento das alvenarias assenta na norma *BS 5628, Part 3: 1985, "Use of Masonry- Materials and Components, Design and Workmanship"* [21], onde se especificam todas as questões relacionadas com este elemento construtivo e onde se abordam regras e recomendações para execução de alvenarias não confinadas e alvenarias resistentes. Um ponto de partida chave para a elaboração da reabilitação construtiva.

A comunidade científica espanhola tem-se debruçado sobre este problema. Tendo uma tradição enraizada na realização de alvenarias de tijolo à vista, encontram-se agora numa fase de reflexão sobre as práticas construtivas até agora adoptadas nos edifícios. Como utilizadores intensivos deste tipo de alvenaria, encontram-se presentemente perante uma série de patologias resultantes dessa prática continuada durante anos. Existem manuais de execução de alvenaria de tijolo à de face à vista [22], como auxílio para um melhor conhecimento das suas propriedades e para a correcta execução em obra.

J. Adell Argilés, da *Universidade Politécnica de Madrid*, faz uma análise retrospectiva [6] sobre os sistemas construtivos utilizados em Espanha e uma reflexão sobre as principais patologias verificadas, actualmente. Introduce conceitos inovadores e critérios de concepção das alvenarias contemporâneas, de tijolo à vista, com vista a evitar problemas como a fissuração, entre outros. Segundo o mesmo, a concepção dessas fachadas deve passar por quatro directrizes fundamentais:

- Realização de juntas de movimento verticais e horizontais entre a alvenaria e elementos estruturais;
- Incrementar a resistência global através da alvenaria armada;
- Utilizar fixações do pano exterior à estrutura ou ao pano interior, com liberdade de movimento adequado face aos seus movimentos;
- Garantir um bom comportamento higrotérmico e acústico do conjunto da fachada.

Com base nestas linhas mestras, o autor apresenta sistemas integrados alternativos para a concepção das fachadas actuais. Segundo o mesmo, é importante tornar independente o comportamento da alvenaria face ao comportamento da estrutura resistente, bem como criar mecanismos para que tenha capacidade de resistir às tensões de tracção. Preconiza a alvenaria armada como forma de controlar esta última. No entanto, vai mais longe e apresenta todo um sistema de fachada contemporânea com capacidade resistente por si mesma.

Em França, o *DTU 20.1* [8] preconiza regras construtivas para realização das denominadas “habillages”. Estas regras têm uma aplicação mais vocacionada para a concepção de raiz de um edifício.

O *Centre Technique des Tuiles et Briques* possui também uma publicação [23] no sentido de fornecer a caracterização completa dos materiais cerâmicos para alvenarias, fazendo as recomendações construtivas para as concepções das mesmas e para sua melhor execução em obra. Apresenta algumas recomendações para a realização de alvenarias de tijolo de face à vista em zonas particulares da fachada.

CAPÍTULO 3

PATOLOGIAS ASSOCIADAS ÀS ZONAS DE PONTE TÉRMICA

3.1 INTRODUÇÃO

Quando se refere o fenómeno de ponte térmica quase imediatamente se é levado a pensar nas suas consequências mais directas, as quais são resultantes da sua existência como um mecanismo apenas higrotérmico. No entanto, esta abordagem não se fica apenas por aqui. As patologias associadas às zonas de ponte térmica podem, assim, ter diversas naturezas. Ou exclusivamente derivadas do fenómeno físico de ponte térmica ou então, de natureza fundamentalmente mecânica devida a dois aspectos fundamentais:

- Fenómenos que podem ocorrer nos elementos de fachada e/ou na estrutura resistente e que devido à fragilidade das soluções construtivas realizadas nessas zonas aí têm repercussões;
- Tentativas construtivamente inadequadas de correcção da ponte térmica, principalmente pelo lado exterior dos elementos da envolvente.

Portanto, basicamente, são duas as vertentes na análise deste problema: a vertente de caracterização do fenómeno de ponte térmica e a vertente construtiva do problema.

3.2 PATOLOGIAS DIRECTAMENTE DECORRENTES DA EXISTÊNCIA DE PONTES TÉRMICAS

3.2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As implicações directas da existência deste fenómeno já foram suficientemente estudadas em trabalhos anteriores [3] e perfeitamente identificadas em situações concretas. Por isso, não é intenção deste trabalho explorar pela primeira vez este assunto. Sendo assim, a descrição desta matéria é sustentada, plenamente, nos estudos já referidos e referida de uma forma suficientemente aprofundada.

Na zona de ponte térmica o fluxo de calor tem características bi ou tridimensionais e a distribuição de temperaturas nas superfícies interiores é heterogénea. Como é uma zona de resistência térmica inferior à da zona corrente, os valores destas temperaturas são, na generalidade, mais baixos, podendo existir pontos localizados onde são atingidos valores muito desfavoráveis.

A caracterização da transmissão de calor nas pontes térmicas já foi objecto de estudos anteriores com a aplicação de vários métodos de equacionar teóricos, experimentais, numéricos e simplificados.

A existência de pontes térmicas num edifício conduz a um aumento da perda de calor pela envolvente nas condições de Inverno. Este acréscimo de perda térmica possui um peso considerável na totalidade das perdas térmicas pela envolvente. Este peso é mais significativo, nos casos em que as paredes exteriores duplas possuem isolante térmico na caixa-de-ar que é interrompido pelos elementos estruturais. Ora como se constata, hoje em dia, este é o sistema de isolamento térmico das paredes exteriores mais utilizado nos edifícios portugueses.

3.2.2 CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

A existência de pontes térmicas favorece o aparecimento de condensações superficiais nas superfícies interiores da envolvente, afectadas pela ponte térmica. É durante a estação fria e principalmente durante a meia estação, que este risco de condensação aumenta consideravelmente. Proceder-se-á a uma explicação simples e sucinta do mecanismo físico.

Para uma certas condições de humidade e temperatura do ar interior existe uma temperatura abaixo da qual ocorrem condensações. É a chamada temperatura do ponto de orvalho. Quando as temperaturas das superfícies descem abaixo deste nível o ar atinge o ponto de saturação e dá-se lugar às condensações.

A zona de ponte térmica conduz a um abaixamento acentuado de temperatura superficial interior em relação à zona corrente. Desta forma, a possibilidade destas temperaturas serem inferiores à temperatura de ponto de orvalho é muito maior do que na zona corrente da envolvente. Se isto acontecer estão reunidas as condições para o aparecimento das condensações mencionadas.

Existem muitas situações onde esta patologia é visível, variando a sua maior ou menor incidência em função do tipo de ponte térmica em questão. Nem todas as pontes térmicas têm o mesmo comportamento, sendo que umas são mais graves, ou melhor, dão origem a uma maior heterogeneidade das temperaturas superficiais relativamente à zona corrente. É nestas zonas que se verificam fenómenos patológicos mais acentuados.

É preciso referir que o aparecimento desta anomalia é influenciado por muitos outros factores, que foram já referenciados noutros estudos [3]. Será importante referir: a temperatura interior e exterior, a humidade exterior e as condições de ocupação, nomeadamente, a produção de vapor e o aquecimento, e a ventilação dos espaços interiores.

3.2.3 OCORRÊNCIA DE BOLORES E A DEGRADAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

A ocorrência da humidade de condensação propicia o desenvolvimento de outros problemas, tais como, o aparecimento e desenvolvimento de bolores e a degradação dos revestimentos. O aparecimento de bolores pode dar-se mesmo sem haver condensações visíveis, basta que estejam reunidas uma série de condições ideais para o desenvolvimento destes microorganismos.

Uma das condições essenciais é a presença de oxigénio em quantidade suficiente, o que está sempre garantido.

A temperatura ideal de desenvolvimento situa-se entre os 5°C e 25°C, o que se enquadra perfeitamente na situação do interior dos nossos edifícios.

A presença de níveis sensivelmente constantes e elevados de humidade durante um certo período de tempo também é factor favorável ao seu desenvolvimento, o que de facto acontece quando existe condensação superficial originada pelas pontes térmicas.

A ausência de luz solar incidente conduz também a um desenvolvimento mais acentuado dos bolores, o que acontece nas zonas de ponte térmica dentro dos compartimentos. Algumas das razões podem salientar-se:

- Nem todos os compartimentos têm geometria e fachada orientada de modo favorável à entrada de radiação solar;
- As aberturas para o exterior permitem a sua entrada mas também têm um limite à passagem de raios solares;

- Os hábitos diários de abertura ou fecho dos dispositivos de oclusão, nomeadamente persianas e estores;
- Normalmente todos possuem mobiliário.

A base de desenvolvimento dos bolores tem que ser rica em certos nutrientes, os quais estão presentes na maioria dos nossos revestimentos interiores.

Finalmente outro factor que favorece este fenómeno é a presença de fraca movimentação de ar, condição que infelizmente é presente nas zonas mais problemáticas. A Figura 3.1 mostra os efeitos de uma ponte térmica em diversas zonas do interior da envolvente.

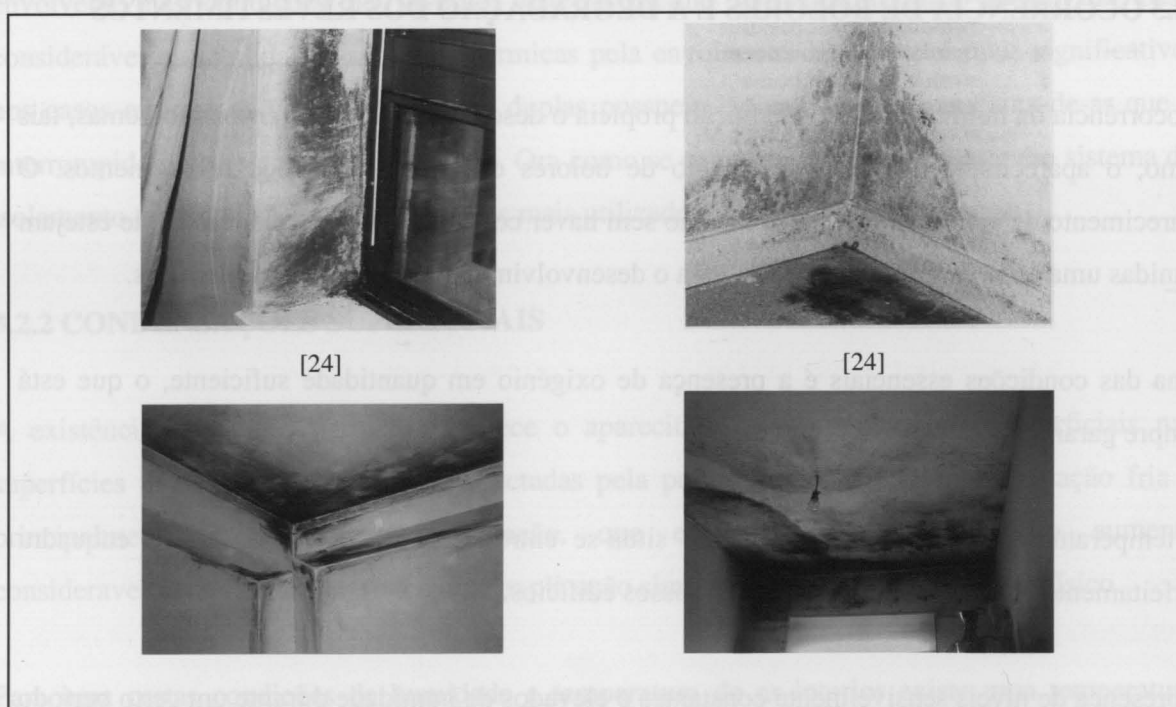


Figura 3.1 – Condensações e bolores em zona de ponte térmica

A existência de humidade de condensação e a presença de bolores conduzem a situações de degradação das pinturas e revestimentos, com efeitos inestéticos desagradáveis e a possíveis problemas de saúde nos ocupantes.

3.2.4 HETEROGENEIDADE DE TEMPERATURAS NA SUPERFÍCIE

Outras consequências negativas do fenómeno de ponte térmica surgem, tal como já referido, devido à heterogeneidade das temperaturas superficiais interiores entre zona de ponte térmica e zona corrente. Podem referir-se as mais directas [3]:

- Nas zonas de temperatura mais baixa a deposição do pó faz-se de forma mais acentuada originando manchas, usualmente denominadas de “fantasmas” (Figura 3.2);
- Alterações em tintas e revestimentos ocorrem diferenciadamente ao longo das superfícies;
- Pode também ocorrer fissuração dos revestimentos interiores.

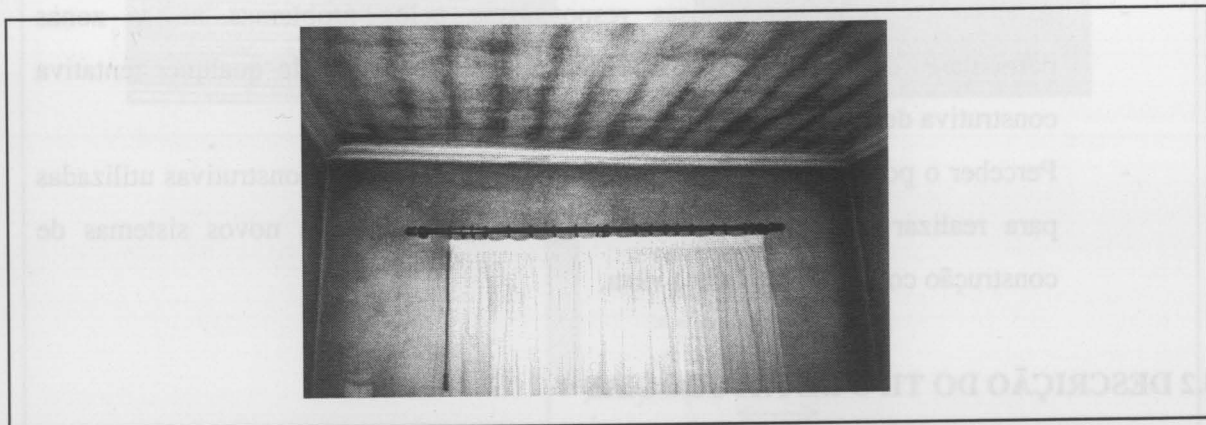


Figura 3.2 – Manchas na superfície interior, usualmente denominadas de “fantasmas”

3.3 PATOLOGIAS OBSERVADAS ACTUALMENTE EM ZONAS DE PONTE TÉRMICA

3.3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Devido à localização particular das pontes térmicas, estas zonas sofrem, frequentemente, a ocorrência de patologias que têm causas totalmente diferentes das inerentes ao fenómeno higrotérmico, em si. Normalmente, estas zonas são constituídas por ligações entre os elementos construtivos, pontos preferenciais para a concentração de tensões. As anomalias daqui resultantes vêm, por sua vez, desencadear outros problemas ou agravar as anomalias decorrentes do problema da ponte térmica. Sendo assim, muitas destas causas e dos mecanismos de

desenvolvimento estão identificados e têm sido objecto de estudo, mas não numa perspectiva relacionada com as pontes térmicas.

Conjuntamente com o anteriormente referido, e como já foi dito, tem sido prática executar soluções de correcção de ponte térmica, que nem sempre serão construtivamente as mais adequadas. Para além de trazerem poucas melhorias ao problema higrotérmico da ponte térmica, estão na origem de outros defeitos construtivos de gravidade ainda maior. É um facto aceite que alterações significativas das soluções de concepção da envolvente só alguns anos após a sua intensiva utilização podem ser avaliadas quanto à sua boa ou má performance construtiva mediante a manifestação total dos defeitos construtivos. Neste caso, estas patologias têm agora e cada vez mais uma expressão significativa no panorama construtivo nacional.

Foram percorridos dois caminhos neste processo:

- Analisar as principais causas responsáveis pelos problemas nestas zonas particulares da envolvente, independentemente de ter havido qualquer tentativa construtiva de correcção de ponte térmica;
- Perceber o porquê das anomalias decorrentes das soluções construtivas utilizadas para realizar as correcções térmicas pelo exterior e dos novos sistemas de construção com tijolo de face à vista.

3.3.2 DESCRIÇÃO DO TIPO DE PATOLOGIAS

As patologias referidas seguidamente são o reflexo de uma série de situações encontradas em zonas de ocorrência de ponte térmica, que em certos casos incluem soluções de forra cerâmica pelo exterior.

Em zona de ligação entre laje de cobertura e fachada têm-se verificado as seguintes anomalias:

- a) Fissuração horizontal do revestimento e dos elementos da alvenaria ao longo da ligação (Figura 3.3);
- b) Destacamento e desprendimento dos revestimentos (Figura 3.3);
- c) Desfasamento para o exterior da zona superior à fissuração.

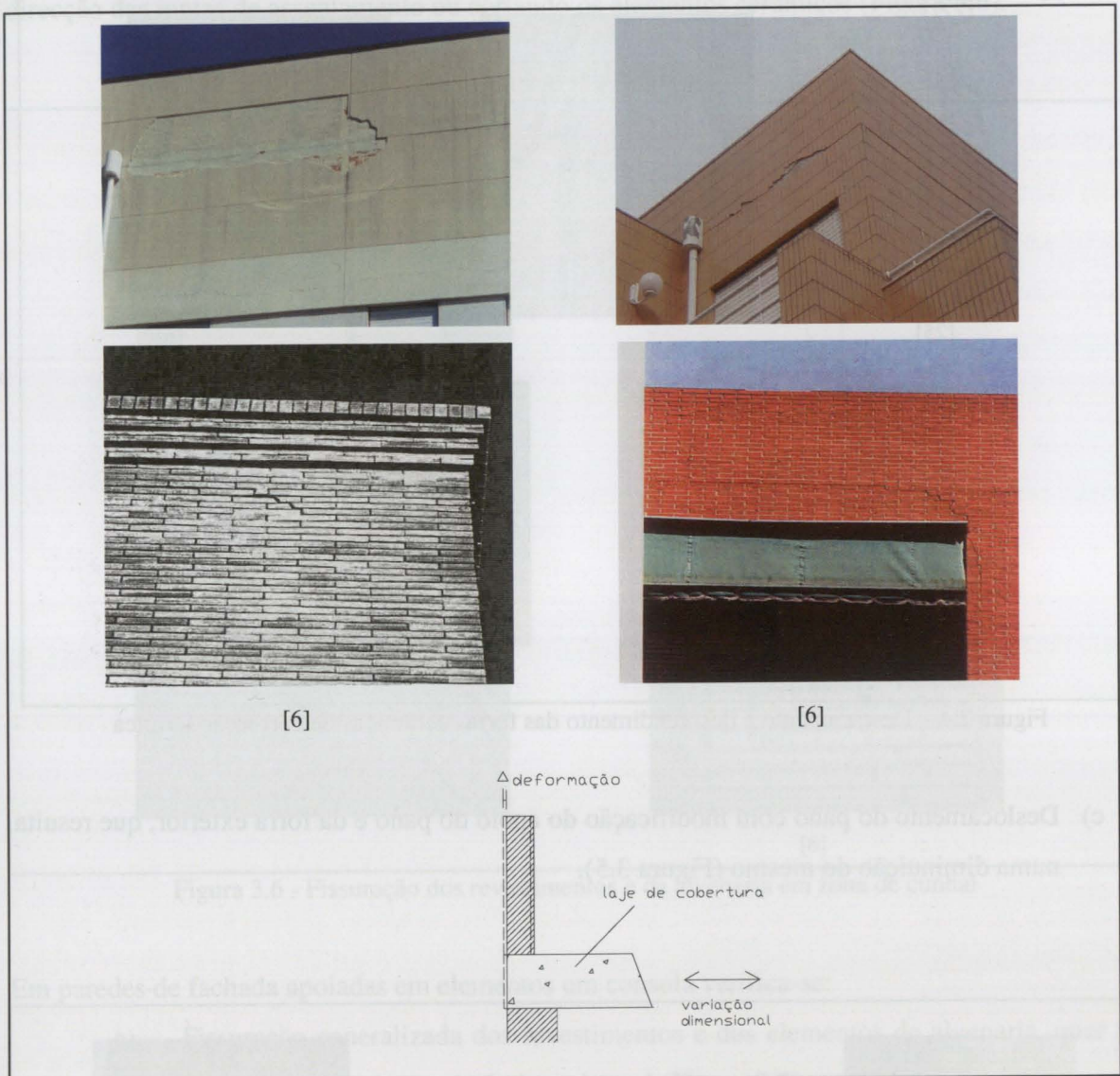


Figura 3.3 - Fissuração horizontal e desprendimento do revestimento junto à laje de cobertura

Em fachadas com forras cerâmicas pelo exterior ou em sistemas de fachada tijolo de face à vista surgem outro tipo de defeitos. Em zona de ligação entre laje de nível intermédio e fachada verifica-se:

- a) Esmagamento e destacamento das forras cerâmicas, com criação de “barrigas” (Figura 3.4);
- b) Desprendimento dos elementos da forra cerâmica (Figura 3.4);

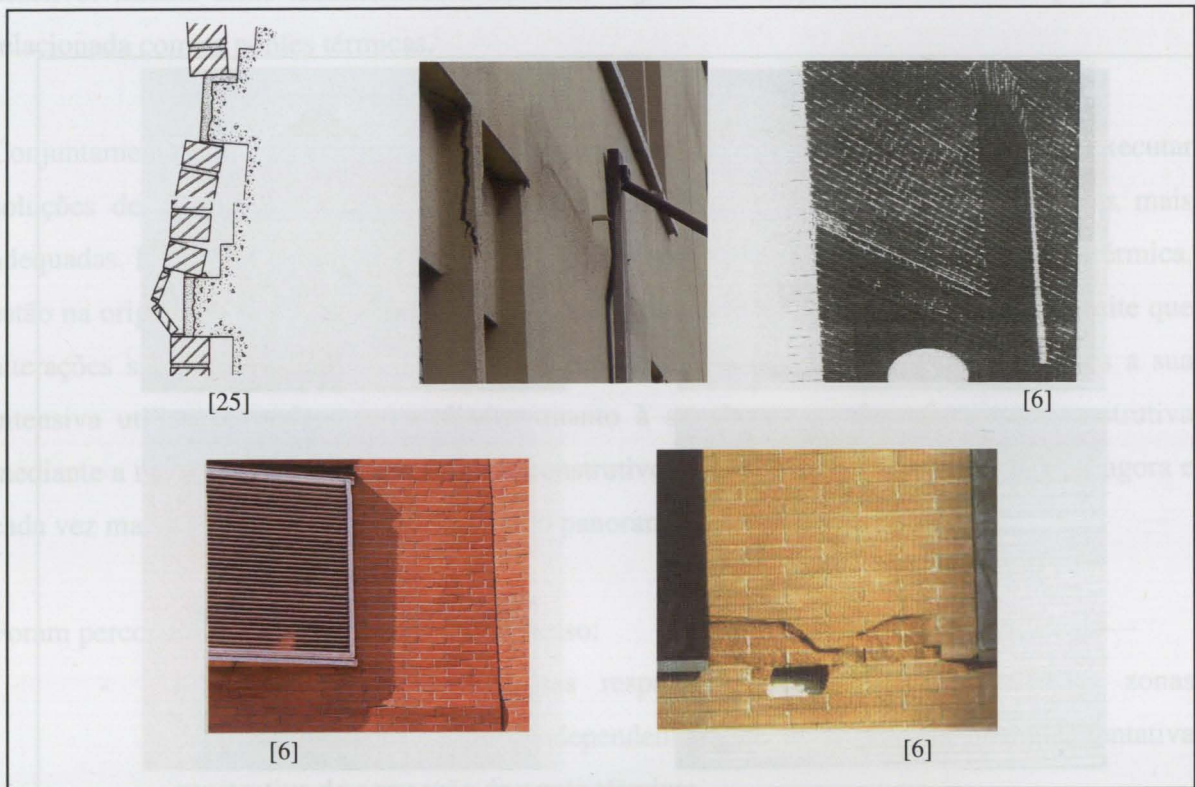


Figura 3.4 – Destacamento e desprendimento das forras cerâmicas de correcção térmica

- c) Deslocamento do pano com modificação do apoio do pano e da forra exterior, que resulta numa diminuição do mesmo (Figura 3.5).

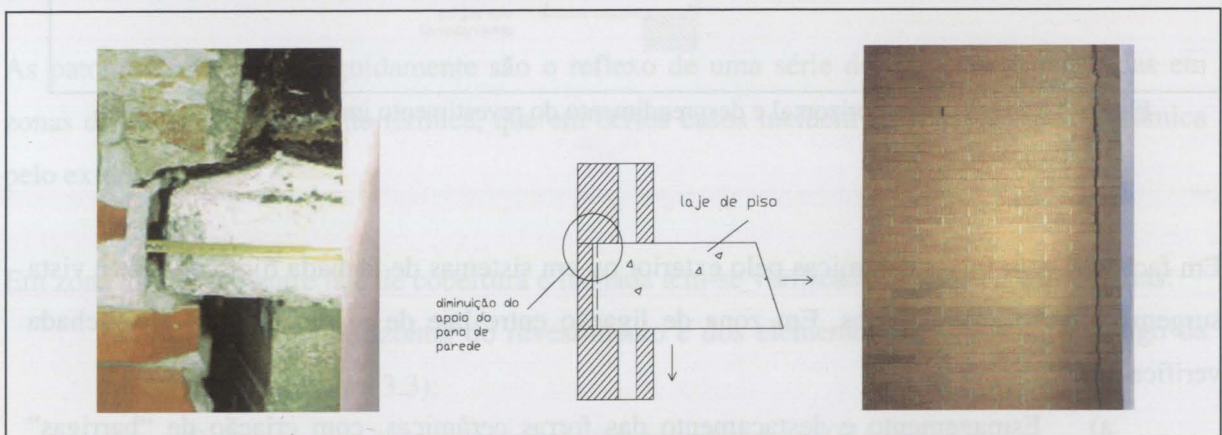


Figura 3.5 - Deslocamento do pano exterior em zona de topo de laje e ao longo da forra exterior em zona de esquina de parede [6]

Em zona de cunhal verifica-se fissuração vertical do revestimento e da alvenaria, seguindo a direcção das juntas de assentamento ou cortando os elementos cerâmicos (Figura 3.6).

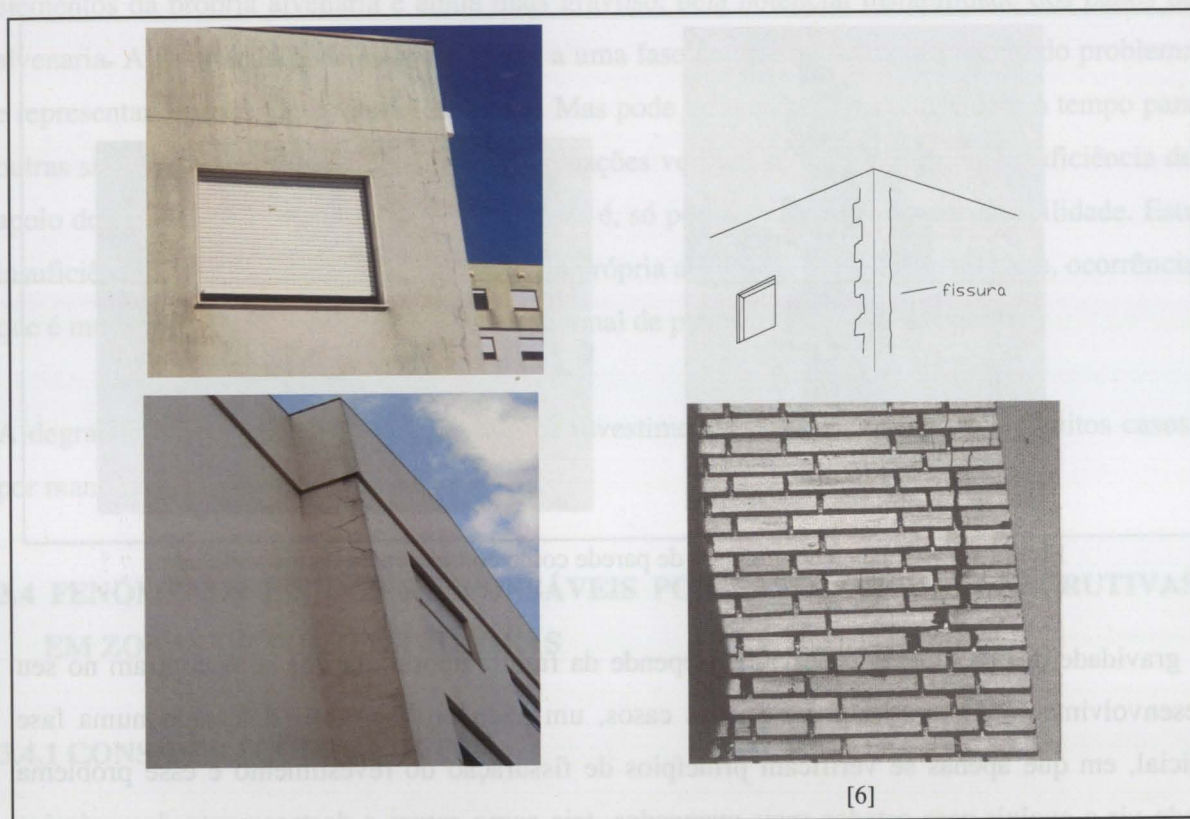


Figura 3.6 - Fissuração dos revestimentos e da alvenaria em zona de cunhal

Em paredes de fachada apoiadas em elementos em consola verifica-se:

- a) Fissuração generalizada dos revestimentos e dos elementos de alvenaria, quer na fachada principal quer na fachada lateral (Figura 3.7);
- b) Destaque dos elementos de forra cerâmica ou dos revestimentos.

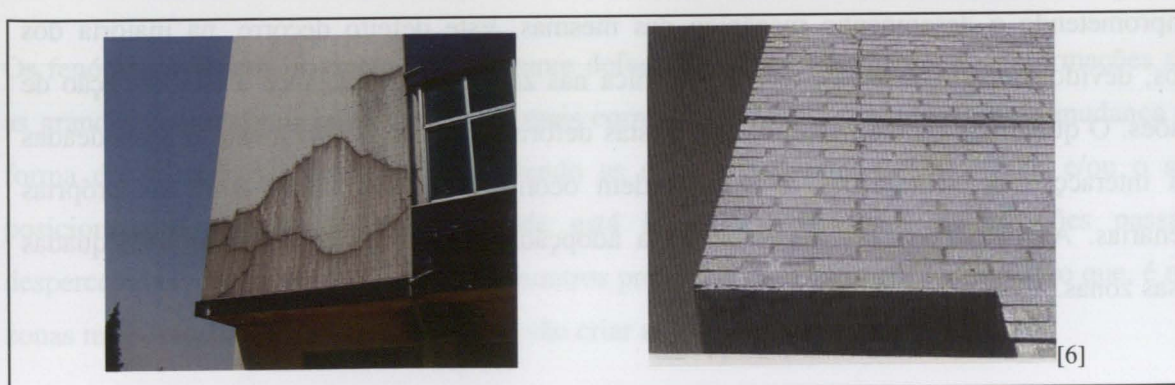


Figura 3.7 – Fissuração verificada na zona da parede apoiada em laje em consola

A rotura e o colapso dos panos exteriores acontecem em algumas situações (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Colapso de um pano de parede como consequência da instabilidade

A gravidade das patologias observadas depende da fase temporal em que se encontram no seu desenvolvimento. É frequente em muitos casos, um dado problema ser detectado numa fase inicial, em que apenas se verificam princípios de fissuração do revestimento e esse problema pode vir a evoluir para estados mais avançados, tais como rotura e destacamento dos próprios elementos construtivos. Noutros casos, os sintomas não evoluem significativamente com o tempo, pois são característicos de certos mecanismos de patologia. É importante perceber, o mais exaustivamente possível, as causas que desencadeiam essas patologias, que na maior parte dos casos, poderá ser uma tarefa complexa.

A fissuração é o mais frequente dos sintomas observados nas zonas de ponte térmica, comprometendo o desempenho mecânico das mesmas. Este defeito decorre, na maioria dos casos, devido à insuficiente resistência mecânica nas zonas de ligação face à concentração de tensões. O que é importante perceber é que estas deformações são normalmente desencadeadas pela interacção de solicitações de várias ordens ocorridas nas estruturas e/ou nas próprias alvenarias. As patologias são agravadas pela adopção de soluções construtivas inadequadas nessas zonas.

Com as novas soluções de correcção térmica cerâmica pelo exterior e com os sistemas de alvenaria de tijolo de face à vista, as principais patologias verificadas são também a fissuração, mas a situação é agravada pelo destacamento e descolagem de elementos da forra cerâmica e de elementos da própria alvenaria e ainda mais gravoso, pela potencial instabilidade dos panos de alvenaria. A fissuração pode estar associada a uma fase de desenvolvimento inicial do problema e representar, apenas, uma rotura localizada. Mas pode ter tendência a evoluir com o tempo para outras situações mais gravosas. Em muitas situações verifica-se que existe uma insuficiência do apoio do pano exterior que em muitas situações é, só por si, responsável pela instabilidade. Esta insuficiência conduz a situações de colapso da própria alvenaria, por rotação do pano, ocorrência que é muito pouco frequente no sistema tradicional de panos totalmente confinados.

A degradação precoce e o destacamento dos revestimentos também acabam, em muitos casos, por manifestar-se com o tempo.

3.4 FENÓMENOS FÍSICOS RESPONSÁVEIS POR PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS EM ZONAS DE PONTES TÉRMICAS

3.4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo de dada patologia requer uma reflexão muito abrangente sobre o comportamento global do edifício, da fachada e da zona particular, com base na análise das solicitações e das soluções construtivas utilizadas. Na realidade é difícil distinguir entre causas e efeitos, visto que algumas das anomalias verificadas são efeitos mas também causas de outras anomalias. Tudo está interrelacionado e quase sempre uma patologia é consequência da conjugação de diversas causas que podem ter um universo muito variado.

Os fenómenos físicos originam quase sempre deformações nos elementos. As deformações são as grandes responsáveis pelas anomalias mais correntes, caracterizando-se como a mudança na forma dos elementos construtivos, afectando as suas características geométricas e/ou o seu posicionamento dentro do sistema onde está incluído [28]. Estas deformações passam despercebidas na maioria dos casos, mas noutros produzem roturas importantes. Claro que, é nas zonas mais frágeis que estas deformações vão criar as maiores tensões.

Uma das classificações usadas para tratar as deformações tem a ver com a sua relação com o tempo:

- Deformações cíclicas, diárias, sazonais ou anuais, originadas pelas variações climáticas de temperatura e humidade do ambiente;
- Deformações irreversíveis, cujas causas podem ser variadas e que podem ocorrer durante ou logo após construção ou em longo prazo.

Nas primeiras incluem-se as solicitações térmicas e as variações de humidade dos materiais em face da sua exposição aos factores climáticos. Nas segundas distinguem-se as expansões definitivas por humidade, que normalmente se manifestam num período curto logo após finalização da construção e as deformações por acção continuada das cargas actuantes em elementos estruturais, que se manifestam ao longo do tempo. Normalmente, os problemas existem, não pela deformação em si de cada elemento, mas quando o elemento vê a sua deformação impedida ou quando elementos contíguos têm outras deformações.

As consequências das deformações são agravadas caso sejam adoptadas soluções construtivas inadequadas nestas zonas, quer no sistema tradicional confinado quer no não confinado

3.4.2 SOLICITAÇÕES DE ORIGEM TÉRMICA

Os elementos construtivos sofrem variações de temperatura em face de solicitações térmicas exteriores de carácter climático e face a variações da temperatura interior. As segundas não são significativas mas as primeiras têm o efeito preponderante nestes elementos [45].

Os efeitos da variação sazonal, diária e horária da temperatura exterior, são influenciados pela variação, no tempo e no espaço, de três factores primordiais: a radiação solar, a humidade relativa do ar e a velocidade e direcção do vento [2]. Sob o efeito das solicitações anteriormente referidas, cada elemento construtivo reage de forma diferente conforme as características dos materiais de que é constituído, da sua geometria e das condições de exposição [2]. A variação de temperatura conduz sempre a mecanismos de dilatação e contracção. O valor habitualmente calculado para essas deformações é obtido pela expressão bem conhecida:

$$\Delta L = L \alpha \Delta T$$

(3.1)

em que:

- ΔL - Variação de comprimento (m);
- L - Comprimento inicial do elemento (m);
- α - Coeficiente de dilatação térmica linear do material (m/m °C);
- ΔT - Variação da temperatura do material (°C)

Tal como se depreende da expressão, estes efeitos são função directa sobretudo do tipo ou tipos de materiais constituintes, caracterizados pelo coeficiente de dilatação térmica linear, das dimensões e das condições de exposição.

Em face do referido, todos os elementos da envolvente podem sofrer mais ou menos deste fenómeno, e, desta forma, interagir uns com os outros. As alvenarias são os elementos mais sensíveis e as suas deformações devem-se, não só, às deformações delas próprias, mas também às deformações dos outros elementos a elas ligados. A incompatibilidade de deformações dos elementos origina tensões importantes nas ligações [2]. Normalmente, são as ligações mal concebidas e insuficientemente resistentes que ficam sujeitas a fenómenos de fissuração, que afectam a estanquidade das fachadas, levando frequentemente à infiltração de água e humedificação dos materiais, o que, por sua vez, pode provocar mecanismos de variação de volume dos mesmos pela sua humedificação e conseqüentemente novos processos de fissuração.

3.4.2.1 VARIACÕES DIMENSIONAIS DAS COBERTURAS

Os elementos da envolvente mais susceptíveis de serem afectados pela variação dimensional são as coberturas planas, face às condições particulares de orientação e exposição aos factores climáticos. Principalmente em períodos de Verão, sofrem durante o dia a incidência directa e acentuada da radiação solar e durante a noite de arrefecimento acentuado devido a trocas de calor com a abóbada celeste [2]. São estes os elementos construtivos da envolvente que sofrem, mais significativamente, de fenómenos de dilatação e contracção.

Esta situação é agravada pelo facto de os materiais usualmente utilizados na sua construção, nomeadamente o betão armado, terem elevados coeficientes de dilatação térmica linear e pelo facto de muitas coberturas ainda não terem isolamento térmico [2].

As variações dimensionais dão-se, sobretudo, na direcção horizontal ao longo do plano da cobertura. Anulam-se nos pontos fixos e os seus efeitos máximos vão-se repercutir nas zonas de contorno, que são as zonas de ligação desta aos elementos da fachada. Estes últimos, na generalidade dos casos, não permitem acolher estes movimentos por vários factores: as soluções construtivas utilizadas criam ligações rígidas sem liberdade de movimento horizontal; apresentam menor coeficiente de dilatação térmica; estão sujeitas a menores variações de temperatura [2]. Sendo assim, vão originar-se, principalmente, esforços de corte significativos.

A fissuração dos revestimentos e dos elementos cerâmicos é a anomalia mais frequente. É uma fissuração com características activas, de abertura e fecho conforme as variações cíclicas diárias da temperatura na cobertura. Apesar desta tendência, normalmente, existe sempre uma evolução de crescimento da sua abertura porque o fecho referido nunca é total.

Quando a ligação da laje se faz directamente à alvenaria, estes esforços originam dois tipos de fissuração nos revestimentos e na alvenaria, pelo exterior e pelo interior. Se o deslocamento da cobertura for perpendicular ao plano de parede então verifica-se uma fissura horizontal ao longo de todo o comprimento da parede. Podem ocorrer esforços de flexão transversal ou de corte imediatamente abaixo da laje ou nas primeiras juntas superiores de assentamento na face da parede traccionada [2] (Figura 3.9). Se a ligação entre a cobertura e a parede é resistente ao corte então pode apenas manifestar-se através de uma fissura oblíqua, principalmente junto aos cunhais. A deformação também pode originar, em casos extremos, o arrastamento da parte superior da parede ou da platibanda, acima da fissuração horizontal.

Se o deslocamento é ao longo da direcção do pano de parede, verificam-se dois tipos de fissuração na alvenaria: fissuração múltipla e inclinada ao longo da zona superior, igualmente espaçada que pode ser acompanhada de uma fissura única, na diagonal, quando a ligação é fraca e não exista transmissão significativa de cargas verticais da cobertura para a parede (Figura 3.9).

A expansão bidimensional da laje de cobertura concentra as tensões em zona de cunhal e força a laje a deformar-se no sentido da resultante das deformações nas duas direcções do plano. Sendo assim, a laje tem tendência a deformar-se no sentido do exterior e produz fissuração inclinada nas duas fachadas, tal como mostra a Figura 3.9.

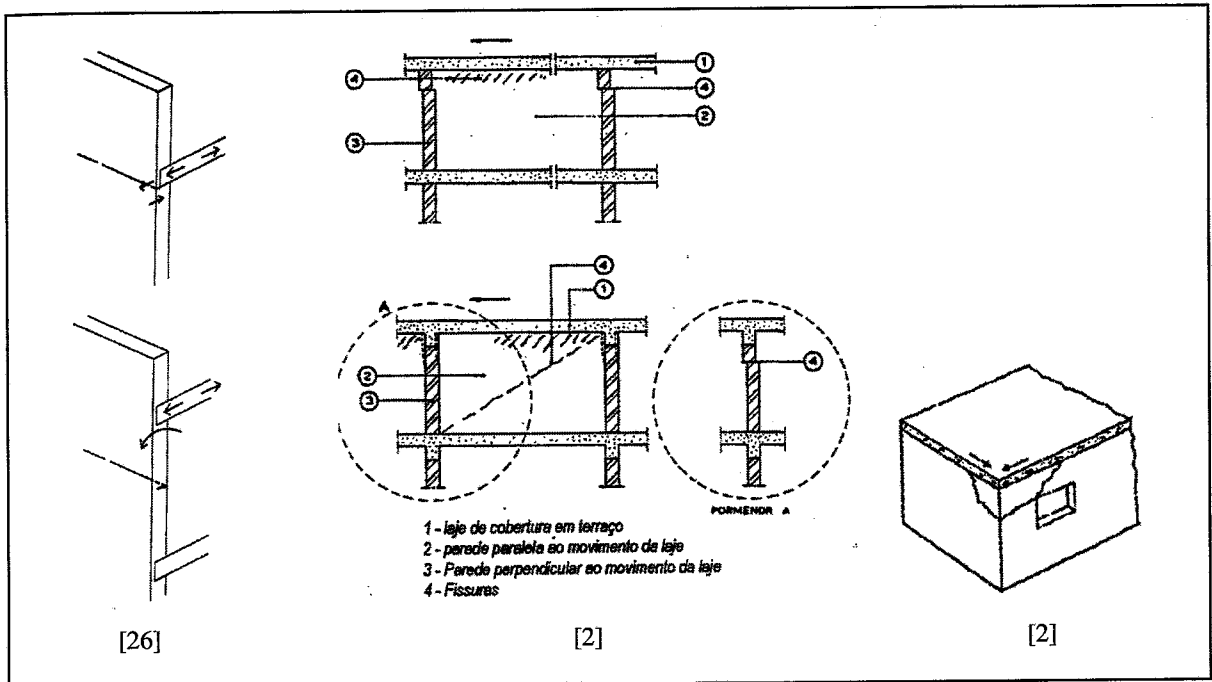


Figura 3.9 - Fissuração típica devida aos movimentos da laje de cobertura

Uma das zonas mais afectadas pela diferença de movimentos entre estes elementos construtivos é a platibanda, onde também pode ocorrer fissuração vertical ao longo do seu comprimento e a rotura da sua ligação à laje, principalmente quando as deformações se fazem sentir na mesma direcção da platibanda. O seu colapso também pode ser uma realidade após a persistência das patologias mencionadas anteriormente.

3.4.2.2 VARIAÇÕES DIMENSIONAIS DAS PAREDES

As paredes exteriores de alvenaria, tal como as coberturas, estão também sujeitas a variações de temperatura acentuadas. Segundo *Silva* [2] as variações de temperatura podem ser de vários tipos: uniforme, diferencial, cíclico ou brusco, conforme as solicitações a que estão sujeitas.

Quando as variações de temperatura são uniformes provocam concentração de tensões nas zonas mais particulares e frágeis, tais como os ângulos de paredes, aberturas e onde existem variações importantes de espessura, altura e direcção. As deformações têm uma maior expressão na direcção horizontal, visto que na direcção vertical são contrariadas e atenuadas pelas cargas verticais instaladas na alvenaria [2].

A orientação e exposição aos factores climáticos são factores importantes nas variações cíclicas de temperatura. As dilatações importantes ocorrem, principalmente, nas fachadas a Sul e a Oeste, pois são as mais solicitadas pela radiação solar nas horas diárias de maior temperatura exterior. As contracções dão-se, pelo arrefecimento nocturno. É um fenómeno periódico e reversível [2].

As variações bruscas dão-se quando uma parede sofre um arrefecimento devido à modificação súbita das condições climatéricas durante o dia, por exemplo uma chuvada após um período de insolação forte.

As patologias verificadas devido às variações dimensionais ocorrem, principalmente, em consequência dos esforços horizontais de tracção, para os quais as paredes são elementos pouco resistentes e a configuração destas patologias depende do tipo de confinamento da parede. Se a parede não tem restrições exteriores são as acções de arrefecimento que exercem uma acção mais severa. As fissuras são verticais, espaçadas entre si a distâncias sensivelmente iguais, distância que é função do nível de deformação a que está sujeita. *Silva* [2] conclui, pela simulação realizada, que em paredes em tijolo maciço, não sujeitas a restrições exteriores, as acções de arrefecimento constituem a solicitação mais severa e afectam sobretudo a argamassa e as suas ligações.

Quando existem ligações exteriores que impedem ou condicionam a livre deformação, são introduzidas tensões adicionais, A menor incidência de tracções corresponde às situações de panos de parede com maior confinamento simétrico. A alvenaria não é livre de expandir ou contrair e geram-se esforços de compressão e tracção, que podem originar fissuração ou encurvadura dos panos. *Araújo* [18] refere que os esforços de compressão, que são transmitidos às ligações quando ocorre a dilatação, são mais facilmente absorvidos pela alvenaria e pela argamassa do que os esforços de tracção, quando há contracção. O arrefecimento provoca uma elevada concentração de tensões de tracção e de corte nos apoios rígidos. São os grandes responsáveis pelas anomalias neste tipo de situação. *Silva* [2] concluiu ainda que, caso as ligações mecânicas sejam fracas, o risco de fissuração é maior nesses pontos, mas no caso contrário, esse risco passa a ser maior na zona corrente. Na Figura 3.10 pode ver-se que a fissuração pode seguir o alinhamento das ligações e ocorre nas ligações aos pilares e na ligação superior do pano à laje. A zona de apoio inferior do pano é um ponto fixo e não sofre, em geral, anomalias.

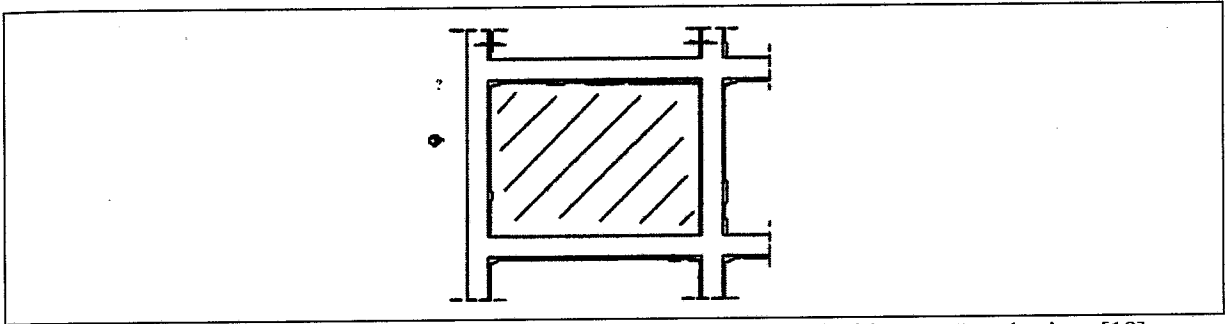


Figura 3.10 - Fissuração em zona de ligação alvenaria estrutura devida a acções térmicas [18]

Em paredes não confinadas e com apoios assimétricos os efeitos das acções térmicas são mais gravosos. Se o pano for confinado apenas por elementos horizontais podem surgir fissuras verticais na alvenaria e revestimento com origem na laje, ao longo da zona de ligação entre a laje e a alvenaria tal como se apresenta na Figura 3.11. Estas fissuras surgem porque os movimentos de dilatação da alvenaria vêm-se impedidos pela laje, porque está a uma temperatura mais baixa [18]. Se o pano exterior não estiver suficientemente travado e não tiver o apoio suficiente pode sofrer encurvadura devido à necessidade de dilatar e sofrer o colapso (Figura 3.11).

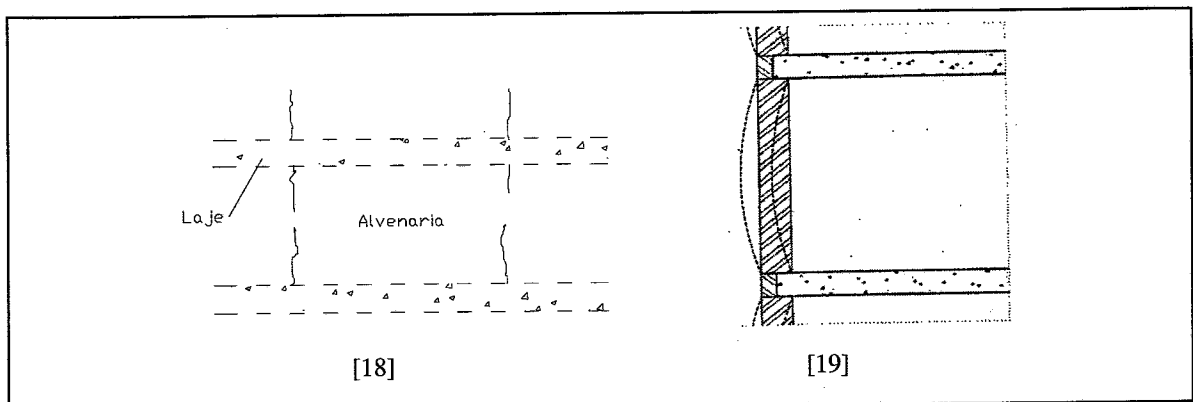


Figura 3.11 – Fissuração em zona de laje por impedimento da deformação da alvenaria e encurvadura do pano de parede não confinado

As solicitações também podem ocorrer de forma diferencial num dado pano de alvenaria devido a diversos factores [2]:

- Condições diferentes de exposição aos factores climáticos de zona para zona;
- Variação da cor dos revestimentos e variação do nível de absorção da radiação;
- Existência de zonas com diferente resistência térmica.

Devido à solicitação diferencial da parede podem criar-se restrições na parede que, segundo *Silva* [2], podem ser benéficas se as zonas menos solicitadas forem as ligações exteriores da parede. No entanto, pode ocorrer fissuração em zonas frágeis da envolvente, por exemplo nas mudanças de espessura e vãos e nos próprios pontos onde existe a alteração das condições de temperatura. Também ao longo da espessura da parede podem ocorrer solicitações diferenciais, devido a alterações significativas das condições térmicas entre as duas faces da parede. Este fenómeno provoca fissuração na face traccionada nas juntas horizontais ou arqueamento do pano.

Na zona de cunhal pode acontecer que os panos mais compridos, pelo efeito de maior dilatação, arrastam nas esquinas os panos mais pequenos, quando não suficientemente travados [6]. As anomalias mais frequentes são: a fissuração vertical perto do encontro dos panos, no pano contrário ao pano que sofre maiores deformações e o desalinhamento do topo do pano de parede (Figura 3.12).

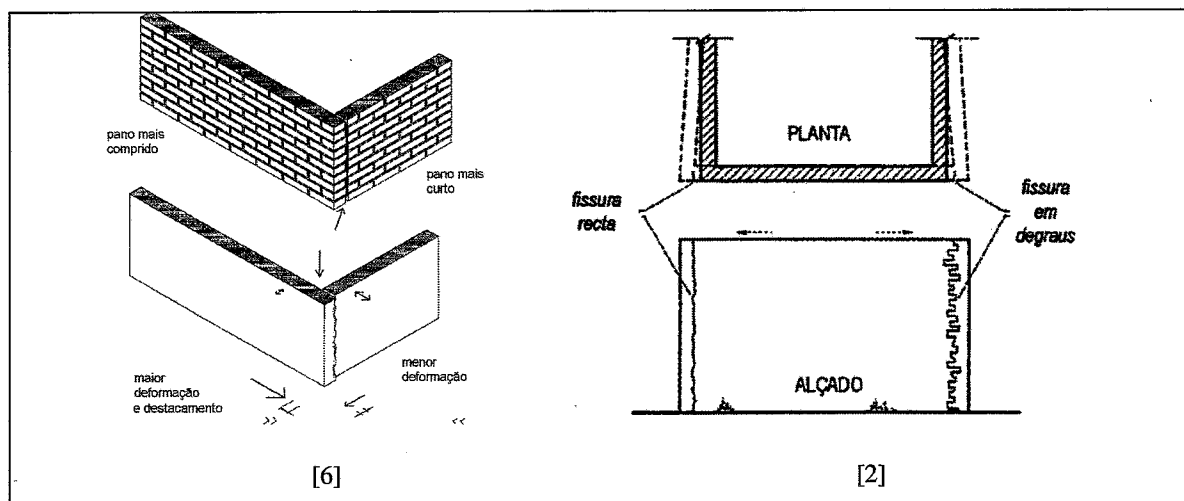


Figura 3.12 - Fissuração e arrastamento dos panos mais curtos em cunhais

Nos panos de paredes entre lajes em consola resulta uma força resultante com sentido para o exterior do cunhal que origina a fissuração apresentada na Figura 3.13 e o desalinhamento da parede.

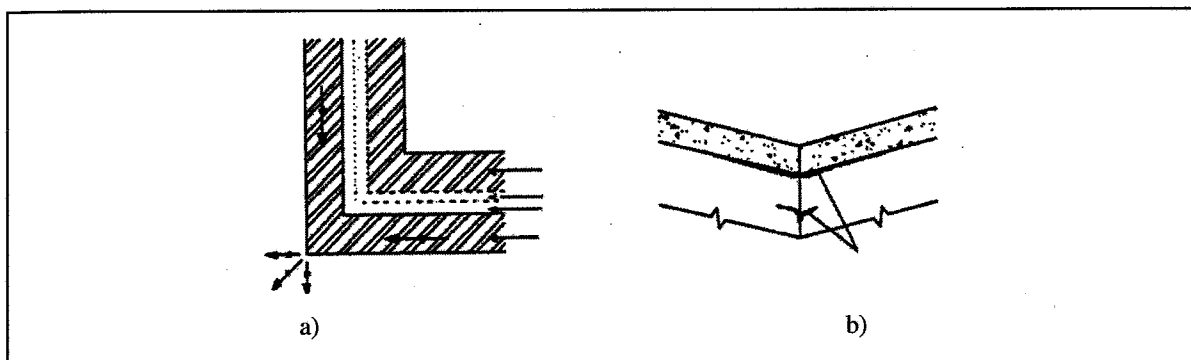


Figura 3.13 – Consequências da deformação das alvenarias em zona de cunhal a) resultante das forças b) fissuração resultante [18]

3.4.2.3 VARIAÇÕES DIMENSIONAIS DAS ESTRUTURAS

As estruturas de betão armado também podem sofrer os efeitos de dilatação e contração térmica embora não sejam tão significativos quanto os das alvenarias. Este efeito é mais acentuado:

- Quando a estrutura é aparente e está revestida por revestimentos escuros que favorecem a absorção da radiação solar e o aumento da temperatura da superfície exterior [2];
- Nos pisos superiores que estão mais expostos às acções climáticas.

A dilatação diferencial entre elementos construtivos provoca frequentemente fissuração ao longo das ligações entre alvenaria e pilares, fissuração oblíqua nos painéis de parede extremos de fachada, agravando-se à medida que se sobe em altura e fissuração vertical a meio vão nos panos centrais. A Figura 3.14 mostra a fissuração típica deste tipo de fenómeno.

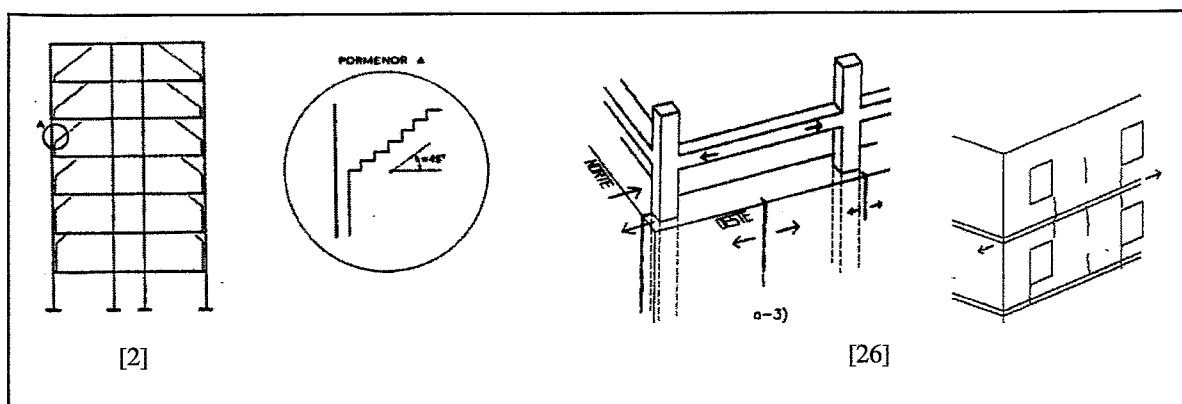


Figura 3.14 – Fissuração típica nos panos de alvenaria devida a dilatação das estruturas reticuladas

Nos últimos pisos a dilatação da estrutura pode ser ainda agravada pelas possíveis deformações da laje de cobertura.

3.4.3 VARIAÇÕES DO TEOR DE HUMIDADE DOS MATERIAIS

3.4.3.1 CONCEITOS GERAIS

Os materiais porosos sofrem por variação do seu teor em humidade, variações de volume, sofrendo expansões e contracções. Pode haver duas vertentes geradoras deste fenómeno em paredes de alvenaria.

A primeira vertente surge logo após o fabrico dos tijolos e caracteriza-se pela ocorrência de fenómenos físicos e químicos que estão intimamente ligados ao processo de fabrico e que provocam a variação de volume. Pode prolongar-se por meses ou anos e normalmente é irreversível. Apresentam-se como exemplos de grande importância para este estudo as expansões dos tijolos e a retracção das argamassas, os dois elementos envolvidos na execução das alvenarias.

A segunda trata-se da ocorrência do fenómeno de variação de volume dos materiais porosos, que pode ser desencadeado pela sensibilidade do material ao contacto com vários tipos de humidade, principalmente a exposição à chuva, a ocorrência de condensações internas e a humidade do ar. É função das características dos materiais e dos mecanismos de fixação de humidade, função das condições de exposição e utilização do material, nomeadamente, durante o seu armazenamento, no seu processo de aplicação ou em fase de serviço. Estes fenómenos são em geral lentos no tempo e não beneficiam do efeito de compensação, visto que se desenrolam ao longo de um tempo alargado e a contracção só ocorre, em geral, após algum tempo da ocorrência da expansão. Esta vertente do fenómeno tem carácter reversível.

3.4.3.2 A EXPANSÃO DOS TIJOLOS CERÂMICOS

Imediatamente após o fabrico, mais propriamente a seguir à cozedura, o tijolo sofre variações dimensionais de contracção e expansão. A contracção fica a dever-se ao arrefecimento do tijolo até atingir o valor da temperatura ambiente e a expansão deve-se à procura da humidade de

equilíbrio. Normalmente, estes movimentos têm lugar antes de os tijolos serem utilizados em obra e, portanto, não são causadores de anomalias importantes.

No entanto, existe outro fenómeno, também intimamente ligado ao processo de fabrico, que é responsável por expansões irreversíveis dos tijolos à posteriori. Acontece quando se desenrola um deficiente processo de cozedura, que se traduz num grau insuficiente de vitrificação, que não produz nos tijolos características de resistência à absorção de água e de suficiente estabilidade dimensional. Estas expansões podem prolongar-se durante anos embora os especialistas refiram que metade ocorre nas primeiras semanas após fabrico. Todo este processo é mais rápido nos primeiros tempos logo após o fabrico dos tijolos, mas torna-se lento e pode prolongar-se por vários anos até as deformações serem consideradas irrelevantes relativamente aos restantes movimentos da alvenaria [2].

Trata-se de um caso em que o conhecimento das características dos materiais é fundamental para que se aja preventivamente na resolução deste problema. E ainda mais, é necessário que a indústria de cerâmica incremente a qualidade na produção ou equacione novas metodologias nos processos de fabrico.

Muitas das patologias observadas, decorrentes deste fenómeno, são em tudo semelhantes às relativas à variação de volume por acção térmica. As anomalias verificadas na alvenaria são significativas quando uma parcela importante destas expansões ocorre em fase de serviço da alvenaria e são contrariadas pelos elementos confinantes. As alvenarias de tijolo à vista são as mais afectadas por este fenómeno, visto que, por não serem revestidas, estão mais sujeitas às condições climatéricas exteriores.

Na alvenaria confinada *Silva* [2] obteve alguns resultados que apontam para o facto de esta expansão poder trazer benefícios na segurança dos panos. Este fenómeno pode ter um efeito semelhante a um pré-esforço da parede, trazendo efeitos benéficos, pois esta é muito resistente à compressão e pouco à tracção. Por isso, as anomalias não têm sido até agora muito significativas, embora possam provocar compressões, produzindo fissuração. Esta verifica-se, geralmente, a meio do pano de parede, junto às ligações com os pilares ou em zonas frágeis, como cantos de vãos.

A expansão cerâmica só se tem revelado perigosa e provoca anomalias significativas em paredes não confinadas e quando os panos exteriores de parede são de espessura reduzida ou elevada esbelteza [2]. Se numa fachada se comprova ou se observa que o plano de parede está ligeiramente ondulado no sentido exterior está-se perante um fenómeno de encurvadura do pano por impedimento da deformação

3.4.3.3 RETRACÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A retracção hidráulica da argamassa é um fenómeno complexo e que tem sido objecto de alguns estudos, sendo difícil avaliar a sua evolução.

As argamassas correntemente aplicadas nas juntas entre tijolos, sofrem uma retracção inicial durante os primeiros 28 dias após amassadura, com origem em três factores que provocam diminuição do seu volume. A dessecação, saída de água dos poros internos, a hidratação do cimento, reacções químicas que produzem retracção pela produção de determinados compostos específicos, necessitam de água dos poros e implicam fases de arrefecimento, e a carbonatação, reacção química que resulta da fusão do dióxido de carbono da atmosfera e o hidróxido de cálcio [2].

A argamassa sofre também uma retracção global em que interferem factores ligados às características dos materiais constituintes, à composição e ao processo de cura. Esta retracção é quase inevitável e, quando muito, pode ser controlada a sua evolução, ao longo do tempo, mediante apropriados processos de aplicação e de cura.

As juntas entre tijolos, executadas com este material, podem sofrer fissuração ficar fragilizadas e até sofrer rotura, o que contribui negativamente para uma quebra global da resistência mecânica, principalmente no campo da flexão e das acções horizontais [2].

3.4.3.4 RETRACÇÃO DAS ESTRUTURAS RETICULADAS

As estruturas reticuladas de betão armado têm tendência natural para sofrer fenómenos complexos de retracção ficando a alvenaria sujeita às deformações da própria estrutura resistente que a confina. E pode ainda dizer-se que as alvenarias tendem a expandir, quando ocorrem fenómenos de expansão por humidade e por variação de temperatura, enquanto que as estruturas

de betão armado tendem a retrair, sendo esta contradição de movimentos geradora de fortes tensões na ligação entre ambos.

3.4.3.5 VARIACÃO DE HUMIDADE DOS MATERIAIS EM FACE DA HUMIDADE AMBIENTE

Os mecanismos de transferência de humidade são fenómenos muito complexos. Em fase líquida, funcionam os mecanismos da capilaridade, da gravidade e do efeito dos gradientes de pressão externos. Em fase de vapor, funcionam os mecanismos da difusão e os movimentos convectivos no interior dos poros. Estas duas vertentes podem ocorrer simultaneamente e dependem das características dos materiais e das condições climáticas que estes materiais estão sujeitos [27].

Devido à sua estrutura porosa e à composição basicamente de natureza argilosa, os tijolos cerâmicos normalmente utilizados na construção são por natureza materiais higroscópicos. Desta forma, ficam susceptíveis a variações do teor de humidade quando em contacto com um ambiente específico de temperatura e humidade, por fixação e expulsão dessa humidade, com vista a adquirir o equilíbrio no interior dos seus poros. Este processo traduz-se fisicamente através de expansões e contracções que dão origem a fenómenos de deformação das alvenarias de relativa complexidade. De referir que a humedificação dos materiais provoca diminuição da resistência mecânica dos materiais o que contribui para uma menor resistência mecânica global das alvenarias [2].

Estes fenómenos tem sido mais visíveis em alvenarias de tijolo à vista, cuja utilização é crescente na indústria nacional, em que os tijolos estão em contacto directo com as condições ambientais. No restante tipo de alvenaria, onde normalmente existe um revestimento exterior, a absorção de humidade pode aumentar quando exista alguma deficiência generalizada ou pontual do revestimento exterior que provoque o contacto mais directo com o vapor de água do ar e principalmente com a água líquida das chuvas.

As patologias resultantes deste fenómeno têm um âmbito variado, sendo a fissuração o mais frequente. As zonas mais afectadas da envolvente são as zonas mais susceptíveis à humedificação e secagem, as zonas mais expostas, tais como as zonas perto da cobertura e em saliências. Esta fissuração pode apenas manifestar-se nas ligações a vãos e às estruturas, quando os panos são pequenos [2]. Também neste caso, são mais problemáticas as paredes não confinadas.

3.5 CONCEPÇÃO E PROJECTO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

3.5.1 O CENTRO DE GRAVIDADE DOS EDIFÍCIOS

Adopta-se hoje uma corrente construtiva de utilização cada vez mais intensiva e otimizada das estruturas de betão armado. As estruturas reticuladas permitem a utilização de grandes vãos e elementos esbeltos, o que tem maior significado nos pisos inferiores (garagens e rés-do-chão), cujos objectivos de otimizar o espaço útil interior são preponderantes em face da sua utilização para fins comerciais. Esta tendência faz com que haja uma subida do centro de gravidade dos edifícios, ou seja, possuem maior massa nos pisos superiores relativamente aos inferiores, o que é totalmente contrário do que acontece com edifícios de construção tradicional. Desta forma, a primeira laje acima das zonas de vazio, é a mais solicitada e assume deformações importantes, de flexão e torção [6]. Estas deformações podem ser uma das causas de fissuração e desprendimentos dos elementos cerâmicos nas zonas de topo de laje (Figura 3.15).

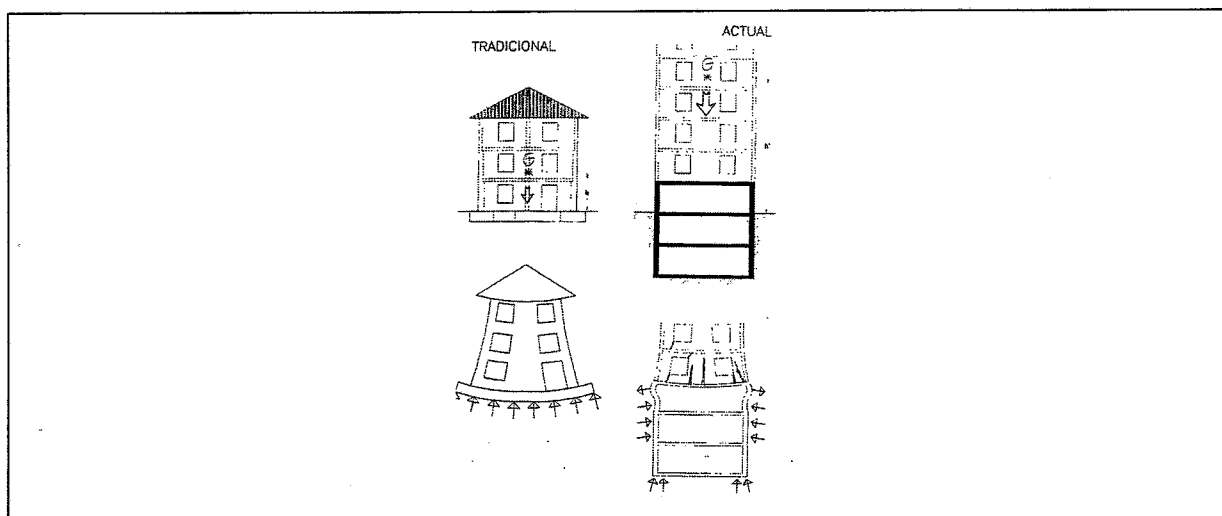


Figura 3.15 – Diferença de posicionamento do centro de gravidade na construção tradicional e na construção actual [6].

3.5.2 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Todos os elementos estruturais sofrem deformações ao longo do tempo, com as cargas aplicadas. Com o surgimento de materiais cada vez mais resistentes mecanicamente e face a cada vez mais

exigentes requisitos arquitectónicos e de aproveitamento de espaços interiores, tem sido intensificada a utilização de elementos resistentes cada vez mais esbeltos, tais como:

- Vigas planas, de baixa inércia, inseridas nas lajes, cuja maior probabilidade de deformação origina maiores flechas a meio vão;
- Lajes mais esbeltas e que permitem maiores deformações, flectindo no sentido perpendicular ao plano de fachada e gerando torções nas vigas de bordadura.

Complementarmente, são projectados também cada vez maiores vãos, que originam também maiores flechas a meio vão. Estas deformações afectam significativamente os panos de alvenaria de enchimento que se apoiam nas estruturas (Figura 3.16)

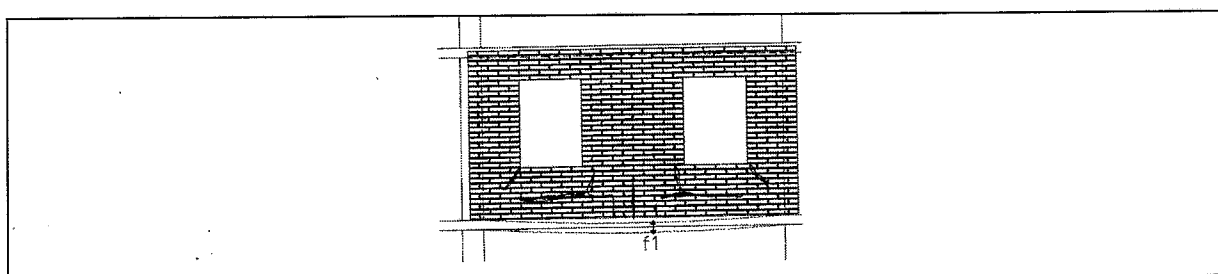


Figura 3.16 - Efeito nos panos de alvenaria da deformação das lajes que os suportam [6]

A deformação das lajes e das vigas exerce acções verticais no sentido descendente que provocam esforços nos panos das paredes de enchimento e criam nas paredes o efeito de arco.

3.5.3 FACHADAS EM BALANÇO E SUAS DEFORMAÇÕES

Outra problemática importante e muito frequente no tipo de construção portuguesa é a deformação por fluência dos corpos em consola. Resultante de uma arquitectura mais arrojada, privilegiando as potencialidades do betão armado e o aproveitamento intensivo das áreas úteis interiores têm sido zonas geradoras de patologias nos panos de alvenaria. No caso de varandas, as repercussões negativas, caso sejam tomadas medidas de projecto e execução adequadas, não são importantes. Mas no que respeita ao prolongamento de áreas úteis interiores já não se pode dizer o mesmo, pois existem paredes de alvenaria que assentam nesses elementos resistentes. A deformação das lajes em consola conduz a dois efeitos directos:

- Ao aparecimento de tensões de corte generalizadas nos panos de alvenaria;
- Origina a transmissão de cargas verticais dos pisos superiores aos inferiores pela deformação dos vários pisos, acumulando-se ao nível do primeiro piso [17].

Tal como noutras situações de concentração de tensões em alvenarias, as zonas mais afectadas são as zonas de vãos. Na primeira laje o efeito é mais gravoso (Figura 3.17 a)), pois são somados os efeitos das deformações da própria laje com o somatório das deformações dos pisos superiores.

Em muitos casos, estes avançados para além de sofrerem unicamente a deformação da consola, sofrem a deformação do elemento estrutural onde essa consola está apoiada (Figura 3.17 b)). Desta forma, as flechas resultantes podem ser consideráveis, o que agrava as consequências já referidas.

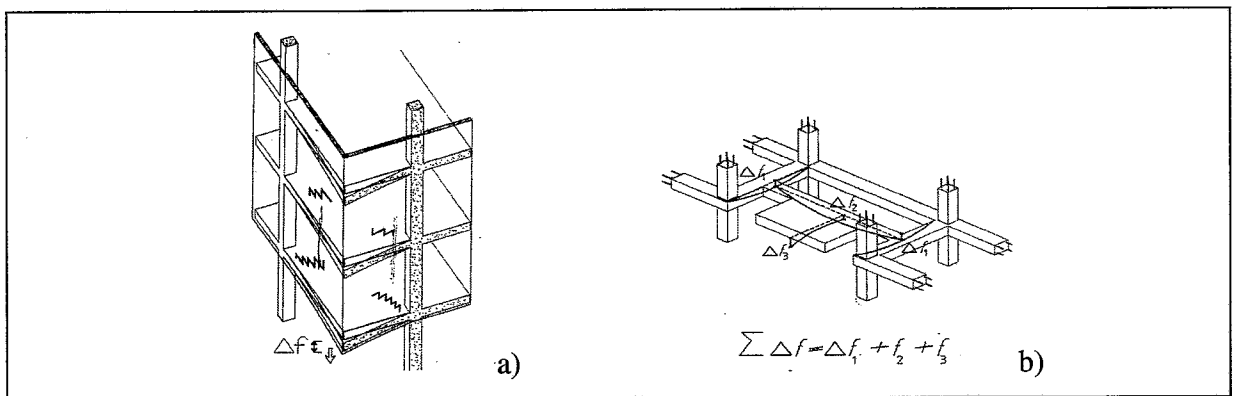


Figura 3.17 - Concentração máxima do valor da deformação na primeira laje devida às sucessivas deformações das lajes intermédias e acumulação de flechas [6]

Em panos parcialmente apoiados a encurvadura e instabilidade dos panos pode dar-se por rotação do seu apoio devido à deformação da laje. O desprendimento das forras de correcção também é propiciado.

3.5.4 LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

As ligações entre estrutura e alvenaria são, normalmente, realizadas sem qualquer disposição particular para fazer face às tensões aí concentradas e às solicitações próprias daquelas zonas. Recorre-se, simplesmente, à ligação por aderência entre elementos com recurso argamassas convencionais, o que nem sempre garante adequada resistência mecânica e rigidez.

Outro problema adicional é o facto da indústria nacional de cerâmica não produzir elementos específicos para a realização de zonas singulares da envolvente, sendo usual que para a sua realização se recorra aos elementos utilizados em zona corrente. Estes elementos são

transformados em obra, sem qualquer controlo, acabando por ficar com formas irregulares e por vezes danificados, comprometendo o seu comportamento mecânico. Agravando esta situação, vem o facto de, usualmente, serem colocados e dispostos de forma deficiente.

Também o facto de não se proceder a uma coordenação dimensional modular entre elementos construtivos origina que na maior parte das situações em obra, os elementos, principalmente os tijolos, tenham que ser ajustados às dimensões dos espaços disponíveis entre elementos estruturais, fragilizando as ligações.

3.5.5 ESBELTEZA DAS ALVENARIAS

O Eurocódigo 6 [20] define a esbelteza de uma parede como a razão entre a altura efectiva da parede e a sua espessura efectiva total e limita a mesma ao valor de 30 e em zonas sísmicas o valor desce para 12. Têm-se vindo a executar paredes cada vez mais esbeltas em consequência de alguns factores:

- Por razões arquitectónicas de optimização do espaço útil;
- Pela utilização de sistemas de isolamento térmico cada vez mais espessos;
- Por razões económicas.

Sendo assim, as paredes esbeltas ficarão mais susceptíveis de encurvar face a deformações e quando estão sujeitas a restrições exteriores. Em paredes apoiadas no topo e na base uma esbelteza excessiva pode ser a causa de instabilidade do pano, tornando-se num factor de agravamento das patologias ocorridas em sistemas de parede semi-apoiada (Figura 3.18).

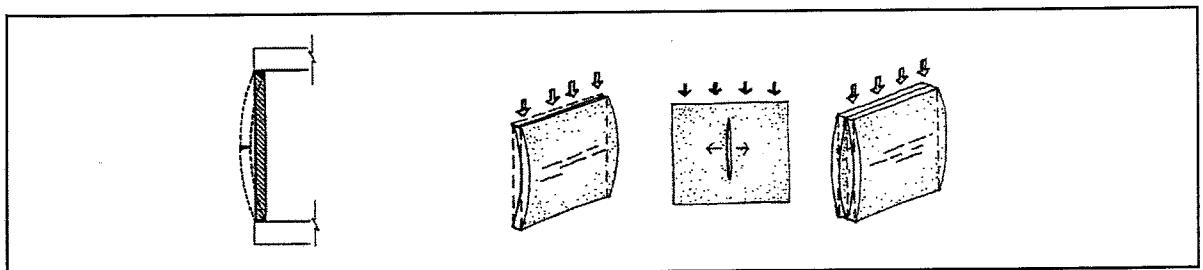


Figura 3.18 – Efeitos da encurvadura dos panos de alvenaria [2]

3.5.6 DIMENSIONAMENTO DAS ALVENARIAS DE PREENCHIMENTO

É prática habitual não se proceder a qualquer dimensionamento das alvenarias de preenchimento, quer face às acções horizontais do vento, quer face a eventuais deformações das lajes ou vigas

que as suportam ou ainda pelo facto de terem grandes extensões em comprimento ou em altura. Isto acontece porque o sistema tradicionalmente utilizado se baseia no seu total confinamento pela estrutura resistente, funcionando apenas como elemento de enchimento. Desta forma, as acções horizontais do vento são habitualmente transmitidas à estrutura através dos bordos e a sua sustentação é inteiramente dependente das vigas ou lajes, ficando, no entanto, à mercê das suas deformações.

Com a utilização das soluções de correcção de ponte térmica pelo exterior ou de alvenaria de tijolo de face à vista o panorama altera-se significativamente. Aos panos de parede passam a estar não confinados e o funcionamento da ligação dos mesmos é modificado. O confinamento é excêntrico e as cargas são transferidas de piso para piso, ao longo das forras cerâmicas, criando sobrecargas nos bordos da laje de primeiro piso. As exigências arquitectónicas e económicas têm dado origem a paredes cada vez mais esbeltas sem qualquer tipo de reforço mecânico. Face a esta nova realidade construtiva, nada foi alterado para garantir maior à resistência à tracção e ao corte tal como seria necessário.

3.5.7 JUNTAS DE DILATAÇÃO

O não cumprimento de distâncias máximas entre juntas de dilatação ou a inexistência da mesmas, quando recomendadas, contribuiu negativamente para o aparecimentos de elevadas tensões nas paredes, provocando fissuração, principalmente nos pontos particulares da mesma.

3.6 O PROBLEMA DOS PANOS NÃO CONFINADOS

3.6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nos panos não confinados, as acções que originam normalmente anomalias em paredes confinadas têm um efeito de maior gravidade. Não esquecendo as causas já referidas é realizada uma análise específica adicionando-lhe outras causas potenciadoras de problemas.

3.6.2 CONDIÇÕES DE APOIO DOS PANOS EXTERIORES DE ALVENARIA

R. Vicente [5] no seu estudo concluiu da análise numérica realizada, que as condições de apoio são muito influentes na distribuição de tensões no interior destas zonas particulares. Os apoios

têm um papel importantíssimo na estabilidade dos panos, de parede e qualquer redução não deve ser realizada de uma forma indiscriminada.

3.6.2.1 COM CORRECÇÃO TÉRMICA DUPLA

A correcção térmica dupla, equivalente a uma forra de tijolo de 0,07 m, é uma solução não aconselhável. No caso de uma parede dupla de pano exterior de 0,15 m a largura mínima de apoio desse pano deverá ser de $2/3 \times 0,15$ m, ou seja, 0,10 m. A situação de correcção dupla representada na Figura 3.20, considerando uma junta de argamassa com espessura média de 0,01 m entre a forra e o topo de laje, origina um apoio do pano exterior em menos de $2/3$ da sua largura total, ou seja em 0,07 m, muito inferior ao limite mínimo (0,10m). Depreende-se desta análise que esta solução é inadmissível do ponto de vista da estabilidade do pano. Nem um pano de tijolo de 0,22 m de espessura conseguiria cumprir a largura de apoio mínima (Figura 3.19)

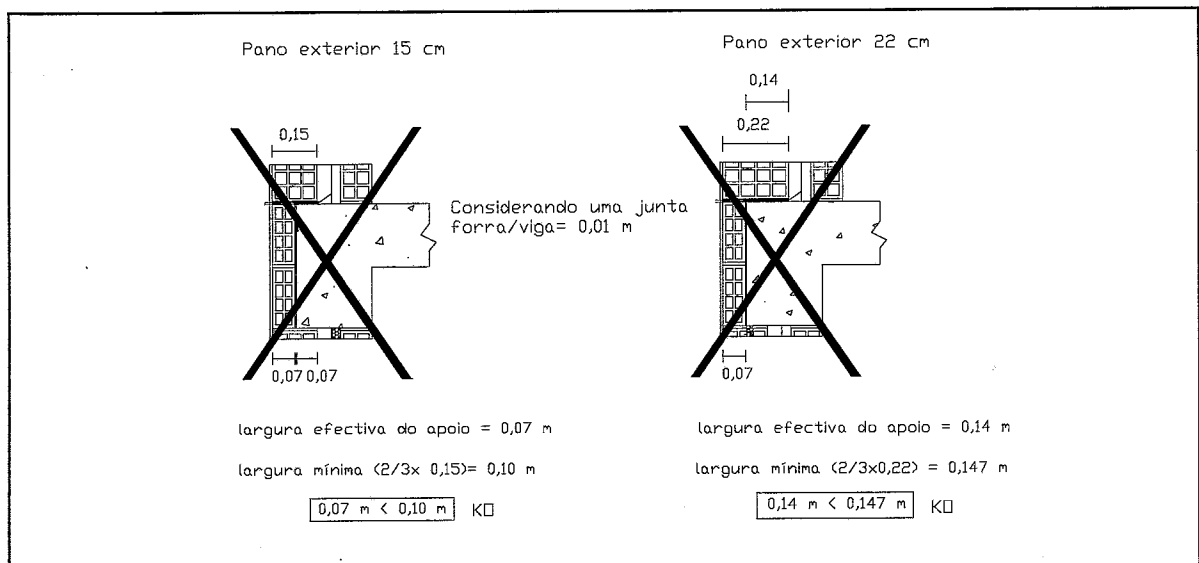


Figura 3.19 – Comparação entre larguras efectivas de apoio do pano exterior e a largura mínima, numa parede exterior dupla com pano exterior de 15cm e 22cm.

O agravamento desta situação dá-se pelo facto de existir um revestimento exterior que incrementa a largura não apoiada e desvia, ainda mais, a resultante das cargas para o exterior, como se analisará mais adiante.

3.6.1.2 COM CORRECÇÃO TÉRMICA SIMPLES

A correcção simples pelo exterior, correspondente a uma forra de 3cm de espessura, não levanta problemas relativamente à insuficiência de apoio, caso o pano seja de espessura superior ou igual a 0,15 m, não obstante, poder estar na origem de algumas patologias.

3.6.1.3 EM SISTEMAS COM TIJOLO À VISTA

Em face das dimensões normalizadas do tijolo maciço ou perfurado nacional e das condições usuais de assentamento, pode dizer-se que a largura mínima de apoio é de $2/3 \times 0,11$ m, que é igual a 0,073 m. Na situação da Figura 3.21, em que se utiliza uma forra cerâmica de 3cm de espessura e prevê-se uma junta de 0,01 m de largura entre a forra e o topo de laje, a largura mínima de apoio não é garantida (Figura 3.20).

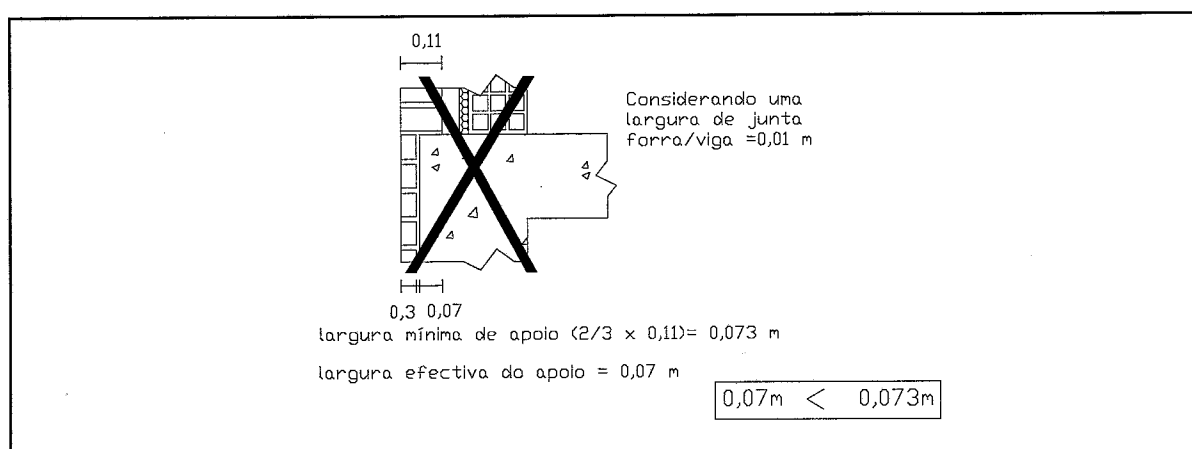


Figura 3.20 – Largura efectiva do apoio e largura mínima de um pano exterior de tijolo de face à vista

Por não haver coordenação dimensional modular em projecto, a insuficiência de apoio pode ocorrer quando ao assentar um primeiro pano de parede o comprimento final do pano obrigar o pano lateral a ser apoiado de forma insuficiente, já que os tijolos têm que ter uma continuidade regular e não podem haver remendos e correcções (Figura 3.21).

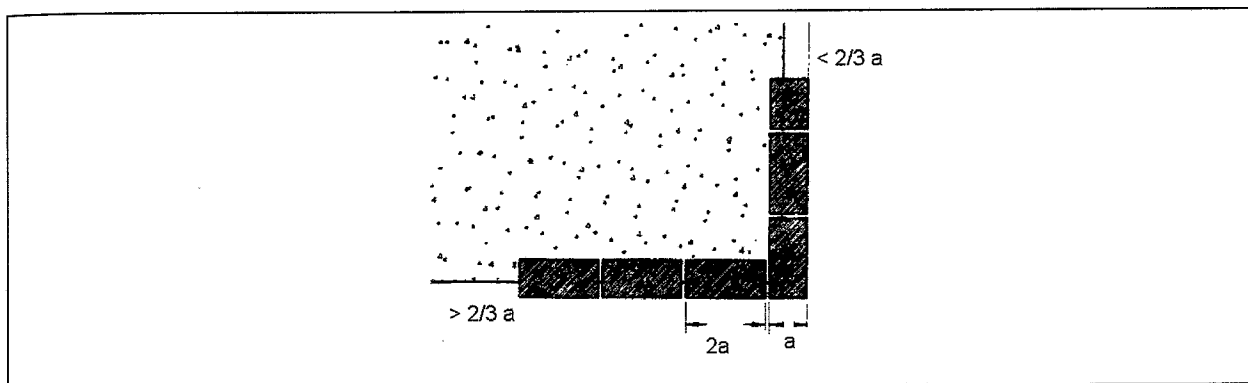


Figura 3.21 - Apoio insuficiente da forra da parede lateral devido à falta de coordenação dimensional modular dos elementos construtivos da parede principal [6]

3.6.1.4 CONSEQUÊNCIAS DO APOIO INSUFICIENTE

Em pano semi-apoiados a linha de acção do peso próprio força pode cair muito perto do limite do topo da laje ou até para além dele. *R. Vicente* [5] concluiu, pelos ensaios experimentais que realizou em tijolos de furação horizontal, que a regra de garantia do apoio mínimo de $2/3$ é indispensável, pois caso contrário verifica-se uma rotação da parede (Figura 3.22). Também chegou à conclusão que a geometria destes tijolos condiciona a capacidade resistente do pano e permite a criação de caminhos de carga preferenciais.

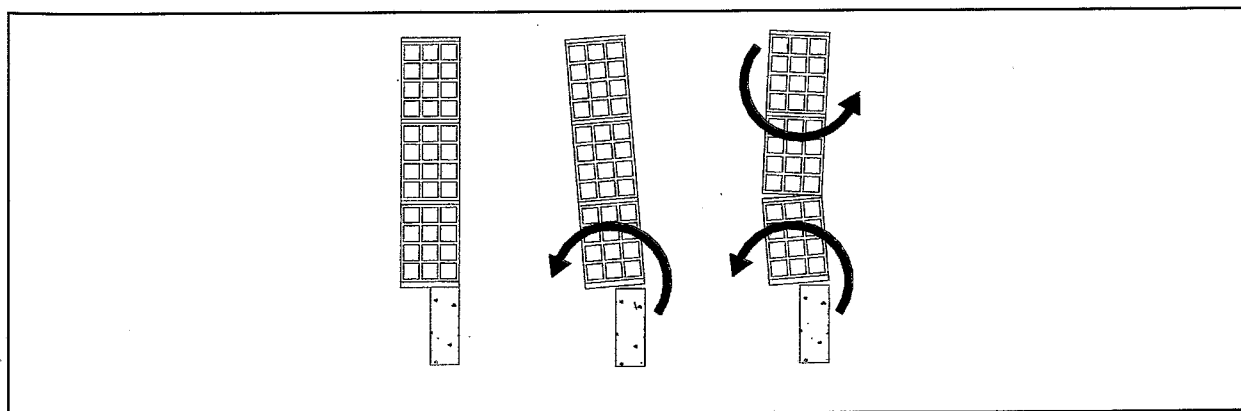


Figura 3.22 – Rotação do provete ensaiado nas condições de apoiado em $1/2$ da largura total do pano [5]

Também concluiu que a resistência à compressão do pano é reduzida em cerca de 20% no caso de $2/3$ de apoio sobre a laje e de 50% no caso de $1/2$ de apoio sobre a laje [5]. Esta situação é muito problemática e tem levado à rotura e ao colapso total ou parcial de panos de parede.

Ao longo do tempo de vida do edifício, movimentos da alvenaria cujas causas podem ser as mais diversas, algumas já referidas, resultam em deformações e desvios na sua base, que no caso de a mesma ser insuficiente, conduz a riscos agravados de instabilidade. Desta forma, os panos ficam instáveis, provocando fissuração acentuada, com tendência de evolução para os desprendimentos e ainda mais grave, para o colapso.

3.6.2 LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Uma alvenaria resulta da conjugação de elementos unitários e argamassa, os quais deverão obedecer a uma determinada disposição para que trabalhem em conjunto para desempenhar determinadas funções e resistir a determinadas acções [26]. Em muitas situações, projecta-se a justaposição de elementos construtivos distintos, aplicando-lhes revestimentos únicos, esquecendo que ao longo da sua vida útil vão trabalhar de modo distinto

Nas ligações entre a estrutura resistente e a alvenaria são susceptíveis de se desencadear patologias pela incompatibilidade de comportamentos e pela inexistência de disposições construtivas que absorvam essa incompatibilidade ou que a permitam.

A realização de forras cerâmicas envolvendo os elementos estruturais, tal como têm vindo a ser concebidas, vêm agravar mais o problema. A existência das mesmas debilita o pano de parede por diminuição brusca da secção e expõe essa zona à rotura ao longo das mudanças de secção, caso haja, esforços de tracção. O resultado é uma alvenaria fragilizada nessas zonas, em que estão, à partida, definidas linhas potenciais de fissuração e de rotura por corte (Figura 3.23).

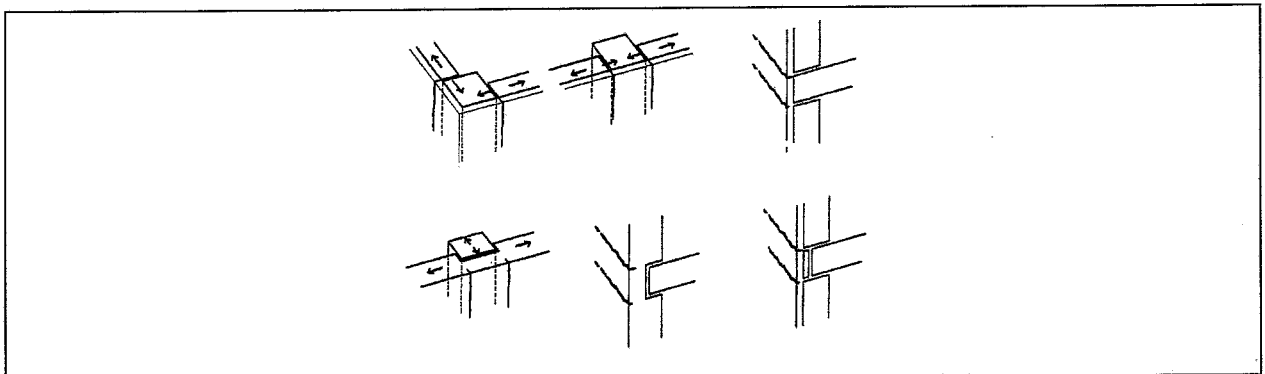


Figura 3.23 – Fissuração resultante de diferentes movimentos dos elementos construtivos em zona de correcção de ponte térmica [26]

A solução construtiva usualmente utilizada para fazer forras cerâmicas não contempla uma fixação mais activa da mesma aos elementos da estrutura que envolvem. Na zona de pilares é frequente não possuírem em toda a altura qualquer ligação ao mesmo

Na relação entre panos é prática habitual na construção portuguesa não inexistirem quaisquer ligações do pano exterior ao pano interior ou à estrutura. No sistema tradicional esta falta não é sentida de forma muito significativa, embora fosse muito vantajosa. Mas no sistema de paredes não confinadas a existência destes grampos pode constituir um apoio adicional. Quando utilizados, o que é ainda muito raro, apresentam algumas deficiências:

- São, com frequência, peças rudimentares realizadas com simples varões de aço utilizados na construção e dobrados em obra;
- A sua durabilidade é posta em causa devido aos materiais corrosíveis utilizados e à falta de tratamento contra a corrosão;
- Insuficiente rigidez face às condições a que estão sujeitos;
- Comprimentos de fixação nos panos são insuficientes;
- São colocados em número insuficiente e com uma distribuição ao longo da parede aleatória e sem preocupação com as zonas mais particulares;
- O posicionamento inadequado, sem preocupação de garantir a inclinação para o exterior para escorrência das águas.

3.6.3 ACCÕES DO PESO PRÓPRIO E DO VENTO

O peso próprio do pano de alvenaria é uma carga centrada no próprio pano se este existir isoladamente. No entanto, a linha de acção da resultante do peso próprio do pano exterior encontra-se em muitas situações desviada no sentido do exterior. A responsabilidade pelo posicionamento desta resultante é a habitual existência de um revestimento exterior, que desloca a resultante no sentido do exterior. *R. Vicente* [5] fez uma análise simplificada de uma parede com o apoio mínimo recomendado ($2/3$ x largura) e revestimento exterior e chegou à conclusão que:

- A linha de acção da resultante do peso próprio, pode cair no limite exterior do apoio devido à existência do revestimento;
- A linha de acção da resultante (considerando o pano homogéneo) situa-se fora do núcleo da parede se a forra não garantir rigidez adequada ou se não existir.

A forra cerâmica tem um papel importante, aguentando parte do peso do pano de parede, por isso, a fraca rigidez da forra de correcção pode condicionar o equilíbrio do pano de parede (Figura 3.24).

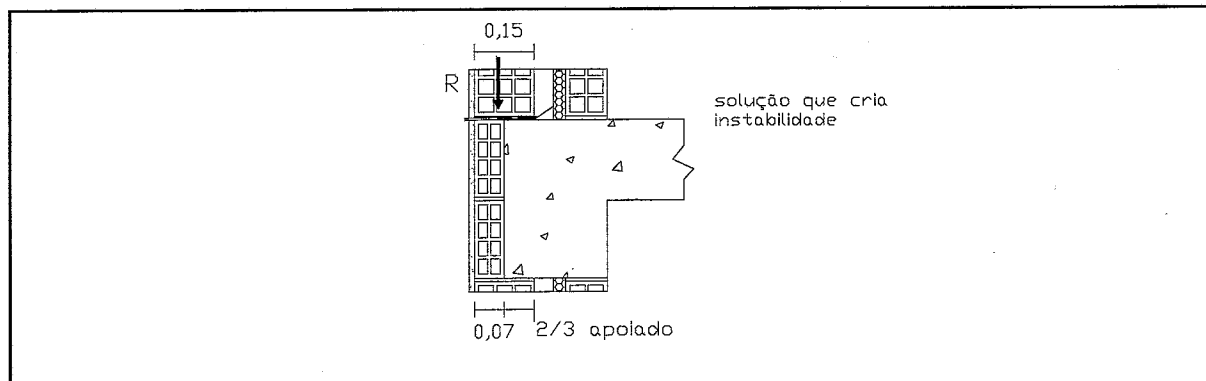


Figura 3.24 – Linha de acção da resultante do peso próprio em zona de forra cerâmica pelo exterior pode passar o limite exterior do apoio [5]

Relativamente à acção do vento, a situação mais gravosa ocorre sempre que se verifica o efeito de sucção [5]. Este fenómeno origina tracções na face exterior da parede e compressões na outra e os esforços máximos ocorrem a meia altura do pano de parede quando o pano se considere apoiado nos extremos superior e inferior. Em panos insuficientemente apoiados, esta acção pode tornar-se potenciadora de instabilidade do pano por sucção do mesmo para o exterior.

O efeito do peso próprio atenuava o efeito do vento se fosse centrado, pois originava compressões, mas como se viu, este funciona como uma carga excêntrica. Estas duas acções conduzem a tracções numa face da parede e compressões na outra, aumentando as probabilidades de instabilidade da parede, caso as condições de apoio sejam insuficientes. *R Vicente* concluiu em [5] que a tensão máxima de tracção é muito elevada face à resistência corrente da alvenaria e que a tensão de compressão está aquém dos limites de segurança, conclusões que evidenciam a situação precária quanto à estabilidade deste tipo de sistema de parede, apenas considerando estas duas acções.

3.6.4 VARIAÇÕES DE VOLUME POR ACÇÃO DA TEMPERATURA E HUMIDADE

Os fenómenos relativos à variação de volume pela acção da temperatura e humidade estão identificados em pontos anteriores. Nas situações de pano não confinado com forras cerâmicas

pelo exterior, as deformações são apenas restringidas em parte da espessura do pano, ficando toda a extensão correspondente às forras cerâmicas com maior liberdade de movimentos.

No caso da deformação das lajes de cobertura por efeito das acções térmicas, as forras cerâmicas tendem a fissurar, destacar-se e desprender-se (Figura 3.25).

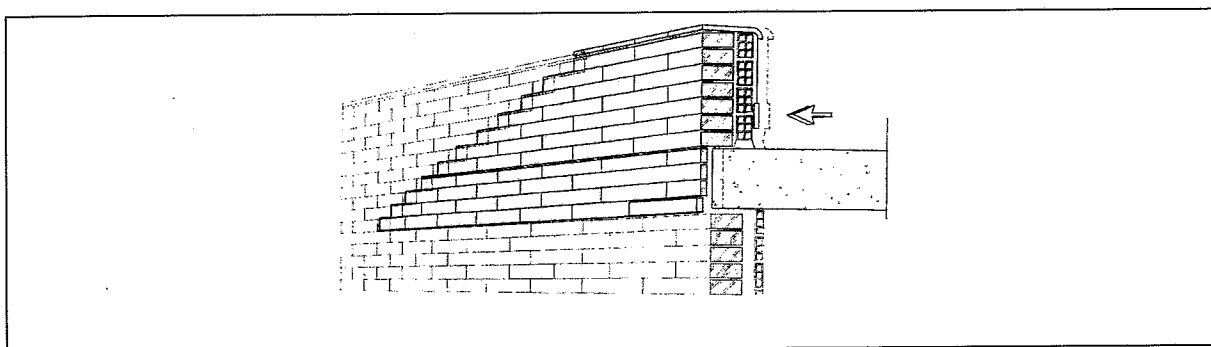


Figura 3.25 – Arrastamento das forras de correcção em zona de platibanda de parede por efeito das variações dimensionais da cobertura [6]

3.6.5 DEFORMAÇÕES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A encurvadura dos pilares pode provocar fissuração e destacamento das forras cerâmicas que os envolvem (Figura 3.26).

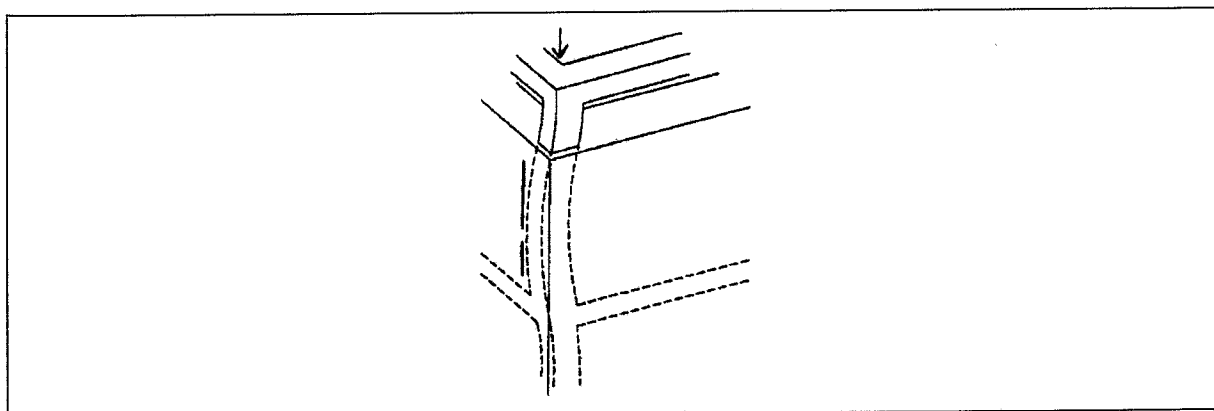


Figura 3.26 – Efeitos da encurvadura do pilar na forra cerâmica de envolvimento [26]

A deformação das lajes dá-se por flexão e pode provocar uma rotação na zona de apoio dos panos. A rotação provoca esforços de tracção e corte nas zonas adjacentes e potencia a fissuração e os desprendimentos dos elementos da forra, cuja ligação à estrutura e alvenaria é frágil (Figura 3.27). Devido à flexão das lajes e devido à existência de uma forra de tijolo em todos os pisos

são transmitidos esforços de uns pisos para os outros, acumulando em cada piso até ao se concentrar ao nível da primeira laje.

(Figura 3.24)

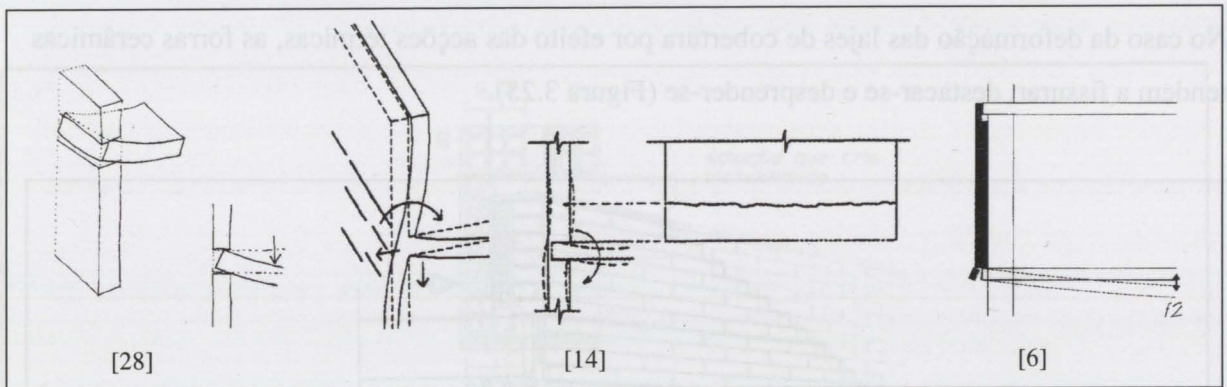


Figura 3.27 - Efeitos nos panos e nas forras cerâmicas, da flexão da laje e rotação do seu topo

3.6.6 EXECUÇÃO DAS FORRAS CERÂMICAS

3.6.6.1 ELEMENTOS CERÂMICOS UTILIZADOS

Os elementos utilizados para realizar as forras de correcção nem sempre são correctamente aplicados e são muitas vezes constituídos por tijolos adaptados em obra (Figura 3.28)

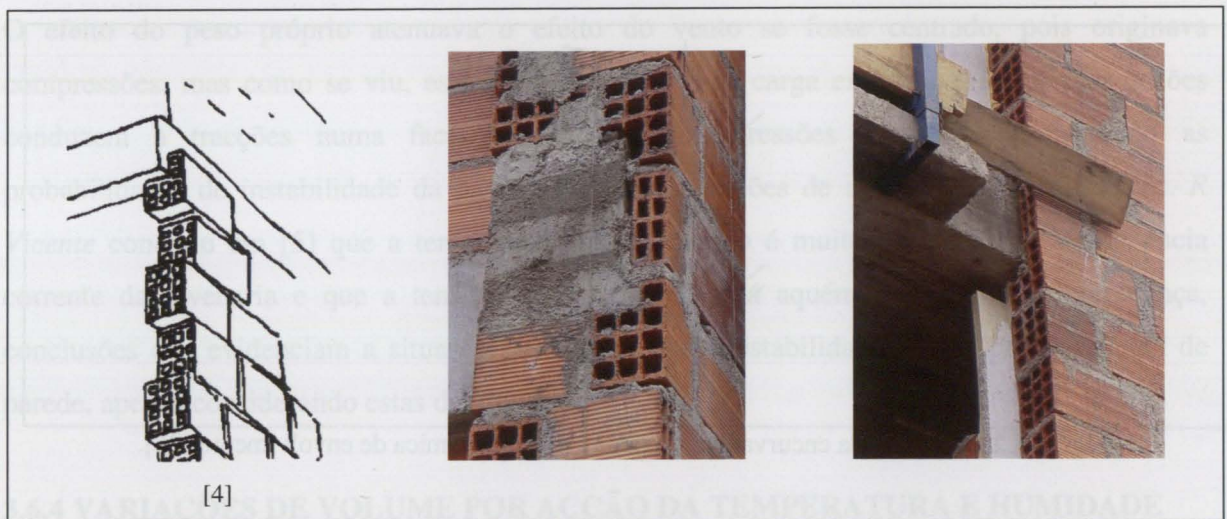


Figura 3.28 - Realização da forra cerâmica com elementos irregulares conformados em obra

Fica comprometida a resistência a mecânica destes elementos e o seu desempenho eficaz.

3.6.6.2 EXECUÇÃO DAS FORRAS CERÂMICAS

Frequentemente, a largura mínima de apoio não é efectivamente adoptada porque na fase de execução das alvenarias existe pouca sensibilidade para cumprir esta recomendação. Esta situação pode ser agravada quando os topos de laje não ficam, por erros de execução, alinhados verticalmente de piso para piso, o que pode resultar numa diversidade de larguras para a forra, visto que a verticalidade do pano tem que ser assegurada. Em alguns casos o topo da laje é demasiado recuada, o que faz diminuir ainda mais a largura de apoio, ou demasiado avançada, criando larguras de forra demasiado estreitas (Figura 3.29).

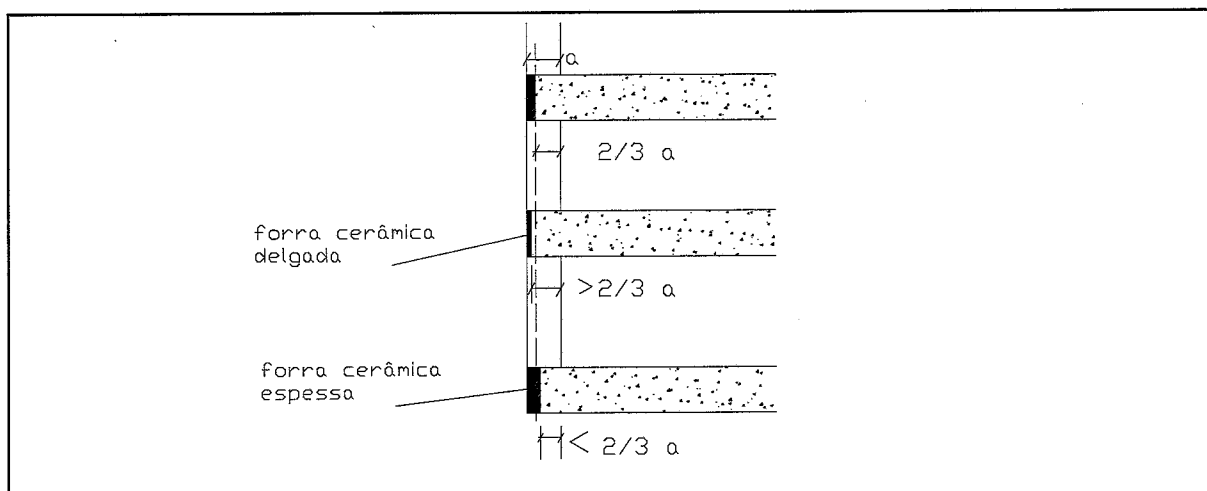


Figura 3.29 - Diferentes espessuras das forras cerâmicas envolvendo o topo das lajes ao longo da altura do edifício [6]

Na primeira situação recorre-se ao preenchimento com argamassa do espaço que sobra, na segunda situação, recorre-se a elementos cerâmicos mais finos.

3.6.7 CONSEQUÊNCIAS DA ACÇÃO SIMULTÂNEA DE VÁRIAS CAUSAS EM PANOS COM FORRAS CERÂMICAS PELO EXTERIOR

É com as alvenarias não confinadas que todos os efeitos resultantes de todas as acções referidas até agora são agravados. A análise realizada em [5] permitiu verificar que os valores das tensões podem consequentemente ser bastante superiores às tensões que a alvenaria pode suportar. As acções devidas ao peso próprio, variações térmicas e de humidade e deformações estruturais são

restringidas pelos elementos confinantes e provocam uma força criada nas zonas de apoio. Se a parede estiver totalmente confinada, essas forças são centradas no pano de parede. Nos casos de confinamento parcial, admite-se que, apenas a laje assegura a restrição às deformações, por isso essa força é excêntrica. Esta restrição excêntrica às deformações da parede provoca uma rotação na base e no topo do pano de alvenaria com possível curvatura do mesmo. A existência do apoio parcial do pano de fachada provoca um esforço de corte na zona de transição das condições de apoio, não tolerado pelo material cerâmico pelas suas características de baixa resistência a estes esforços (Figura 3.30) [5].

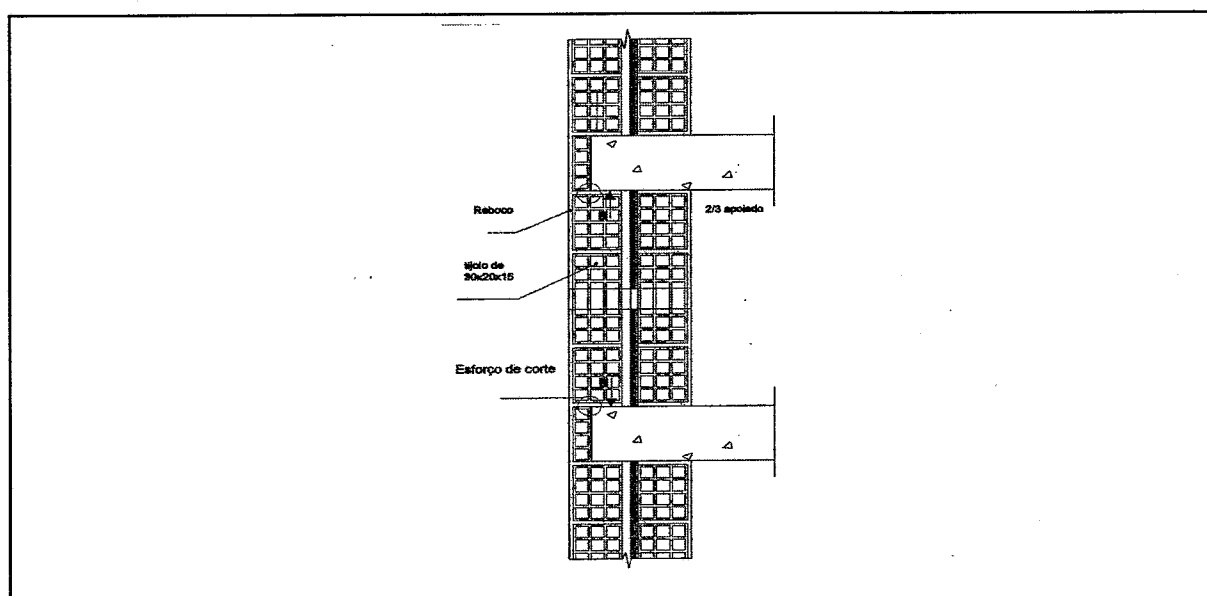


Figura 3.30 - Forças verticais devidas aos movimentos em zona de apoio e indicação das zonas de localização de esforços de corte [5]

A instabilidade do pano exterior é agravada em casos de esbeltezas e dimensão excessiva dos panos, quando existem deficiências de verticalidade resultantes de má execução e na falta de grampeamento.

Numa análise global, *Argilés* [6] refere que a alvenaria não confinada, principalmente as alvenarias de tijolo de face à vista, têm tendência a expandir, enquanto que a estrutura resistente tem tendência a retrair pela deformação a que está sujeita (Figura 3.31).

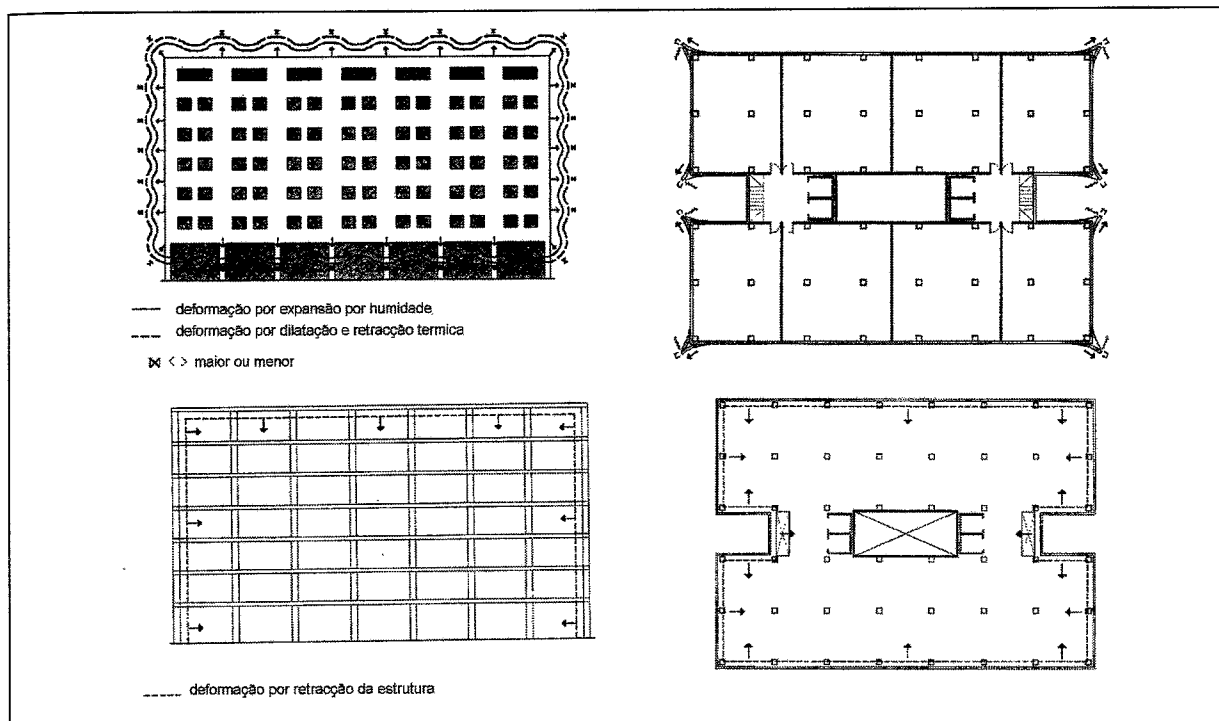


Figura 3.31 – Deformações por dilatação e contração na estrutura resistente e na alvenaria não confinada

[6]

Verifica-se que após deformações continuadas no tempo o apoio do pano, muitas vezes no limiar do apoio mínimo, vai ficando cada vez mais reduzido. As forras cerâmicas exteriores acarretam com parte das cargas dos panos e experimentam o esmagamento e rotura e tendem a fissurar e a desprender-se do topo da laje e dos panos de alvenaria adjacentes (Figura 3.32).

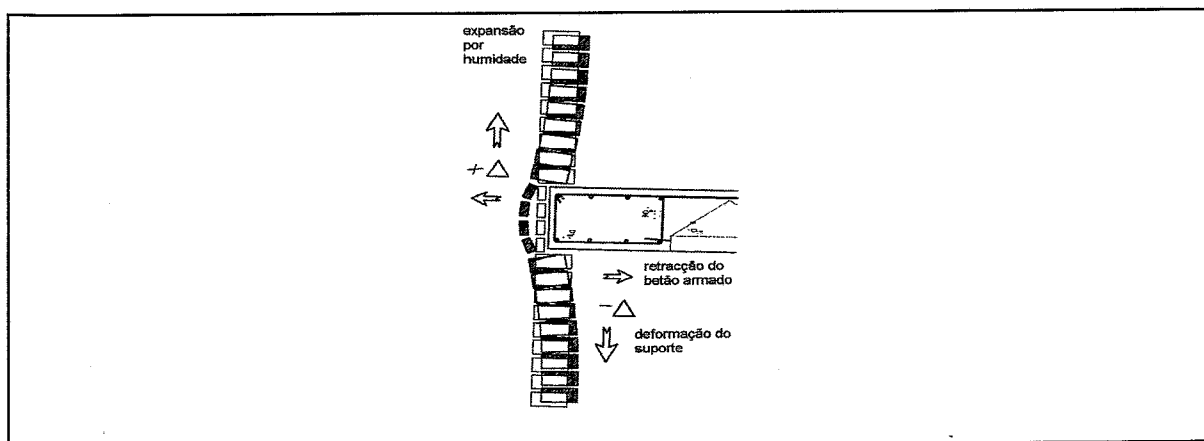


Figura 3.32 - Conjugação de vários factores que propiciam o desprendimento das forras em zona de apoio de parede [6]

Adicionando os efeitos da acção dinâmica do vento, principalmente o efeito de sucção, os panos podem mesmo sofrer o colapso.

3.7 O AGRAVAMENTO DO FENÓMENO HIGROTÉRMICO COM A OCORRÊNCIA DE PATOLOGIAS CONSTRUTIVAS

Todas as patologias construtivas já referidas agravam o fenómeno decorrente da ponte térmica porque coincidem com as zonas críticas e permitem um aumento do teor de humidade dos elementos construtivos e nas superfícies interiores dos mesmos. São essas patologias:

- Qualquer tipo de fissuração dos revestimentos e das alvenarias em zonas de ligação entre elementos que permita a entrada de água de precipitação para o interior;
- As degradações de revestimentos diminuem a estanquidade da envolvente exterior e fomentam a criação de microorganismos que fixam a humidade;
- A má execução e drenagem insuficiente da caixa-de-ar em paredes duplas que provoca entrada de água para o interior em zona de base da caixa-de-ar.

O aumento do teor de humidade conduz a:

- Uma subida dos valores da condutibilidade térmica dos materiais constituintes dos elementos exteriores, diminuindo a resistência térmica da zona e aumentando a discrepância relativamente à zona corrente da envolvente;
- Um aumento da probabilidade de ocorrência de condensações superficiais e internas.

CAPÍTULO 4

REABILITAÇÃO TÉRMICA DE ZONAS DE PONTE TÉRMICA

4.1 INTRODUÇÃO

Poderá entender-se como reabilitação térmica de um edifício a actuação na envolvente construtiva, no sentido de melhorar o nível de conforto térmico interior, tornando o edifício mais eficiente energeticamente e diminuindo ou eliminando as patologias resultantes dessa deficiência.

Muitas são as zonas de ponte térmica na envolvente dos edifícios, no entanto, nem todas são problemáticas quanto às condensações, embora todas possibilitem um acréscimo de perda térmica, umas mais, outras menos. Sendo assim, a presença de pontes térmicas na envolvente é habitual, mas a sua importância pode ser diversa, quer seja relativamente aos efeitos negativos, quer seja relativamente à quantidade de situações verificadas. A actuação de reabilitação dependerá dessa importância e, por isso, é necessário qualificá-las e quantificá-las, trabalho que já foi realizado, em parte, em [3], mediante a apresentação de um catálogo, com o recurso a ensaios experimentais e, sobretudo, à simulação numérica.

Após a sua classificação podem ser tomadas diversas medidas de actuação. Se se verifica que existem pontes térmicas mas os seus efeitos estão dentro dos limites considerados aceitáveis, não existe necessidade de actuar do ponto de vista construtivo, embora introduzam acréscimo de perda térmica que é necessário ter em conta no balanço de perdas de calor. O controlo das condensações nas pontes térmicas pode passar pela tomada de medidas no âmbito do controlo da produção de vapor, da ventilação e do aquecimento interior. Se o seu efeito quantificado está acima dos limites críticos, então é mesmo necessário intervir, pois muitas vezes as medidas mencionadas não são suficientes. Tendo em conta que eliminar alguns tipos de ponte térmica é muitas vezes muito difícil e implica um custo muito elevado, antes de mais é necessário quantificar os efeitos de cada ponte térmica, para saber quais as verdadeiramente problemáticas.

A reabilitação térmica de pontes térmicas, abordada neste trabalho, pretende diminuir os efeitos directos da existência do fenómeno da ponte térmica, condensações e bolores, em determinado ponto ou pontos da envolvente através da actuação na zona de ponte térmica, na certeza de que a actuação neste tipo de zonas da envolvente influencia o desempenho térmico da envolvente na sua globalidade. Pretende-se então com este capítulo explorar princípios e soluções de intervenção pontuais que podem servir como parte de uma estratégia de actuação global em todo o edifício ou como uma estratégia de actuação particular para cada zona específica.

4.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE DOS EFEITOS DA PONTE TÉRMICA E DE ACEITAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA

A análise do comportamento de determinada ponte térmica ou da solução de reabilitação, com vista a perceber a sua eficácia na diminuição do problema, requer um critério de avaliação e aceitação da solução. A caracterização da situação é realizada em função dos efeitos da ponte térmica nessas zonas, a diminuição de temperaturas superficiais interiores relativamente às temperaturas em zona corrente e o acréscimo de fluxo de calor relativamente à zona corrente. O primeiro efeito tem como consequência o aparecimento das condensações superficiais e bolores. O segundo tem como consequência um aumento das perdas de calor globais do edifício e por sua vez o aumento das necessidades de consumo energético para aquecimento. As situações que foram já estudadas e desenvolvidas [3] serão a base de partida para este trabalho.

Nesta análise, duas vertentes têm que ser abordadas, a do ponto de vista das perdas térmicas e a do ponto de vista da ocorrência de condensações. No entanto, é na segunda que vai assentar a análise das soluções apresentadas neste trabalho, isto porque as soluções aceitáveis do ponto de vista de controlo de humidade de condensação conduzem a soluções com perdas térmicas reduzidas, resolvendo-se desta forma, e na maior parte dos casos, um problema e outro. O risco de ocorrência de condensações vai ser determinante na análise da solução [3]. Sendo assim, é importante perceber que podem ser muitos os factores condicionantes para a ocorrência de condensações e que estes podem variar e relacionar-se entre si. São eles:

- As condições do clima exterior – temperatura, pressão de vapor, velocidade do vento;
- As características geométricas dos espaços - volume interior razão entre a área da parede exterior e a área das outras paredes do compartimento;

- As características construtivas da envolvente – a constituição dos elementos construtivos, o tipo de revestimentos interiores;
- As condições de ocupação dos espaços interiores – temperatura interior, produção de vapor e ventilação.

Por isso, torna-se, desde já, difícil estabelecer um critério único e válido para todas as situações possíveis nos edifícios.

Desta forma, recorre-se a um parâmetro habitualmente utilizado quando se pretende avaliar o risco de condensações superficiais e para o qual se estabelecerá um valor limite. O factor de temperatura superficial é um factor adimensional definido pela seguinte fórmula:

$$\tau = \frac{t_i - t_{si}}{t_i - t_e} \quad (4.1)$$

sendo:

t_i – temperatura interior

t_{si} – temperatura do ponto da superfície interior onde se pretende calcular o τ

t_e – temperatura exterior

Caracteriza uma dada solução construtiva e permite saber a temperatura mínima interior da superfície para um determinado par de valores de t_i e t_e conhecidos.

Como se pode concluir da fórmula, quanto menor for o valor da temperatura superficial t_{si} num dado ponto maior o valor de τ . Então, interessa impor que determinada solução construtiva tenha um valor de τ inferior a um valor máximo admissível para que seja considerada adequada às situações a que vai estar sujeita. No entanto, esta tarefa não é tão simples quanto isso, pois são muitos os factores influentes na escolha deste valor. O valor genérico normalmente adoptado é 0,30 mas muitos autores variam este valor máximo entre os 0,25 e 0,50, conforme os múltiplos factores em jogo.

No que respeita ao desenvolvimento de bolores, para evitá-lo, este valor deverá ser necessariamente baixo, visto que pode ocorrer esta anomalia mesmo sem a ocorrência de

condensações, apenas pelo facto de permanecer uma humidade relativa elevada junto à superfície durante muito tempo. Adoptar-se-á a classificação apresentada no Quadro 4.1

QUADRO 4.1 – Classificação das soluções construtivas em função do valor de $\tau_{\text{máximo}}$ da solução [3]

$\tau_{\text{máximo}}$	Classificação Da Solução
> 0,50	A rejeitar
0,45-0,50	Fraca qualidade
0,35-0,45	Média qualidade
0,30-0,35	Boa qualidade
<0,30	Muito boa qualidade

É com base nesta classificação que são caracterizadas as geometrias em zona de ponte térmica para encontrar soluções de reabilitação térmica, tentando, quando possível, encontrar valores o mais baixos possível, como uma garantia de qualidade da solução. Soluções que possuam valores abaixo de 0,30 terão salvaguardado seu bom ou razoável desempenho para a maioria das situações de temperatura e humidade a que possa estar sujeita.

4.3 AVALIAÇÃO DA IMPORTANCIA DAS DIVERSAS ZONAS DE PONTE TÉRMICA EM TERMOS DOS SEUS EFEITOS

Todas as pontes térmicas introduzem um acréscimo de perda de calor, umas mais, outras menos. Algumas, por proporcionarem uma maior heterogeneidade de temperaturas superficiais interiores, originam as anomalias já referidas, enquanto que noutras, embora o fenómeno exista, não se propicia a ocorrência das mesmas. Nestes casos, quando a ponte térmica é pouco crítica, não é primordial actuar construtivamente e muitas vezes é suficiente recorrer a outras medidas, tais como incrementar a ventilação e aquecer os espaços interiores.

Da caracterização térmica de pontes térmicas já realizada em [3] identificaram-se as zonas mais problemáticas para a ocorrência de condensações em função da localização no edifício. Por exemplo, a ligação entre uma parede exterior e uma laje de cobertura, a ligação entre duas paredes exteriores, a ligação entre a parede exterior e a caixilharia e as zonas de caixas de estore são as zonas mais críticas. Os efeitos da ponte térmica também são influenciados pelo tipo de geometria da ponte térmica. A geometria onde a superfície exterior é mais extensa que superfície

interior é necessariamente mais gravosa do que uma ponte térmica plana. O Quadro 4.2 faz um balanço, para cada zona de ponte térmica, da problemática de cada situação.

QUADRO 4.2 – Síntese dos efeitos das pontes térmicas [3]

ZONAS LIGAÇÃO ENTRE	AVALIAÇÃO QUANTO AO EFEITO DA PONTE TÉRMICA EM FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA MESMA
Duas paredes exteriores	<i>A temperatura superficial mínima pode atingir valores muito baixos em paredes sem isolamento térmico ou com isolamento térmico na caixa-de-ar. É uma das situações que apresentam maiores problemas de condensação e bolores e por isso a correcção é indispensável.</i>
Uma laje de cobertura e uma parede exterior	<i>A temperatura superficial mínima é quase sempre muito problemática. Normalmente, é nestas zonas que os problemas resultantes de ponte térmica se fazem sentir com mais evidência. A correcção da ponte térmica é indispensável.</i>
Um pavimento sobre espaço exterior e uma parede exterior	<i>Esta situação é das mais críticas em termos de valores de τ verificados na simulação numérica.</i>
Uma laje de nível intermédio e uma parede exterior	<i>É um tipo de ligação pouco crítico quanto ao risco de condensações. Existem mesmo situações de parede não isolada ou isolada na caixa-de-ar, que apresentam comportamento aceitável sem correcção. O sistema de isolamento pelo interior é o que apresenta maiores problemas e a correcção é sempre necessária.</i>
Uma parede exterior e uma parede divisória	<i>A maior parte das situações apresentam resultados aceitáveis, grande parte das situações não exigem correcção. Exceptuam-se as situações onde existe localização de pilar e em sistemas de isolamento térmico pelo interior.</i>
Uma laje de cobertura e uma parede divisória	<i>Na maioria dos casos o isolante térmico nas lajes é exterior e não existe descontinuidade do mesmo.</i>
Um pavimento sobre espaço exterior e uma parede divisória	<i>Quando o isolamento da laje é pelo interior então existe necessidade de correcção.</i>
Pilar e zona corrente de parede	<i>Existe necessidade de corrigir esta zona quando não existe isolamento térmico ou o isolamento se faz na caixa-de-ar.</i>
Uma parede exterior e uma caixilharia	<i>Nesta situação, os valores da temperatura superficial podem ser muito baixos, embora numa zona muito estreita junto à caixilharia. É também das zonas onde se verificam mais patologias.</i>
Uma parede exterior e uma caixa de estore	<i>Os modelos actuais de caixas de estore são elementos termicamente muito pouco resistentes e originam zonas muito problemáticas.</i>

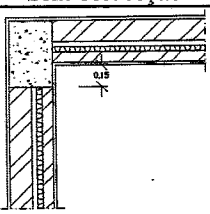
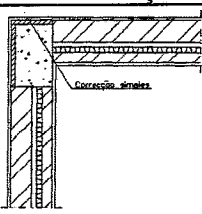
Em cada uma destas zonas, a gravidade das situações depende das características dos materiais utilizados, do tipo de disposição construtiva existente e da localização do isolamento térmico utilizado. Na generalidade dos casos, as situações onde se verificam maiores valores do factor de temperatura superficial apresentam maiores heterogeneidades, nomeadamente nas situações onde existem elementos estruturais de betão armado. Nos casos em que existe isolamento térmico pelo exterior não existe necessidade, na maioria dos casos, de correcção da ponte térmica. Com os sistemas de isolamento pelo interior criam-se algumas heterogeneidades em certas zonas de ponte térmica, porque o sistema nem sempre pode ser contínuo. Mas é com o sistema de isolamento repartido que se verificam as maiores heterogeneidades na envolvente, pela razão de que o isolamento é apenas realizado na caixa-de-ar da alvenaria.

4.4 DESEMPENHO TÉRMICO DAS TENTATIVAS DE CORRECÇÃO TÉRMICA REALIZADAS ACTUALMENTE

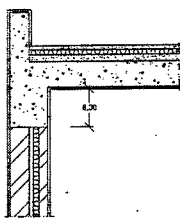
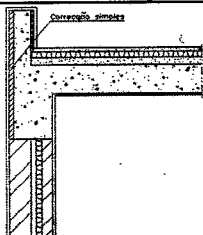
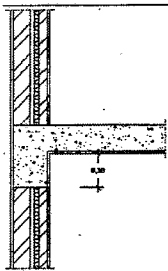
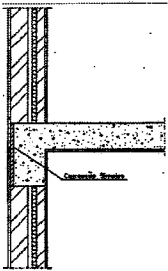
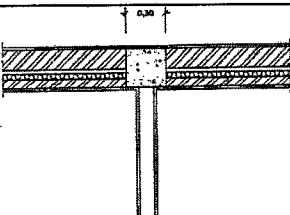
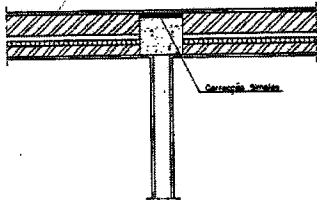
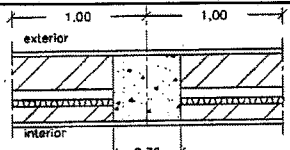
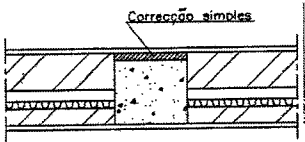
As soluções de forra cerâmica pelo exterior da estrutura são, actualmente, a solução mais utilizada para a tentativa de resolução do problema das pontes térmicas, para além da utilização do isolamento pelo exterior. No entanto, é necessário reflectir sobre a real eficácia térmica destas soluções, nomeadamente no que respeita ao risco de ocorrência de condensações superficiais interiores. Para além disto, estão a surgir problemas de ordem mecânica.

Foram seleccionadas em [3] algumas geometrias consideradas representativas e comparados os valores do $\tau_{máximo}$, obtidos por simulação numérica, para as situações sem correcção e com correcção simples pelo exterior. Estes valores são apresentados no Quadro 4.3.

QUADRO 4.3 – Comparação de valores do $\tau_{máximo}$ para soluções sem correcção e com correcção cerâmica pelo exterior [3]

Geometria		$\tau_{máximo}$	
Sem correcção	Com correcção	Sem correcção	Com correcção
		0,55	0,53

QUADRO 4.3 – Comparação de valores do τ máximo para soluções sem correcção e com correcção cerâmica pelo exterior [3] – Continuação

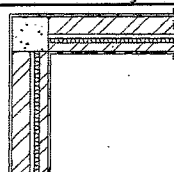
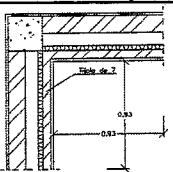
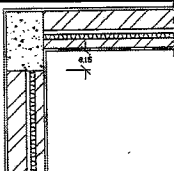
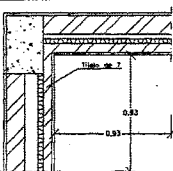
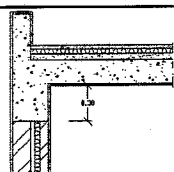
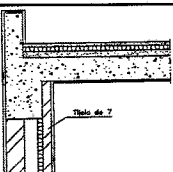
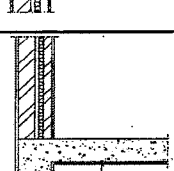
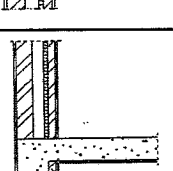
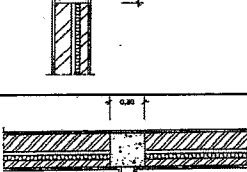
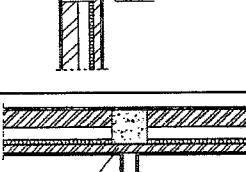
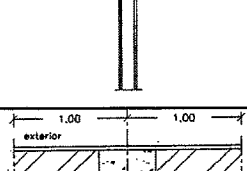
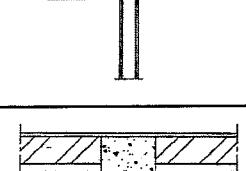
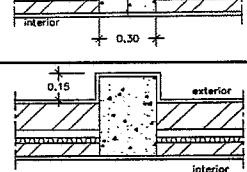
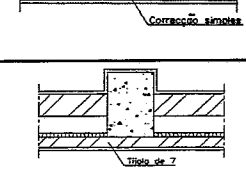
Geometria		τ máximo	
Sem correcção	Com correcção	Sem correcção	Com correcção
		0,52	0,50
		0,30 (1)	0,40 (1)
		0,37	0,35
		0,38	0,36

(1) Estes valores correspondem ao compartimento mais gravoso, o inferior.

Observando o Quadro 4.3, pode-se verificar que na maioria das soluções de correcção simples pelo exterior o valor do τ máximo diminui apenas de 0,01 a 0,03 relativamente ao valor correspondente à solução sem correcção, o que é manifestamente insuficiente, quase insignificante. Analisando as situações com correcção, verifica-se que a realização destas correcções incrementa ligeiramente a resistência térmica da zona mais frágil mas mantém pontes preferenciais de passagem do fluxo de calor pois a correcção não é realizada na continuidade do isolamento térmico. Verifica-se, assim que, na generalidade dos casos, não existem vantagens reais na sua execução com vista à diminuição do risco de condensações superficiais interiores. Relativamente à correcção dupla pelo exterior é, à partida, desaconselhada, por proporcionar a instabilidade dos panos de parede.

As correcções térmicas pelo interior não têm tido utilização tão intensiva como pelo exterior, visto que, em geral, retiram área útil aos espaços interiores. O Quadro 4.4 mostra os valores de *umáximo*.

QUADRO 4.4 – Comparação de valores do *umáximo* para soluções sem e com correcção cerâmica pelo interior [3].

Geometria		<i>umáximo</i>	
Sem correcção	Com correcção	Sem correcção	Com correcção
		0.47	0.34
		0.55	0.43
		0.52	0.45
		0.43 (1)	0.33 (1)
		0.37	0.28
		0.38	0.34
		0.36	0.28

(1) Estes valores correspondem ao compartimento inferior.

Como se pode constatar pelo Quadro 4.4, anteriormente apresentado, a correcção pelo interior não é totalmente eficaz para as geometrias mais gravosas. As diminuições do factor de concentração de perdas máximo são mais acentuadas quando se realiza uma correcção dupla, sendo as correcções simples pouco eficazes. Na situação de ligação de entre uma laje de cobertura e parede exterior ou entre duas paredes exteriores permanece, com a correcção dupla, uma zona termicamente frágil que origina valores baixos da temperatura superficial interior. As correcções simples pelo interior podem funcionar como uma melhoria quando a ponte térmica, por si só, já não é muito acentuada, mas não se justificam em situações mais críticas.

4.5 ESTRATÉGIAS POSSÍVEIS PARA A REABILITAÇÃO TÉRMICA

Dir-se-á que a melhor estratégia de actuação será garantir o isolamento contínuo em toda a envolvente, o que, com o tipo de sistema construtivo tradicionalmente utilizado, só pode ser realizado com o isolamento térmico pelo exterior. De facto, *Corvacho* [3] obteve na sua análise resultados satisfatórios, na generalidade das zonas de ponte térmica, bem como na restante envolvente, tratando-se da solução mais interessante do ponto de vista de conservação de energia e de diminuição das condensações e bolores interiores. No entanto, esta forma de actuação nem sempre é preferida porque:

- Enquadra-se num processo de reabilitação global do edifício, estratégia nem sempre adoptada pois precisa de uma motivação de todas as partes;
- Implica uma modificação radical do aspecto das fachadas, nem sempre desejado ou possível;
- É uma solução pouco económica.

Muitas estratégias de actuação podem ser utilizadas para proceder à reabilitação térmica de determinada zona pontual, sem esquecer que existe já uma solução construtiva inicial e que uma mudança radical de solução é muitas vezes impossível tecnologicamente e inoportuna financeiramente. A actuação poderá enquadrar-se na alteração parcial da solução, com substituição de materiais ou elementos existentes ou na introdução de elementos adicionais.

Para realizar as acções de reabilitação é necessário, antes de mais, conhecer a constituição da zona particular e da restante envolvente. Existem alguns mecanismos que podem auxiliar nesta investigação e que permitem uma estimativa bastante segura.

A actuação na modificação parcial da geometria pode ser uma forma de desagrarar certas situações de ponte térmica. Por exemplo, numa ligação entre duas paredes poderia resolver-se significativamente o problema da ponte térmica arredondando a ligação, seguindo a isotérmica de temperatura suficientemente elevada para que o factor de temperatura superficial esteja dentro dos valores aceitáveis. Olhando para as isotérmicas na ligação entre duas paredes homogéneas pode perceber-se a vantagem da tomada desta medida (Figura 4.1).

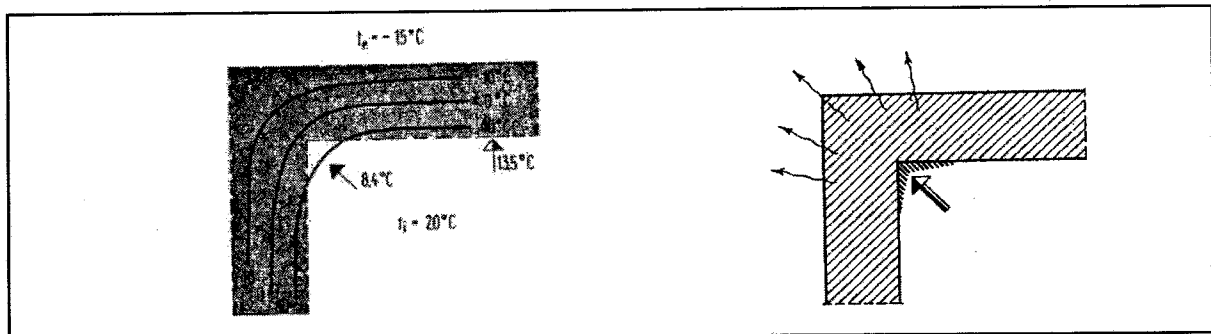


Figura 4.1 – Linhas isotérmicas e zona de patologia em zona de cunhal de uma parede homogénea [29]

Desta forma aumentar-se-ia a superfície interior absorvente de calor relativamente à superfície exterior dissipadora de calor [29].

Esta estratégia pode ser conseguida adoptando geometrias especiais no revestimento interior na zona de ponte térmica, perfeitamente integradas nas opções estéticas correntes.

Outra estratégia mencionada em algumas publicações [29] seria aquecer a zona de ponte térmica, por exemplo passando a tubagem do sistema de aquecimento central, ou posicionando o equipamento de aquecimento permanente pela zona afectada ou, ainda, através de sistemas complexos que elevam a temperatura nas superfícies interiores dos elementos construtivos. Este tipo de actuação não é de muito fácil implementação visto que precisa de gasto de energia e sistema de aquecimento permanente.

Mas a estratégia mais sustentada de correcção de ponte térmica passa pelo reforço da resistência térmica da zona. Em intervenções de reabilitação a filosofia de actuação será a mesma, no entanto, as soluções a propor têm que se adaptar à situação construtiva já existente, o que torna este trabalho mais exigente e por vezes mais limitativo.

4.6 PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA EM ZONA DE PONTE TÉRMICA

4.6.1 INTRODUÇÃO

Muitas podem ser as geometrias possíveis e o universo deste trabalho poderia ser muito extenso, o que não cabe na sua disponibilidade temporal. Sendo assim, optou-se pelo estudo da reabilitação das pontes térmicas que apresentam valores do factor de temperatura superficial elevados. Pretende-se demonstrar a possibilidade de reabilitar termicamente, de forma pontual, as zonas de ponte térmica, principalmente as mais problemáticas e onde são mais comuns os fenómenos de condensações superficiais e bolores.

4.6.2 ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA ADOPTADAS

Eliminar completamente a existência da ponte térmica é muito difícil, pois o mecanismo da ponte térmica prevalece sempre, nem que seja pela geometria particular da ponte térmica e esta intervenção seria, construtivamente, pouco viável e, economicamente, pouco vantajosa. Interessa saber em que casos o efeito é realmente negativo e em função disso actuar, até porque existem muitas situações em que a tomada de medidas, fora do âmbito construtivo, é suficiente para desagravar o problema. Desta forma todas as acções de reabilitação, tentam na medida do possível, obter uma melhoria da solução, privilegiando a melhoria dos fenómenos patológicos mais evidentes, as condensações e os bolores nas superfícies interiores. O critério de aceitação segue o estabelecido no Quadro 4.2.

As propostas de melhoria térmica assentam basicamente em dois princípios:

- Reforço da resistência térmica na zona de ponte térmica com a incorporação de materiais isolantes;
- Modificação das superfícies da geometria.

Como se trata de reabilitação, é forçoso ter em conta a solução construtiva já existente, o que põe em evidencia duas formas de actuação diferente: substituir certos elementos construtivos, mantendo ou não os limites da geometria inicial ou acrescentar elementos construtivos adicionais. A primeira implica uma intervenção mais profunda, com demolição e posterior reconstrução. A segunda implica uma reabilitação mais simples, mais pacífica e possivelmente

mais económica que a anterior, Ambas podem alterar o aspecto e modificar a planeza das superfícies, o que em certas situações pode ser resolvido com soluções estéticas engenhosas.

Não esquecendo que as propostas de melhoria térmica devem ser sempre validadas e sustentadas pelo bom desempenho construtivo, para que se tornem válidas como soluções executáveis. Deve ser da preferência ao uso de materiais e sistemas disponíveis no mercado, como tecnologia que facilmente possa ser aplicada e que se adapte à realidade da indústria de construção portuguesa e à especialização da nossa mão-de-obra.

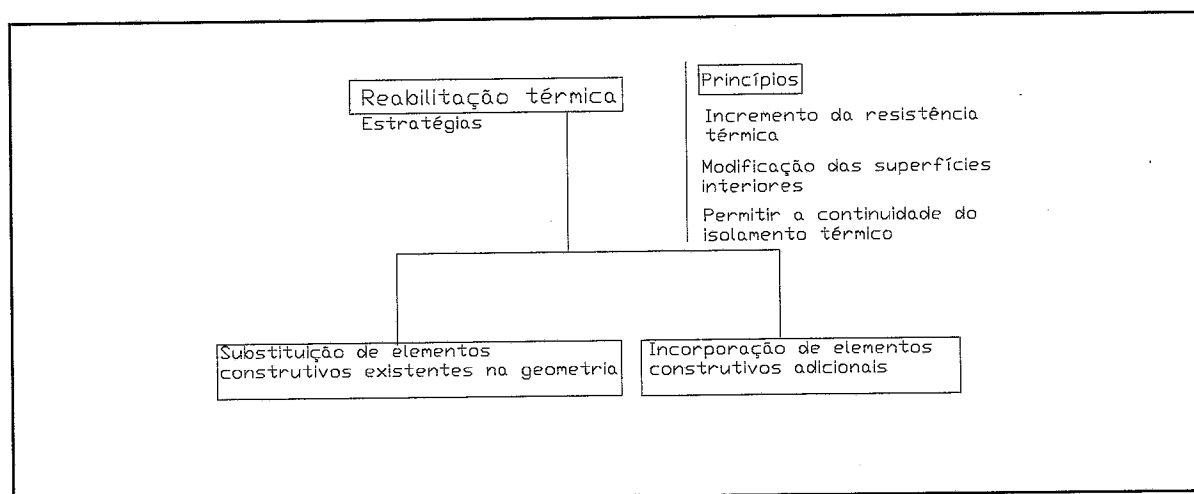


Figura 4.2 - Estratégias para a intervenção de reabilitação térmica

É vantajoso utilizar materiais de isolamento térmico para atenuar com mais eficácia a heterogeneidade e com menos espessura de correcção. Em situações menos gravosas a aplicação de materiais menos resistentes termicamente, não necessariamente com características de isolantes térmicos, pode ser suficiente para atenuar os efeitos da ponte térmica.

A reabilitação térmica pode ser realizada pelo exterior ou pelo interior. Pelo exterior implica modificação do aspecto da fachada, a utilização de andaimes e um custo elevado. A reabilitação pelo interior pode ser levada a cabo individualmente pelo proprietário do espaço interior onde se verificam as anomalias mas diminui o espaço útil interior e condiciona o acabamento do revestimento interior.

Verificou-se que, relativamente à espessura do isolante a aplicar, a mesma não deve ser muito grande para que não introduza maiores heterogeneidades e retire demasiado espaço útil mas também não deve ser muito pequena para que garanta alguma eficácia [3].

Outra questão importante relaciona-se com a extensão de reabilitação a realizar. Nas zonas correntes da envolvente, as linhas de fluxo que a atravessam fazem-no perpendicularmente, criando um fluxo unidireccional. Em zona de ponte térmica, as linhas de fluxo da zona corrente adjacente tendem a curvar-se ou distorcer-se, porque procuram e encontram nessa zona maior facilidade de desenvolvimento e o sentido das linhas de fluxo passa a ser distorcido e tem componentes bi ou tridimensionais. Desta forma, o efeito da ponte térmica faz-se sentir numa extensão maior que a extensão real da descontinuidade, ou seja, as distorções de fluxo abrangem a zona adjacente à ponte térmica, em zona de constituição corrente. Esta extensão varia conforme as características dos materiais da ponte térmica e da maior ou menor heterogeneidade entre o material da zona de ponte térmica e da zona corrente [16]. Quanto maior a heterogeneidade entre a ponte térmica e a zona corrente, maior tendência terão as linhas de fluxo da zona a escapar pela ponte e mais extensa a influência da mesma. *Gonzalez e Frutos* [16] falam em dois tipos de influência da ponte térmica sobre a zona de alvenaria onde se encontra. A zona afectada é a zona onde a temperatura superficial interior (t_{si}) é inferior à temperatura superficial que teria pela sua resistência térmica real. A zona de influência directa é a zona onde, para além de se poder verificar a mesma condição que para a anterior zona, possui ainda um coeficiente de heterogeneidade (4.2) igual ou maior a 2,0 (para fachadas pesadas – mais de 200 Kg/m²). Este coeficiente de heterogeneidade é calculado através da expressão:

$$Fh = \frac{t_i - t_{sip}}{t_i - t_{si}} \quad (4.2)$$

em que:

t_i é a temperatura do ambiente interior, em °C;

t_{sip} é a temperatura superficial interior na zona de ponte térmica, em °C;

t_{si} é a temperatura superficial interior em zona corrente, em °C;

A zona de influência directa define a dimensão virtual da ponte térmica (L_v) e indica o comprimento que deve ter a correcção a realizar para resolver os efeitos da ponte térmica [16] (Figura 4.3).

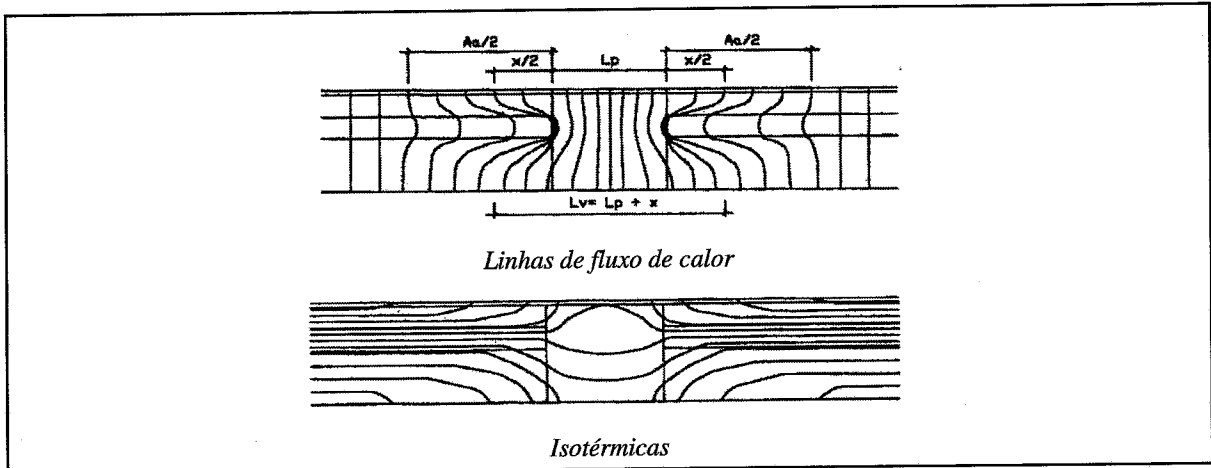


Figura 4.3 - Características da ponte térmica com pilar em zona corrente de alvenaria [16]

Também a norma ISO 6946 que se aplica a pontes térmica planas, aquelas que estão contidas entre dois planos paralelos, indica uma forma de estimar a zona de influência da ponte térmica, que é dada pelo máximo dos dois valores seguintes:

$$a_i = 2\sqrt{d_i \frac{\lambda_i}{h_i}} \quad (4.3)$$

$$a_e = 2\sqrt{d_e \frac{\lambda_e}{h_e}} \quad (4.4)$$

sendo:

d_i é a espessura da camada adjacente ao ambiente interior, seja ela constituída pelo material de isolamento ou pelo material da parte corrente da parede, em m;

λ_i é a condutibilidade térmica do material da camada de espessura d_i , em W/m °C;

d_e é a espessura da camada adjacente ao ambiente exterior;

λ_e é a condutibilidade térmica da camada de espessura d_e , em W/m °C;

h_i é a condutância térmica superficial interior, em W/m² °C;

h_e é a condutância térmica superficial exterior, em W/m² °C.

Para pontes térmicas não planas não são apresentados, na documentação de referência, valores da largura de influência, mas apenas valores para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica.

Sendo assim, revela-se importante proceder à reabilitação térmica destes pontos abrangendo um comprimento adicional para além da zona de ponte térmica, que cubra a zona de influência da

mesma. Este prolongamento deve ser o suficiente, caso contrário, pode levar a uma translação desse problema para a zona imediatamente após a finalização brusca da correcção, tal como é referenciado em [30] e visualizada na Figura 4.4.

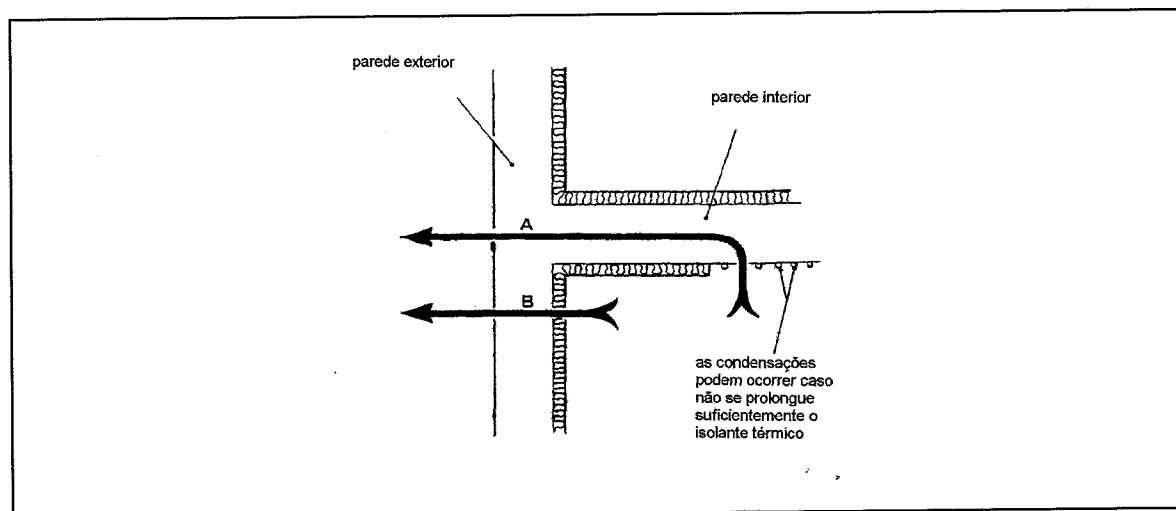


Figura 4.4 - Existência de condensações em zona localizada, pelo insuficiente prolongamento da correcção em zona de ponte térmica [30]

4.6.3 SISTEMAS PARA REFORÇO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA E RESOLUÇÃO ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES DE CORRECÇÃO TÉRMICA

Em face da estratégia já referida para reabilitação térmica, de reforçar a resistência térmica da zona, é necessário procurar sistemas existentes no mercado que o permitam fazer de forma que incluam a protecção e o acabamento para solução.

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior são constituídos por um isolante térmico e um revestimento de protecção. Estão implementadas no mercado português três grandes famílias:

- Revestimentos armados directamente aplicados sobre o isolante térmico;
- Revestimentos descontínuos e independentes fixados directamente ao suporte ou através de uma estrutura intermédia;
- Painéis pré-fabricados constituídos por isolamento térmico e revestimento fixos directamente ao suporte.

A qualquer um destes sistemas se pode recorrer para realizar reabilitações térmicas pelo exterior, desde que enquadradas na arquitectura de fachada existente e desde que dada atenção especial às zonas de interface entre o sistema e a restante fachada.

Alguns autores referem [31] que o sistema de isolamento pelo interior deve ser utilizado quando nenhuma das outras técnicas é aplicável. Estes sistemas têm como vantagem o facto de serem de fácil execução e não precisarem de andaimes para colocação. Como desvantagens a perda de espaço útil e o maior risco de ocorrência de condensações na interface isolante pano parede. A disposição de uma barreira pára-vapor na face quente do isolante térmico resolve normalmente este problema. Apesar das desvantagens existentes, sobretudo quando usado de forma generalizada, este sistema pode constituir uma possível solução de reforço pontual da resistência térmica.

Existem diversos sistemas de isolamento pelo interior: os que introduzem o revestimento em estado fresco e os que o introduzem em estado seco [31]. Como exemplo dos primeiros, podem referir-se: as placas de isolante térmico colado ao suporte e revestidas com argamassas especiais, e a duplicação da parede e incorporação de um isolante térmico entre esta e o suporte inicial. Relativamente aos segundos, podem referir-se: os isolantes térmicos colados às superfícies e revestidos com painéis diversos e os painéis pré-fabricados que incluem o material isolante térmico e o revestimento.

Os painéis podem ser de diversos materiais, tais como: forros em madeira para paredes e tectos (Figura 4.5); painéis de cortiça ou aglomerados; e painéis em PVC. São colados ou aplicados sobre uma estrutura intermédia. Em certas geometrias pouco gravosas a aplicação simplesmente destes revestimentos (sem isolante térmico) pode atenuar satisfatoriamente o problema, já que estes materiais possuem condutibilidades térmicas reduzidas. Por exemplo, a condutibilidade térmica das madeiras ronda os 0,12 e os 0,23W/m °C [32].

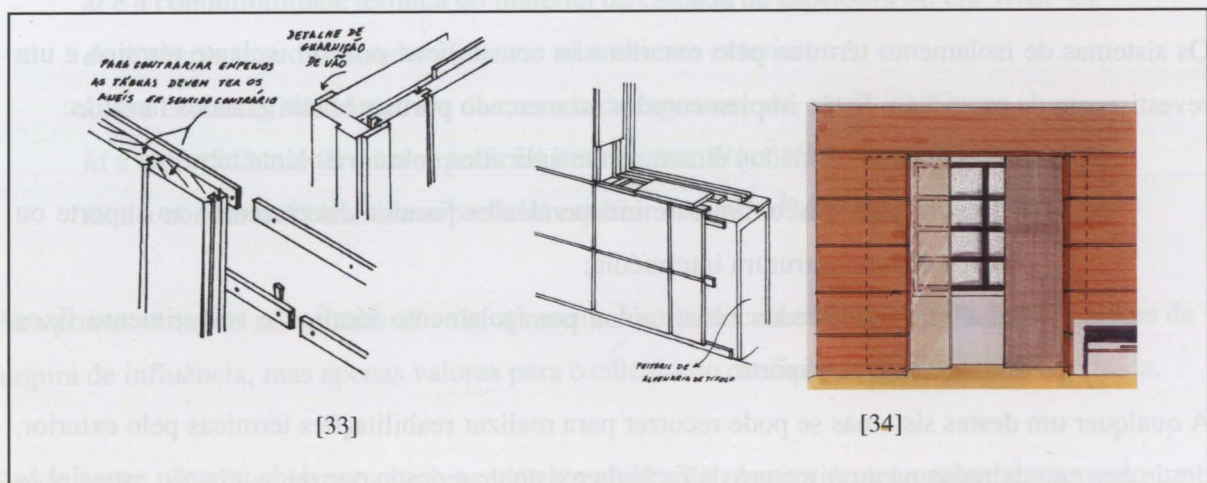


Figura 4.5 – Exemplo de alguns sistemas de forro de madeira aplicado sobre estrutura intermédia

Os painéis de cortiça são utilizados como material de isolamento térmico e também acústico, mas também podem ser utilizados como revestimentos decorativos pelo interior. Os elementos em PVC são sistemas que estão agora a iniciar uma implementação no mercado e ainda não têm grande expressão na indústria de construção portuguesa. O PVC apresenta um coeficiente de condutibilidade de $0,20\text{W/m } ^\circ\text{C}$ [32].

Os painéis prefabricados que incluem o isolante térmico trazem mais vantagens pela sua versatilidade e fácil aplicação. São constituídos por placas de gesso cartonado, com espessuras entre os 10 mm e os 20 mm, coladas a um isolante térmico, normalmente poliestireno extrudido ou fibra de vidro, em painel semi-rígido, com espessuras entre os 0,20 e 0,50m. A fixação ao suporte pode realizar-se através de: fixação directa, semi-directa e autoportante. O sistema directo consiste em aplicar a placa directamente ao suporte com uma pasta de fixação, aplicada em pontos (Figura 4.6). O sistema de apoio semi-directo consiste em fixar as placas a uma estrutura metálica ou de madeira, previamente fixada ao suporte (Figura 4.6). O sistema de fixação autoportante introduz uma caixa-de-ar e deixa separado fisicamente o suporte e a placa, criando uma estrutura autoportante, constituída por perfis metálicos, independentes do suporte, fixada ao pavimento e ao tecto (Figura 4.6). Neste sistema, o isolante térmico tem que ser rígido para poder ser fixado mecanicamente à estrutura.

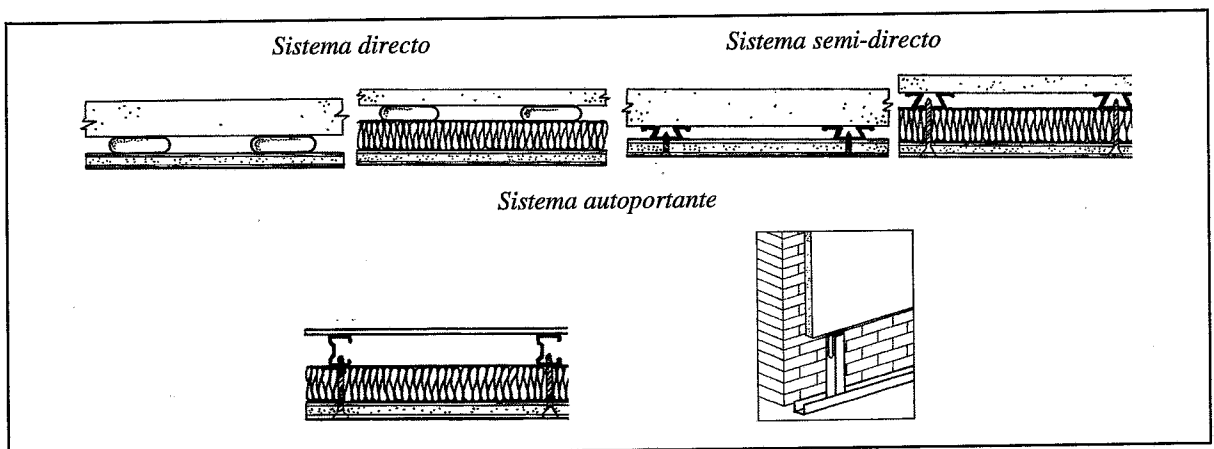


Figura 4.6 - Sistemas de isolamento pelo interior com placas prefabricadas de gesso cartonado com isolante térmico[35]

Hoje em dia, são utilizadas em decoração, muitas disposições arquitectónicas que podem ser muito vantajosas na resolução dos problemas estéticos inerentes à realização de correcções

térmicas pelo interior, principalmente quando se realiza isolamento parcial pelo interior. Talvez haja, logo à partida alguma renitência em realizar isolamentos parciais pois, esteticamente, dão origem a irregularidades na planeza das superfícies interiores em pontos localizados da superfície interior da envolvente exterior. Para provar que é perfeitamente possível enquadrar estas correcções na decoração do espaço interior, foi realizada uma recolha em publicações da especialidade, de algumas soluções decorativas correntemente realizadas e que, não sendo, normalmente concebidas para ocultar correcções térmicas, podem desempenhar essa função. Essa recolha é apresentada à medida que se vão tratando as várias propostas de reabilitação térmica.

4.6.4 FERRAMENTAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA

Como se pretende avaliar o maior ou menor risco de ocorrência de condensações superficiais interiores, o objectivo da simulação centrou-se basicamente na obtenção da distribuição de temperaturas superficiais interiores nas zonas em estudo, não deixando, no entanto, de ser também de relativa importância, a quantificação das perdas térmicas associadas às pontes térmicas, a desenvolver num estudo de âmbito mais energético.

A avaliação foi realizada através de simulação numérica com recurso ao cálculo automático, com a utilização de dois programas de cálculo. O primeiro, denominado *Kobra*, está associado a uma base de dados e resultante de um projecto europeu *Eurokobra*. Este programa possui uma base de dados com diversas situações de ponte térmica e fornece os valores necessários à caracterização térmica, bem como uma visualização gráfica da distribuição de temperaturas e linhas de fluxo. Pensou-se utilizar este programa na realização da simulação numérica das soluções de reabilitação, no entanto, este apresenta a limitação de apenas permitir a modificação da geometria em zona específicas que não têm cabimento nas propostas pretendidas.

Para avaliar as propostas foi utilizado o software *Conduc* concebido, desenvolvido em trabalhos anteriores nesta área. Este programa aplica o método das diferenças finitas a geometrias bidimensionais, em regime permanente ou variável. A definição do programa, a ficha de introdução de dados e o ficheiro de resultados encontram-se disponíveis em [3].

Para o cálculo da distribuição de temperaturas na superfície, foram utilizados os valores referidos no Quadro 4.5:

QUADRO 4.5 – Valores da condutância térmica superficial adoptados no cálculo numérico, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

[3]

<i>Situação Do Elemento</i>	<i>Perda térmica</i>	<i>Objectivo Do Cálculo</i>	
		<i>Temperaturas Superficiais</i>	
Superfícies verticais interiores	8,33	Metade superior dos compartimentos junto a ligações horizontais (1)	4,00
		Metade inferior dos compartimentos junto a ligações horizontais	2,90
		Zona corrente de parede com pilar	5,00
Superfícies horizontais interiores	10,00	Fluxo ascendente	4,00
		Fluxo descendente	2,90
Superfícies horizontais e verticais exteriores	25,00	25,00	

(1) No cálculo das temperaturas superficiais de ligações verticais, que se desenvolvem ao longo do pé-direito, considerou-se o valor de $4.00 W/m^2 \cdot ^\circ C$, a toda a altura.

A única característica necessária ao cálculo em regime permanente é a condutibilidade térmica dos materiais envolvidos. No caso de materiais homogéneos os valores foram retirados de tabelas do *LNEC* [41]. No caso dos materiais heterogéneos, foi considerada uma condutibilidade térmica equivalente, que se obteve através do quociente entre a resistência térmica, valores convencionais e a espessura adoptada, tal como recomenda a *Norma EN ISO 10211*.

Os valores da condutibilidade térmica utilizados para os diferentes materiais simulados mostram-se no Quadro 4.6.

QUADRO 4.6 - Condutibilidade térmica dos diferentes materiais considerados na simulação numérica, W/m °C [32]

<i>Material</i>	<i>Condutibilidade Térmica Equivalente (W/m °C)</i>	
Alumínio	230,000	
Betão normal	1,750	
Gesso	0,350	
Madeira	0,230-0,120	
PVC	0,20	
Pedra	3,000	
Reboco de cimento	1,150	
Tijolo cerâmico furado (cm)	7	0,467
	11	0,524
	15	0,484
	22	0,478
Tijolo maciço ou perfurado	1,150	
Forra de correcção de 3cm	0,500	
Isolante térmico (valor médio)	0,040	
Caixa-de-ar (mm)	50	0,471

4.6.5 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS UTILIZADAS NAS PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA

As intervenções de melhoria térmica incidem nas geometrias que nunca tenham tido alguma correcção térmica e nas que já sofreram intervenções anteriores e que não resolveram o problema da ponte térmica.

São apenas simulados os esquemas simplificados de princípio, sendo que a introdução de quaisquer elementos de revestimento ou decorativos conduzirá, necessariamente, a uma melhoria da situação da ponte térmica.

Foram considerados os sistemas de isolamento na caixa-de-ar e pelo interior, visto serem estes os que propiciam maiores anomalias nas zonas de ponte térmica. A utilização de sistema de isolamento pelo exterior conduz a pontes térmicas pouco significativas que não justificam, na maioria dos casos, correcção térmica, excepto quando a espessura de isolamento térmico for reduzida e houver uma interrupção desse mesmo isolamento. Nesses casos, a metodologia mais favorável a adoptar será reforçar o isolamento térmico pelo exterior, global ou pontualmente e

também proceder ao prolongamento na zona de interrupção. Não foram consideradas situações de envolvente sem isolamento, visto que, nestes casos, a resolução do problema passará, necessariamente pela aplicação de isolamento térmico na totalidade da envolvente.

Para o sistema de isolamento na caixa-de-ar, optou-se por dois tipos de fachada a apresentar:

- Parede dupla de tijolo cerâmico furado 15+11cm confinada ou não pela estrutura resistente de betão armado;
- Parede dupla de tijolo de face à vista e tijolo furado 11+15cm em estrutura resistente de betão armado.

Com isolante térmico pelo interior, simulou-se o tipo de parede simples de tijolo cerâmico furado de 22cm de espessura. A Figura 4.7 apresenta essas soluções.

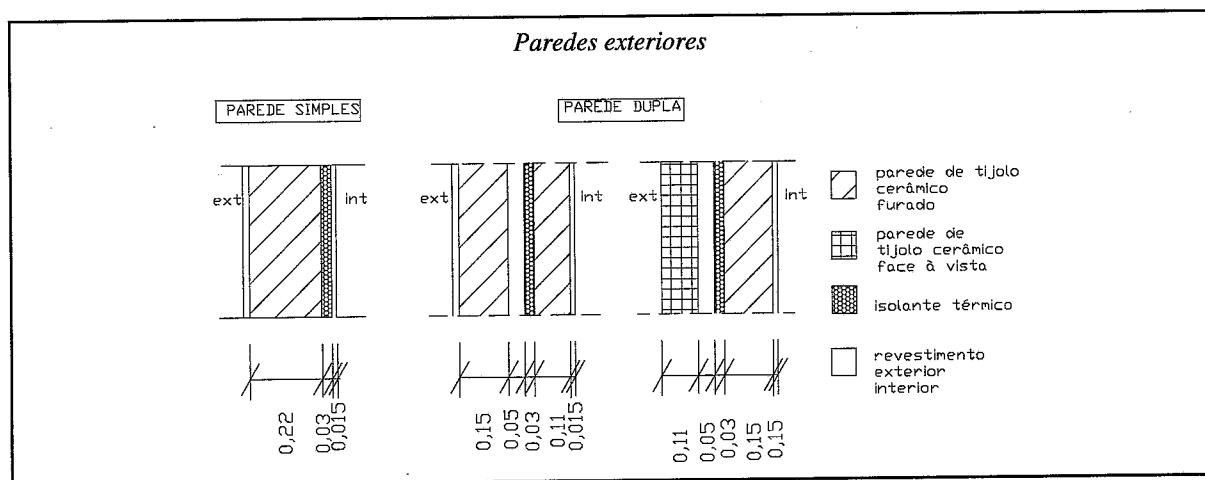


Figura 4.7 – Soluções construtivas de parede exterior consideradas no cálculo numérico

As lajes de cobertura em terraço têm a seguinte constituição padrão:

- Laje de betão armado de 0,20 m de espessura;
- Camada de forma em betão leve com altura média de 0,05 m;
- Isolante térmico com 0,05 m de espessura;
- Camada de betonilha de 0,03 m.

Todos os outros constituintes das lajes de cobertura não foram considerados por não serem do ponto de vista térmico relevantes para o resultado final. Não foram consideradas coberturas não isoladas, pois como é uma imposição do *RCCTE*, quando não exista é recomendável fazer, antes de ser realizada uma correcção de ponte térmica, o isolamento da laje (Figura 4.7).

Quanto às lajes de pavimento sobre espaços exteriores adoptou-se uma espessura de 0,20 m e uma camada de betonilha de regularização de 0,05 m de espessura, em argamassa de cimento. Quanto ao revestimento final não foi adoptada nenhuma camada já que a diversidade de revestimentos pode ser numerosa (Figura 4.8).

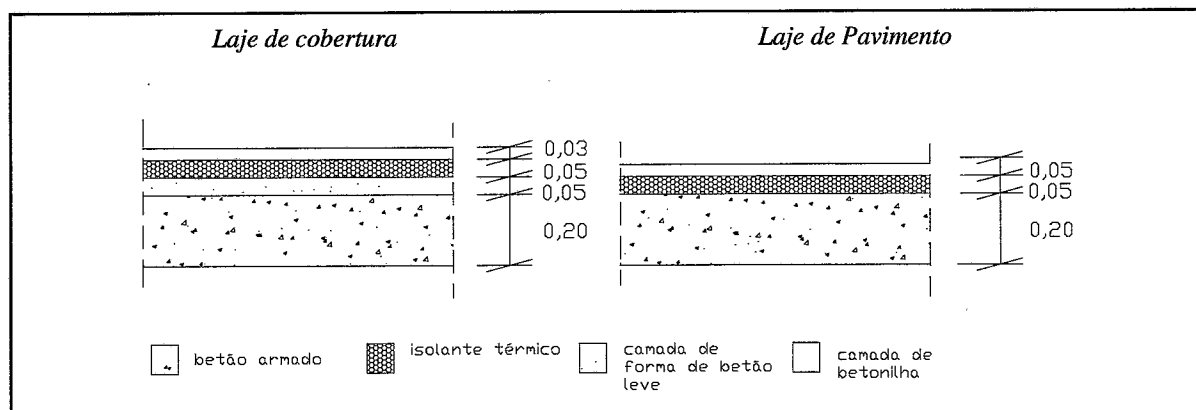


Figura 4.8 - Soluções construtivas da laje de cobertura e da laje de pavimento utilizada no cálculo numérico

A legenda de materiais utilizados nas propostas de reabilitação térmica apresenta-se na Figura 4.9.

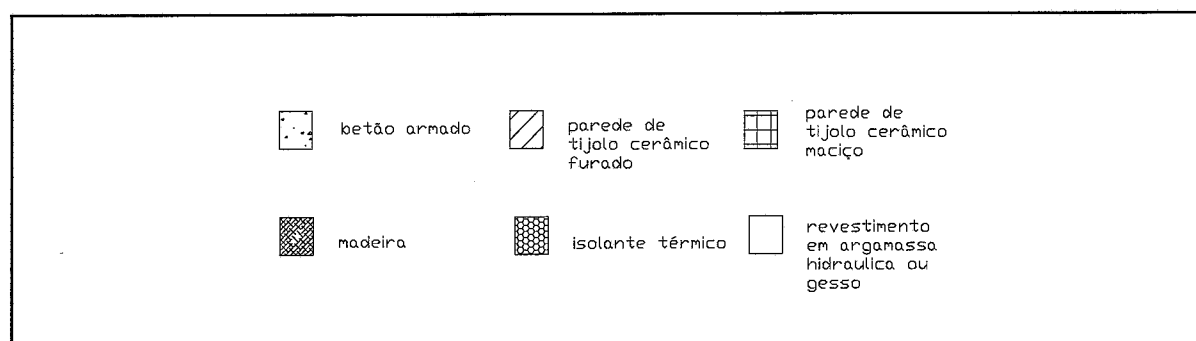


Figura 4.9 - Legenda dos materiais utilizados nas soluções apresentadas

Em [3] foram realizados estudos de sensibilidade dos resultados face à variação das dimensões dos elementos estruturais, que é informação vantajosa para este trabalho. É com base nestes resultados que foram escolhidas as dimensões dos elementos construtivos utilizadas nas soluções realizadas neste trabalho e que são apresentadas seguidamente.

Em zona de cunhal com pilar, apenas tem influência a existência ou não do prolongamento para além do canto, sendo a dimensão deste prolongamento pouco influente, quer na perda térmica quer no valor do τ . O valor utilizado do prolongamento do pilar para além da espessura da parede foi de 0,15 m.

A variação da altura das vigas tem pouca influência nos valores dos resultados. A altura das vigas utilizada foi de 0,30 m abaixo do nível inferior da laje.

No que respeita à espessura da laje e relativamente ao valor de τ verificou-se que, para a ligação entre a parede exterior e a laje de nível intermédio, este valor aumenta com o aumento da espessura da laje. Nas outras ligações os valores finais são pouco influenciados pela variação deste parâmetro. Foram considerados valores de 0,20 m para a laje de cobertura e 0,25 m para as lajes intermédias, pois são valores representativos das dimensões utilizadas habitualmente.

Também relativamente à platibanda chegou-se à conclusão que o aumento da sua espessura agrava os valores da perda térmica e do factor de temperatura superficial. Foi fixado um valor de 0,15 m de espessura para a platibanda.

O revestimento interior considerado na generalidade das geometrias foi o reboco hidráulico. Contudo, no caso do isolamento pelo interior o revestimento considerado foi o gesso, já que representa os sistemas habitualmente existentes no mercado e aplicados na nossa construção.

4.7 PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES EXTERIORES

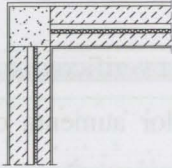
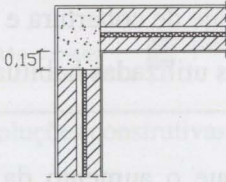
4.7.1 GEOMETRIAS SEM FORRA CERÂMICA

4.7.1.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

É uma das ligações onde as anomalias são mais evidentes, o que se pode verificar pelo valor máximo atingido pelo coeficiente de temperatura superficial das várias situações simuladas em [3]. Os problemas mais acentuados surgem em paredes duplas confinadas na estrutura de betão armado com isolamento na caixa-de-ar. Primeiro, porque existe necessariamente uma descontinuidade no isolamento, depois, porque existe um elemento de resistência térmica baixa

na zona mais crítica, o elemento estrutural. Veja-se no Quadro 4.7 exemplos de valores do τ máximo para algumas situações.

QUADRO 4.7 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre duas paredes exteriores [3]

Geometria	τ máximo	
	Isolamento Parede 2cm	Isolamento Parede 5cm
	0,47	0,45
	0,55	0,54

Quando o elemento resistente é prolongado, as condições são mais problemáticas (geometria B). Verifica-se que o aumento da espessura do isolante na caixa-de-ar não tem muita influência nos resultados finais. A título ilustrativo, vejam-se na Figura 4.10 os gráficos representativos das isotérmicas e das linhas de fluxo para as duas situações do Quadro 4.7 (geometria A e B), com uma espessura de isolante térmico de 3cm na caixa-de-ar.

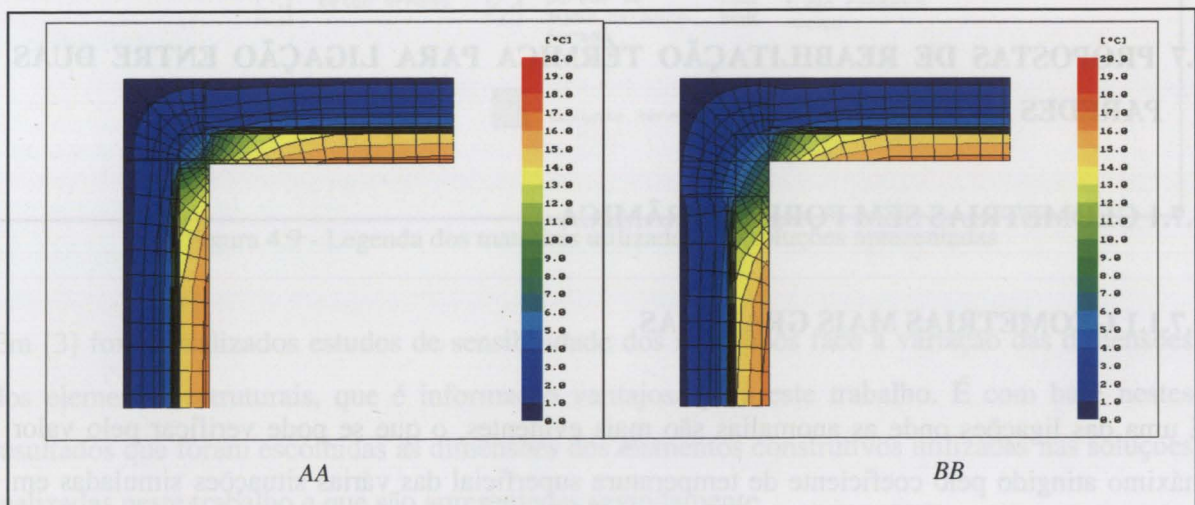


Figura 4.10 - Diagrama de isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre duas paredes exteriores com isolante térmico na caixa de ar (Programa Kobra)

4.7.1.2 SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS AA E BB

A primeira tentativa de correcção consiste em dar continuidade ao isolamento térmico da zona corrente, visto que a continuidade garante bons resultados.

Como já foi referido em 4.5, pode adoptar-se a estratégia de acompanhar a curvatura das isotérmicas com o paramento interior da ligação. A reabilitação pode passar pelo corte da aresta interior. Após análise dos diagramas de isotérmicas, propõe-se a simulação de uma cunha com as dimensões de 0,20 m, a partir do limite do elemento estrutural (Quadro 4.8)

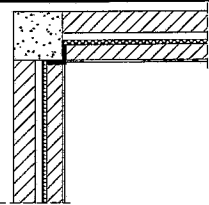
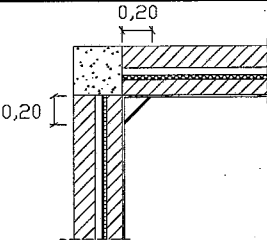
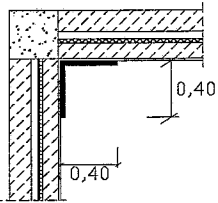
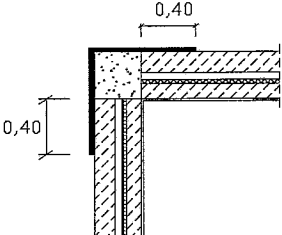
Como nesta zona os efeitos negativos da ponte térmica se fazem-se sentir com alguma intensidade, considera-se poder também utilizar-se como estratégia a adopção de materiais isolantes térmicos, pela sua maior eficácia no incremento da resistência térmica com recurso a espessuras reduzidas. Desta forma, garante-se uma menor diminuição do espaço útil interior, quando a correcção é realizada pelo interior e um melhor disfarce da correcção quando esta é realizada pelo exterior.

Em [3] foram apurados comprimentos de correcção e com base nesta informação propõe-se um prolongamento mínimo a dar à correcção térmica de 0,40 m.

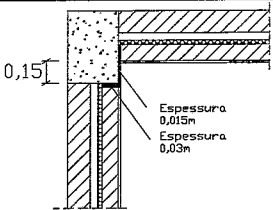
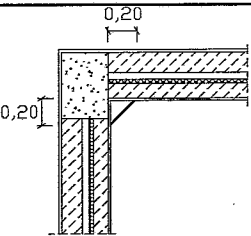
Quanto à espessura de isolante da correcção, há que pensar que se for demasiado espessa pode criar maior descontinuidade, se for demasiado fina, pode ser insuficiente. Verificou-se, em [3], que para esta geometria é necessário uma espessura de isolante maior no isolamento pelo exterior do que pelo interior para que se verifiquem valores satisfatórios de $\tau_{\text{máximo}}$. No isolamento pelo exterior são necessárias espessuras, pelo menos, acima dos 0,04 m para obtermos valores dentro do muito bom. Optou-se, assim, para a correcção pelo interior, pela utilização de uma espessura de 0,03 m, e para o exterior, o valor mínimo de 0,05 m.

Os Quadros 4.8 e 4.9 apresentam o esquema de princípio de soluções de correcção térmica.

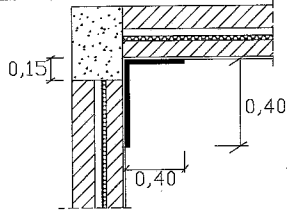
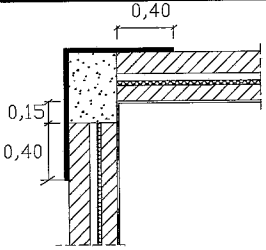
QUADRO 4.8 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria AA

Representação Esquemática Da Solução	Espessura De Correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
		0,26
	0,03	0,28
	0,03	0,27
	0,05	0,32

QUADRO 4.9 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria AB

Representação Esquemática Da Solução	Espessura De Correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
	0,03 / 0,015	0,35
	-	0,39

QUADRO 4.9 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a geometria AB –
Continuação

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura De Correção (m)</i>	<i>τ máximo</i>
<p>AB3</p>  <p>.....</p>	0,03	0,30
<p>AB4</p> 	0,05	0,36

4.7.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As propostas de correção para as geometrias AA produzem bons resultados. As geometrias AB são sem dúvida mais problemáticas e requerem uma espessura um pouco mais reforçada de isolante térmico. A solução AB4 necessita de espessuras bastante elevadas.

A solução do canto apresenta bons resultados em geometrias com pilar quadrado (solução AA2). Dos resultados da simulação da geometria AB2, pode referir-se que, neste caso, possui dimensões insuficientes para esse caso concreto. No entanto, este canto não poderá ser muito grande sob pena de retirar muito espaço útil.

As correções pelo exterior requerem espessuras acima dos 0,05 m.

4.7.1.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES AA1 E AB1

As soluções AA1 e AB1 são realizáveis pelo interior e implicam a demolição de uma zona superior do pano interior ao longo da ligação para introdução do isolante térmico. A demolição deve ser levada a cabo com algumas precauções para não danificar o isolante existente na caixa-de-ar e para que não caiam desperdícios para dentro da caixa de ar. A execução deste tipo de

solução pode ser delicada e os custos da realização podem ser elevados. A colocação da placa de isolante térmico cria um destacamento da correcção, que pode ser disfarçado de formas diversas.

4.7.1.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES AA2 E AB2

Para as soluções AA2 e AB2 propõe-se a realização do canto com placas de gesso cartonado, criando uma caixa-de-ar não ventilada no interior (Figura 4.11). Estas placas deverão ser aplicadas a um estrutura intermédia que por sua vez é fixada à parede ou ao pavimento e ao tecto.

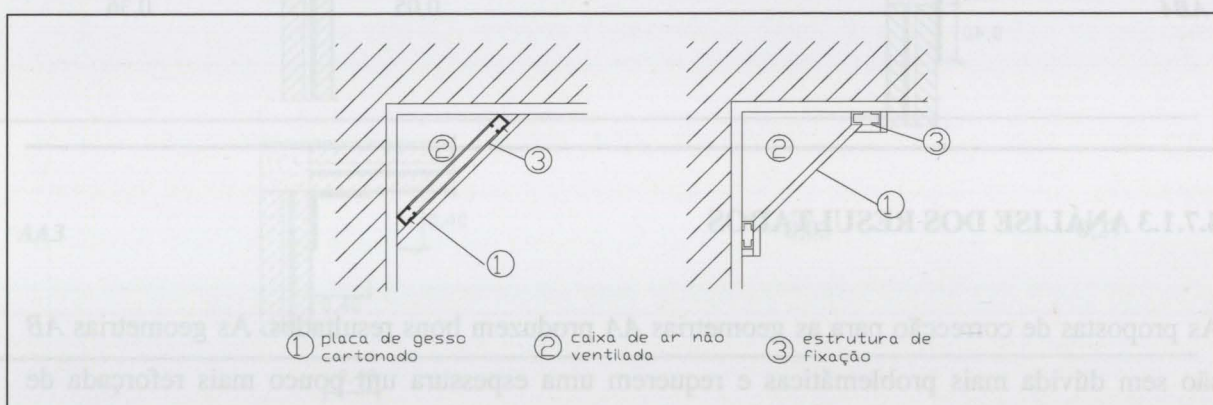


Figura 4.11 - Pormenor de duas possíveis correcções térmicas com canto constituído por placas de gesso cartonado

A utilização de cores diferenciadas possibilita o enquadramento estético para a solução de corte da aresta viva da ligação entre paredes ou qualquer outra solução de correcção térmica na zona de canto (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Efeito estético possível de correcção térmica com zona de canto e recurso a tintas diferenciadas na zona de ligação de duas paredes [36]

4.7.1.6 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES AA3 E AB3

As soluções AA3 e AB3 requerem a fixação de um isolante térmico. Interessa pensar na resolução construtiva desta solução que pode ser abordada utilizando um sistema integrado de isolamento pelo interior, que incluiu o acabamento final; ou utilizando o isolante térmico e uma solução independente de disfarce da correcção térmica.

Na primeira situação refira-se o sistema de placas de gesso cartonado com incorporação de um isolante térmico, pela sua facilidade de aplicação (Figura 4.13).

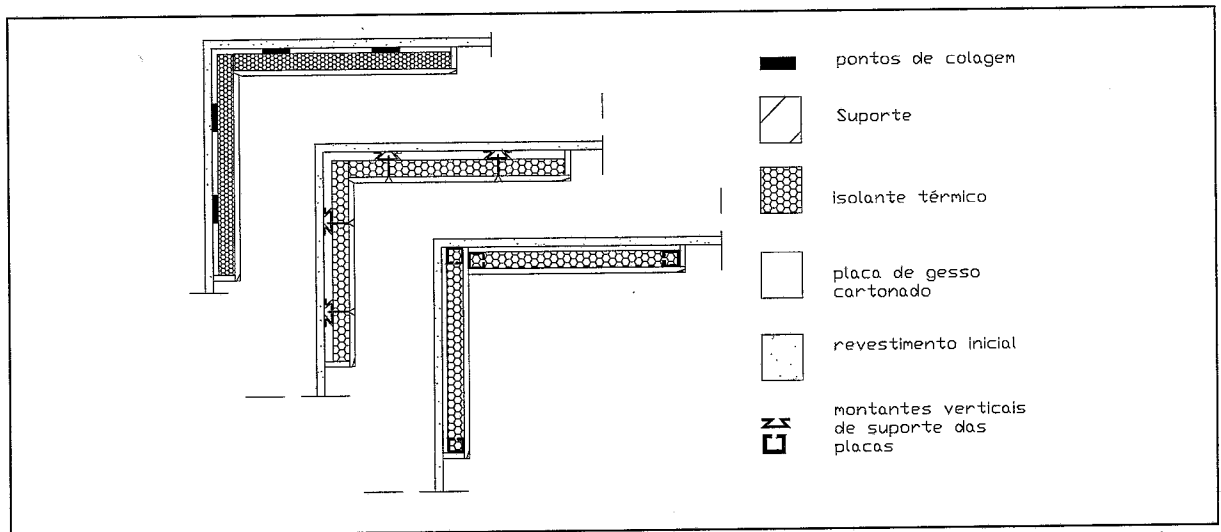


Figura 4.13 - Pormenor da reabilitação térmica pontual com placas de gesso cartonado com três dos sistemas de fixação possíveis

Não esquecer que é recomendável que o isolamento pelo interior deva incorporar uma barreira pára-vapor na face quente, para evitar condensações internas. Normalmente, o sistema referido já possui a opção que incorpora esta camada.

Esta solução cria uma superfície saliente no paramento interior, que pode ser aceitável se o acabamento se enquadrar com o acabamento da restante superfície (Figura 4.14).

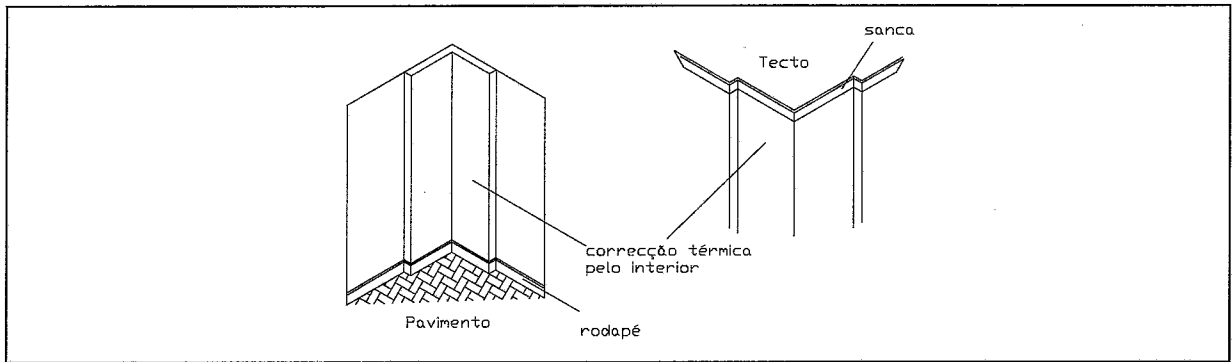


Figura 4.14 - Aspecto exterior de correção pontual de ponte térmica pelo interior com isolamento térmico

Outra forma de intervenção será colar os painéis de isolante térmico e disfarçar com um elemento à parte, por exemplo, um pilar fictício que pode servir como suporte para uma estante ou outro mobiliário. Este pilar pode ser realizado com o sistema de placas de gesso cartonado com fixação autoportante ou pode ser realizado em alvenaria de tijolo cerâmico (Figura 4.15).

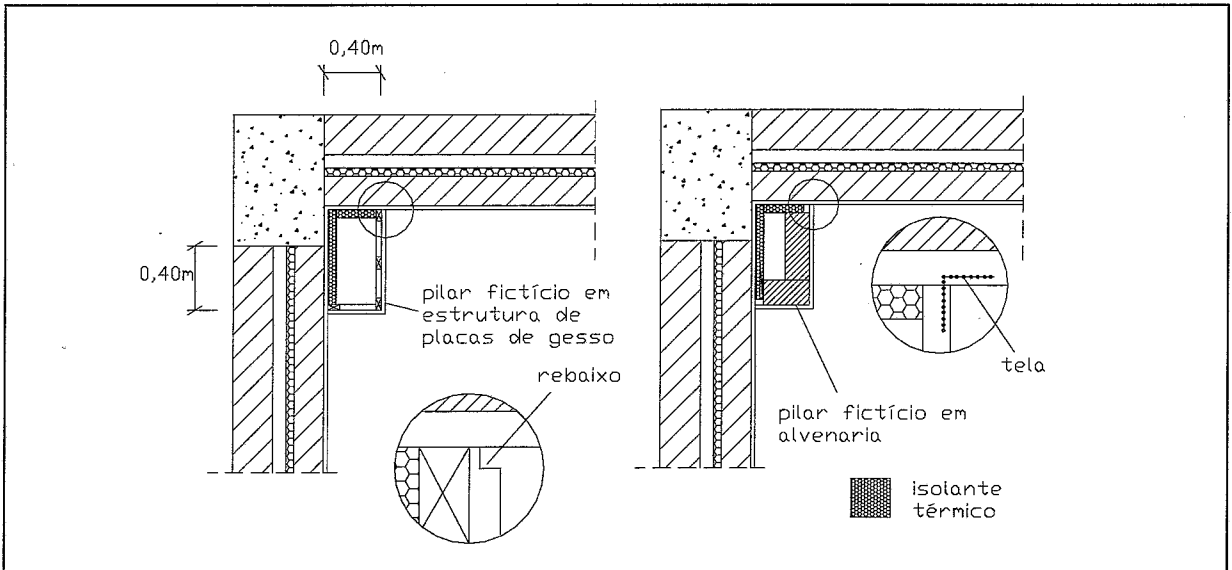


Figura 4.15 – Pormenorização e perspectiva de disfarce da correção pelo interior com pilar fictício

Foram encontrados em revistas da especialidade alguns exemplos de possíveis acabamentos para as correções térmicas apresentadas (Figura 4.16).



Figura 4.16 – Efeito estético possível com recurso a pilares fictícios para zona de ligação entre duas paredes [37]

4.7.1.7 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DA SOLUÇÃO AA4 E AB4

A realização de correcções do tipo AA4 e AB4 implica a utilização de sistemas de isolamento pelo exterior, aplicados parcialmente na fachada. Os sistemas de revestimento descontínuo e independente sobre isolante térmico e os painéis prefabricados isolante térmico/revestimento são os que trazem mais vantagens na realização deste tipo de correcção pontual, visto que permitem alguma liberdade de deformações do revestimento em relação ao suporte (Figura 4.17 e 4.18).

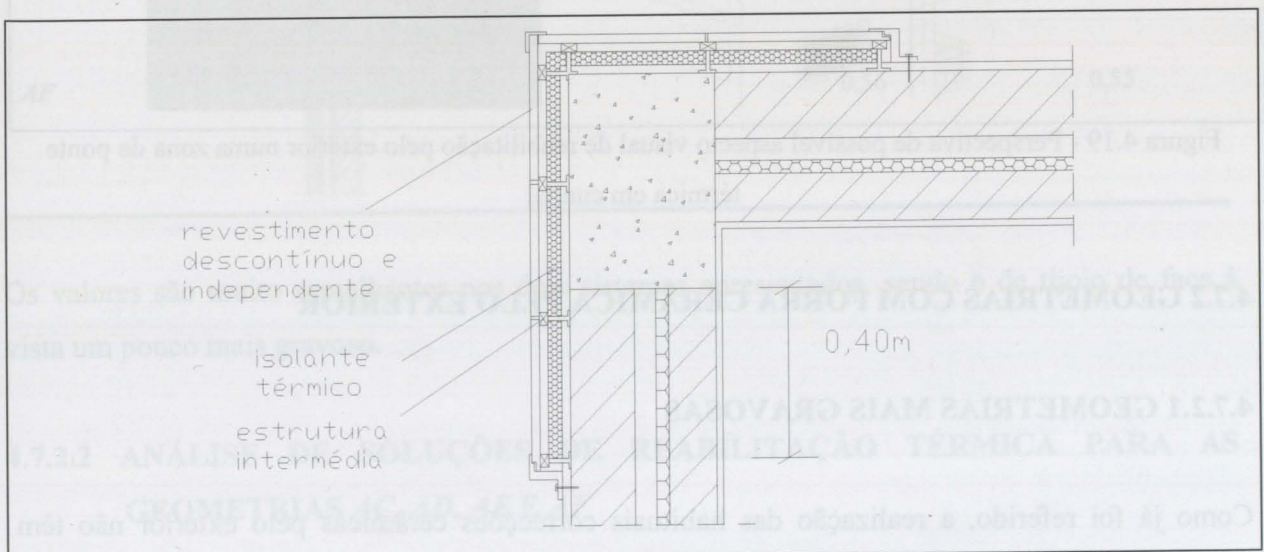


Figura 4.17 – Pormenor de correcção térmica pontual pelo exterior com revestimento descontínuo em placas

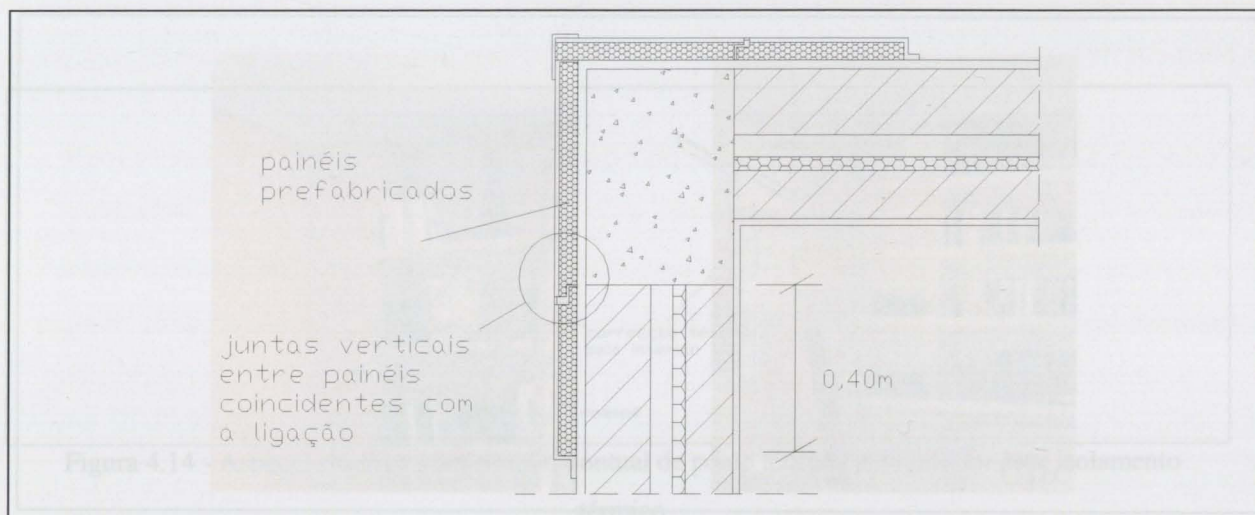


Figura 4.18 – Pormenor de correcção térmica pontual pelo exterior com placas prefabricadas incluindo o isolante térmico

A solução de reabilitação pelo exterior implica uma modificação do aspecto exterior da fachada. Implica a apreciação e ponderação cuidada sobre as modificações que implica realizar. Se bem enquadrada, esta solução poderá não ferir a arquitectura de fachada inicial (Figura 4.19).

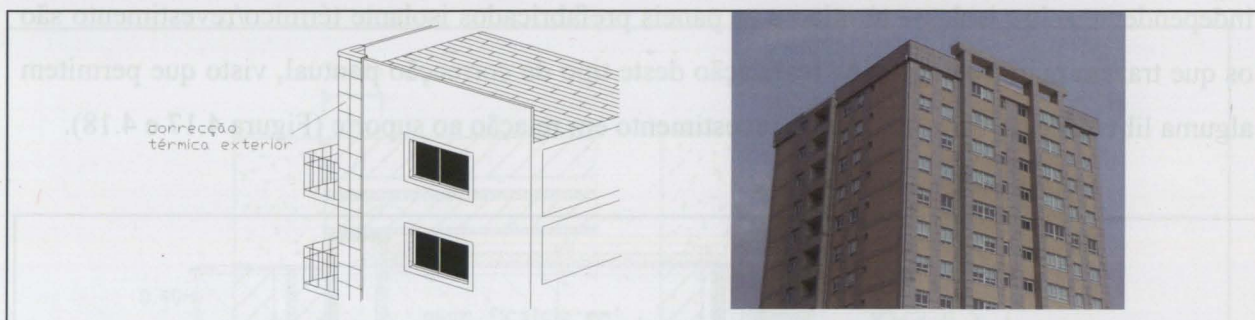


Figura 4.19 - Perspectiva de possível aspecto visual de reabilitação pelo exterior numa zona de ponte térmica em cunhal

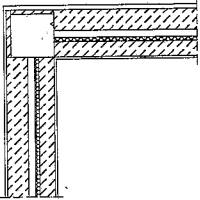
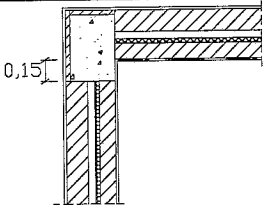
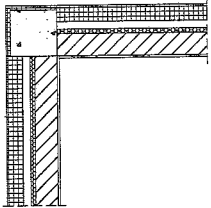
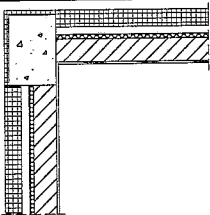
4.7.2 GEOMETRIAS COM FORRA CERÂMICA PELO EXTERIOR

4.7.2.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

Como já foi referido, a realização das habituais correcções cerâmicas pelo exterior não têm incrementado melhores desempenhos térmicos para as zonas de ponte térmica, nem evitado a ocorrência de condensações (Ponto 4.4). As correcções pelo interior, dupla ou simples, têm alguns efeitos positivos, mas também não são totalmente eficazes. Nos sistemas de fachada de

tijolo de face à vista onde existe um envolvimento dos elementos estruturais com forra cerâmica, os resultados, em termos de comportamento térmico, também não são muito animadores para evitar as pontes térmicas (Quadro 4.10).

QUADRO 4.10 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre duas paredes com forra cerâmica simples[3]

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>	
	<i>Isolamento 2cm</i>	<i>Isolamento 5cm</i>
<p><i>AC</i></p> 	0,46	0,44
<p><i>AD</i></p> 	0,53	0,52
<p><i>AE</i></p> 	0,47	0,45
<p><i>AF</i></p> 	0,56	0,55

Os valores são muito semelhantes nos dois sistemas apresentados, sendo o de tijolo de face à vista um pouco mais gravoso.

4.7.2.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS *AC*, *AD*, *AE* E *AF*

A reabilitação térmica pode fazer-se pelo interior nos mesmos moldes que as reabilitações térmicas pelo interior propostas para a situações sem correcção (Quadro 4.8 e 4.9). Isto porque

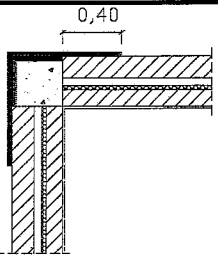
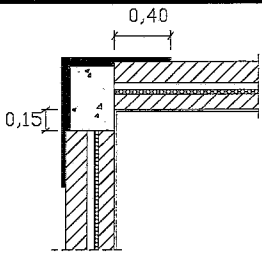
os valores máximos do factor temperatura superficial para situação sem correcção e com correcção cerâmica são sensivelmente próximos e os resultados serão também muito semelhantes.

A intervenção pelo exterior pode realizar-se identicamente ao proposto nas soluções *AA4* e *AB4*, com espessuras acima dos 0,06 m. No entanto, é necessário que a forra cerâmica esteja estável e não apresente anomalias graves.

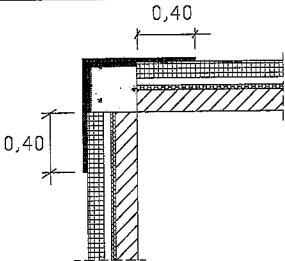
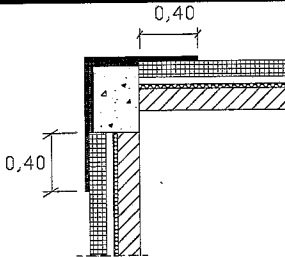
Pode, no entanto, substituir-se a forra cerâmica simples (3cm) por um sistema de isolamento térmico. Propõe-se um prolongamento da correcção realizado com uma espessura mínima de 4 cm.

Nos Quadros 4.11 e 4.12 são apresentadas as soluções para as geometrias de tijolo cerâmico furado e para as alvenarias de tijolo face à vista.

QUADRO 4.11 – Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para as geometrias *AC* e *AD*

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura De Correcção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
<p><i>ACI</i></p> 		0,31
	0,07/0,04	
<p><i>ADI</i></p> 		0,33

QUADRO 4.12- Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para as geometrias *AE* e *AF*

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura Da Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	0,07/0,04	0,33
		0,36

4.7.2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como se pode verificar as correções pelo exterior necessitam de espessuras de isolante térmico elevadas para se obterem valores do $\tau_{\text{máximo}}$ aceitáveis. Propõem-se valores de espessura de correção de cerca de mais 2cm do que a espessura simulada.

Caso seja executada a reabilitação térmica pelo exterior mantendo a forra cerâmica, o valor da espessura de isolante térmico também deverá ser superior a 0,06 m.

4.7.2.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *ACI*, *ADI*, *AEI* E *AFI*

Previamente deve ser realizada a retirada dos elementos da forra cerâmica e o remate da zona de ligação da mesma ao pano de alvenaria. A fixação do novo sistema far-se-á de preferência ao pilar de betão armado, mas também ao pano de parede exterior, o que implica que este último esteja em condições de estabilidade. A realização desta solução necessita de ser acompanhada de acções de estabilização dos panos de parede, tais como a introdução de apoios e o grampeamento dos panos (Pontos 5.3.1 e 5.3.5.2).

A solução tecnológica para cumprir estes princípios pode passar pela aplicação dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior disponíveis. Os sistemas que parecem ser os mais apropriados para este tipo intervenção são os já referidos no ponto 4.7.1.7 (Figuras 4.20 e 4.21). Desta forma, podem resolver-se também problemas relacionados com eventuais anomalias na forra cerâmica de correcção.

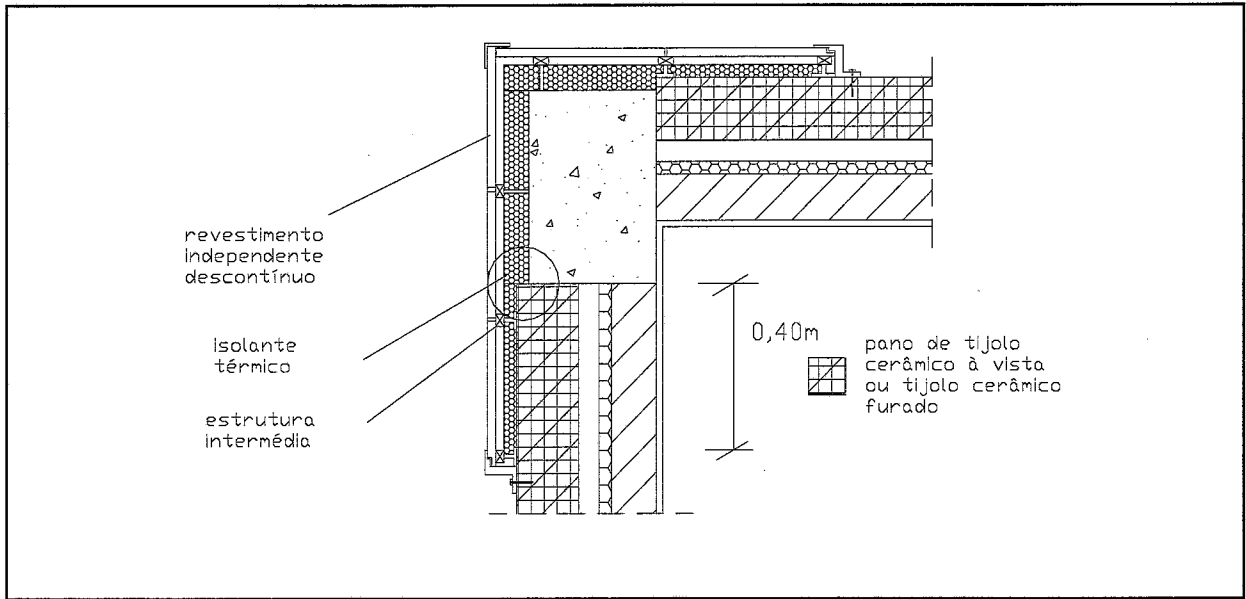


Figura 4.20 - Pormenor de correcção térmica exterior com sistema de revestimento descontínuo e independente sobre isolante térmico com substituição da forra cerâmica

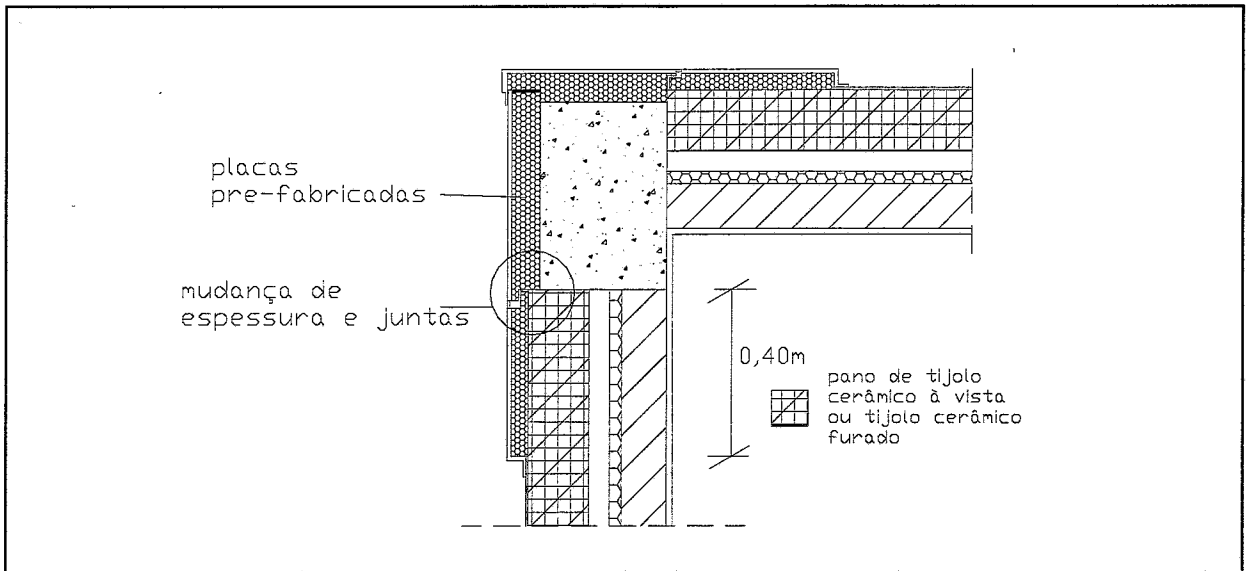


Figura 4.21 - Pormenor de correcção térmica exterior com sistema de revestimento descontínuo em placas prefabricadas com isolante térmico com substituição da forra cerâmica

Não se recomenda a utilização de revestimentos delgados sobre isolante, devido, entre outras razões, à diferença de espessuras do isolante, que obriga o revestimento a comportamentos diferentes face às solicitações térmicas, o que pode ser potenciador de futuras anomalias.

Na Figura 4.22 pretende-se dar uma perspectiva do aspecto de uma correcção pelo exterior nesta zona com um qualquer dos sistemas referidos.

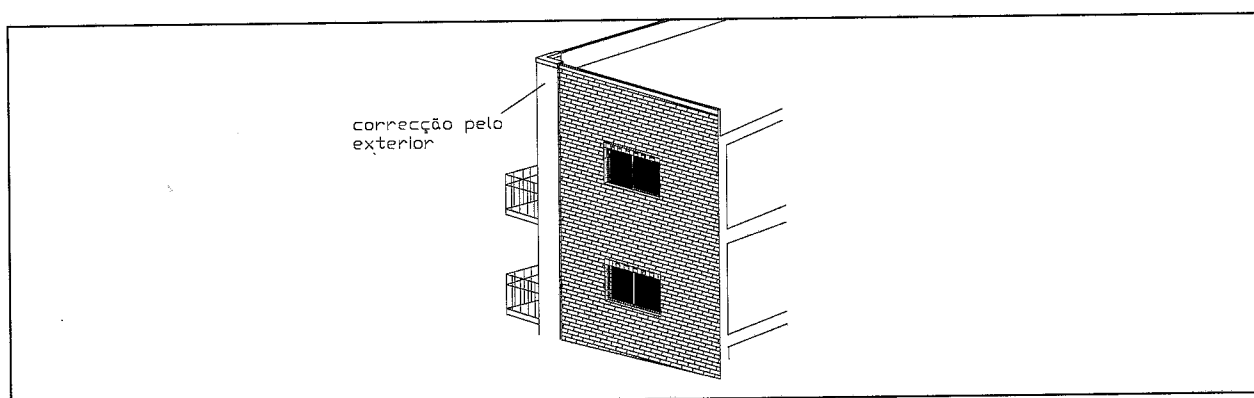


Figura 4.22- Perspectiva de correcção térmica pelo exterior, em fachada de edifício com tijolo à vista, como substituição de forra cerâmica

Dada, hoje em dia, a combinação de revestimentos realizada nas fachadas de muitos edifícios, parece possível enquadrar esta correcção numa acção de reabilitação. A correcção térmica pelo exterior poderá ser enquadrada numa fachada já existente, se pensada de forma cuidada e equilibrada.

4.8 LIGAÇÃO ENTRE UMA LAJE DE COBERTURA E UMA PAREDE EXTERIOR

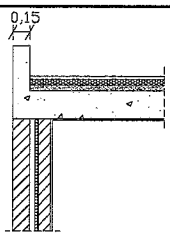
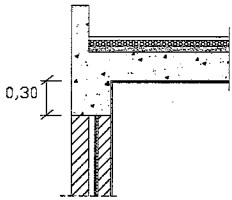
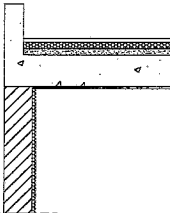
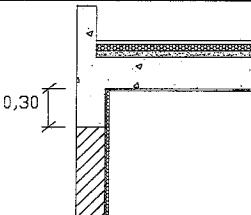
4.8.1 GEOMETRIAS SEM FORRA CERÂMICA

4.8.1.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

É das ligações onde se verificam mais anomalias, tal como se constata pelo valor elevado do factor de temperatura superficial das muitas soluções simuladas no *Catálogo de Pontes Térmicas* [3] e pelas situações observadas em edifícios.

O Quadro 4.13 apresenta os valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para uma parede dupla exterior de tijolo furado de 15 + 11cm, com isolante na caixa-de-ar e uma parede simples de 22cm, com isolante pelo interior, em ligação com uma laje de cobertura isolada com 5cm de isolante térmico.

QUADRO 4.13 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de cobertura e uma parede exterior [3]

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Isolamento. 2cm	Isolamento 5cm
	0,45	0,40
	0,52	0,49
	0,54	0,50
	0,59	0,54

As situações caracterizam-se pela interrupção do isolamento térmico. Nos casos em que existe viga (geometria *BB* e *BD*) os valores do $\tau_{\text{máximo}}$ são mais elevados. Com o sistema de isolamento pelo interior os valores são ainda mais elevados do que com a solução de isolamento repartido.

Vejam-se, a título de exemplo, nas Figuras 4.23 e 4.24, os gráficos das isotérmicas e das linhas de fluxo para as geometrias *BA*, *BB*, *BC* e *BD*.

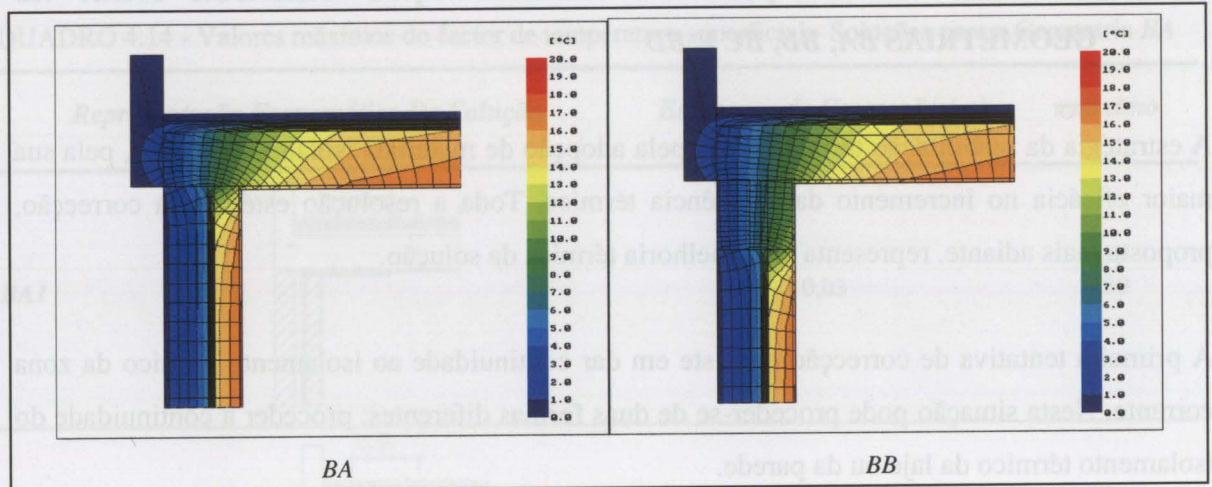


Figura 4.23 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre uma laje de cobertura e uma parede exterior dupla com isolamento térmico caixa de ar (Programa Kobra)

A zona de viga de betão e a laje são as superfícies onde se verificam temperaturas mais baixas. Existe um caminho preferencial das linhas de fluxo de calor ao longo da laje e por isso esta zona necessitará de um maior de correcção a partir do canto do que a zona vertical da parede.

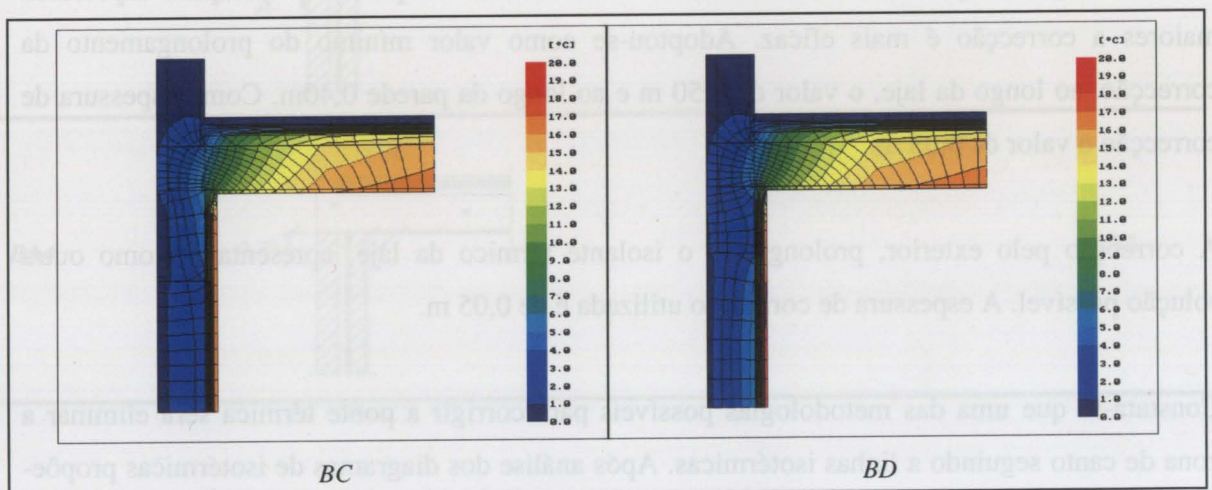


Figura 4.24- Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação uma laje de cobertura e uma parede exterior dupla com isolamento térmico pelo interior (Programa Kobra)

O isolamento térmico pelo interior origina uma zona de baixas temperaturas imediatamente após o término do isolamento na face inferior da laje.

4.8.1.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS BA, BB, BC E BD

A estratégia da reabilitação térmica passa pela adopção de materiais isolantes térmicos, pela sua maior eficácia no incremento da resistência térmica. Toda a resolução estética da correcção, proposta mais adiante, representa uma melhoria térmica da solução.

A primeira tentativa de correcção consiste em dar continuidade ao isolamento térmico da zona corrente. Nesta situação pode proceder-se de duas formas diferentes: proceder à continuidade do isolamento térmico da laje ou da parede.

A colocação de um isolante pelo interior, aplicado directamente sobre a superfície de parede e tecto pode constituir outra solução de reabilitação.

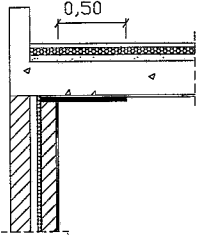
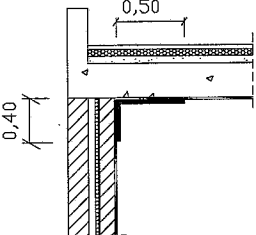
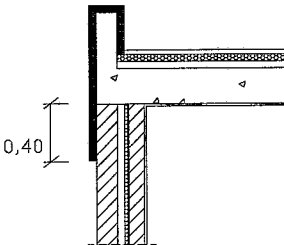
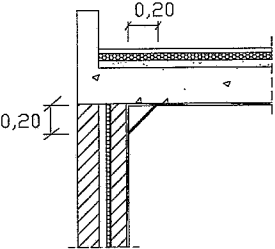
Observando os resultados apresentados no catálogo de pontes térmicas [3], constata-se que o valor de 0,40 m adoptado para prolongamento em soluções semelhantes de correcção térmica é insuficiente para espessuras reduzidas de isolante térmico na parede e que para espessuras maiores a correcção é mais eficaz. Adoptou-se como valor mínimo do prolongamento da correcção, ao longo da laje, o valor de 0,50 m e ao longo da parede 0,40m. Como espessura de correcção o valor de 0,03 m.

A correcção pelo exterior, prolongando o isolante térmico da laje, apresenta-se como outra solução possível. A espessura de correcção utilizada é de 0,05 m.

Constata-se que uma das metodologias possíveis para corrigir a ponte térmica será eliminar a zona de canto seguindo a linhas isotérmicas. Após análise dos diagramas de isotérmicas propõe-se a realização de uma cunha com as dimensões de 0,20 m.

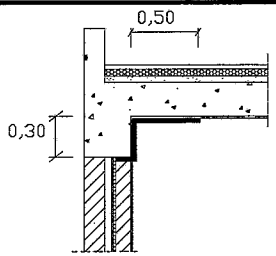
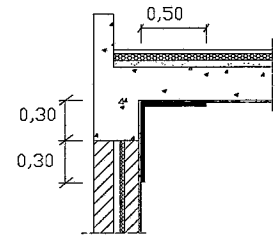
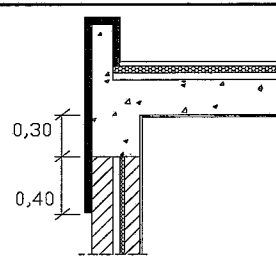
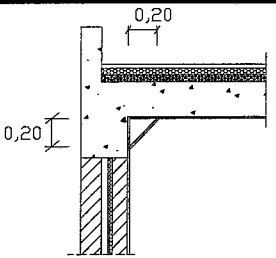
Os Quadros 4.14 e 4.15 apresentam as propostas de soluções de reabilitação.

QUADRO 4.14 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria BA

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura de Correção (m)</i>	<i>τ máximo</i>
<p>BA1</p> 	0,03	0,30
<p>BA2</p> 	0,03	0,29
<p>BA3</p> 	0,05	0,31
<p>BA4</p> 	-	0,32

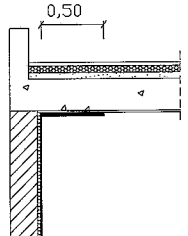
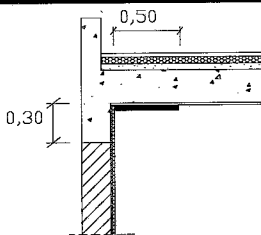
As geometrias com viga apresentam sempre resultados um pouco piores do que os relativos às geometrias sem viga.

QUADRO 4.15 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria BB

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura Da Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	0,03	0,31
	0,03	0,31
	0,05	0,32
	—	0,49

Nas situações em que exista isolamento térmico pelo interior a melhor solução é dar continuidade ao mesmo, de forma que cubra a influência gerada pela ponte térmica sobre a laje (Quadro 4. 16).

QUADRO 4.16 - Valores máximos do factor de temperatura superficial – Soluções para as Geometrias *BC* e *BD*

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura Da Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
<p><i>BC1</i></p> 	0,03	0,31
<p><i>BD1</i></p> 	0,03	0,32

4.8.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em qualquer uma das soluções propostas verificam-se melhorias do comportamento térmico. Recomenda-se a utilização de espessuras superiores a 0,03 m para as soluções *BB1*, *BB2*, *BC1* e *BD1* e para a solução *BB3* recomendam-se espessuras superiores a 0,05 m.

A solução *BB4* apresenta resultados menos bons, visto que, a cunha não possui as dimensões suficientes para cobrir o efeito da ponte térmica. No entanto, executar uma cunha maior seria inviável esteticamente.

4.8.1.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *BA1* E *BB1*

As soluções *BA1* e *BB1* são realizáveis mas implicam uma reabilitação algo complexa. Há necessidade de criar uma cavidade na zona superior do pano interior para introdução do isolante térmico. Estas soluções poderão ser substituídas, com vantagem, em termos de facilidade de execução pelas soluções *BA2* ou *BB2*, respectivamente

4.8.1.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES BA2, BB2, BC1 E BD1

Estas soluções implicam uma reestruturação da sanca existente ao longo do rebordo do tecto. Uma solução será a realização de um tecto falso que envolva a correcção, não sendo necessário pensar em medidas estéticas engenhosas e muito complicadas. A Figura 4.25 apresenta uma solução.

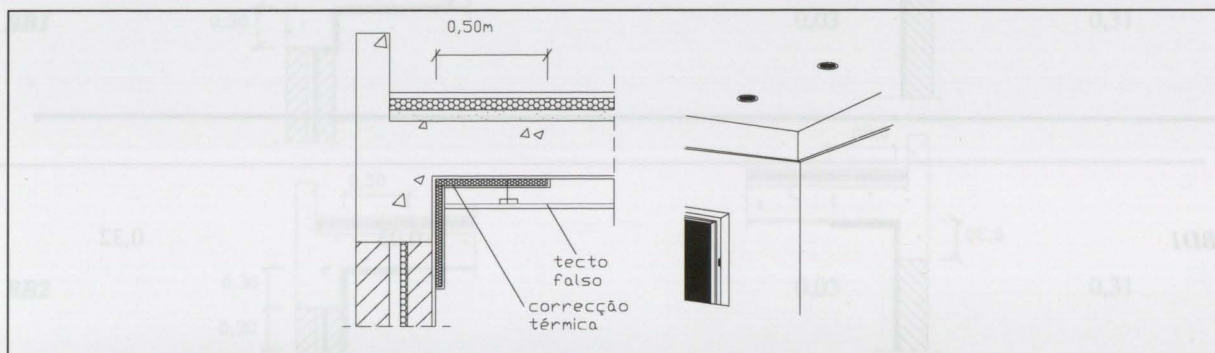


Figura 4.25 – Pormenor da correcção pelo interior na zona de ligação parede exterior e laje de cobertura com isolante térmico pontual e disfarce parcial com tecto falso

Certas soluções permitem o disfarce de parte da correcção térmica (Figura 4.26).



Figura 4.26 – Alguns exemplos de soluções de sanca possibilitando o disfarce de uma eventual correcção pelo interior na zona de ligação de laje e parede [36; 37]

A realização de sancas de grandes dimensões e tecto falso também pode ser executada (Figura 4.27). As sancas podem servir para iluminação indirecta de espaços.

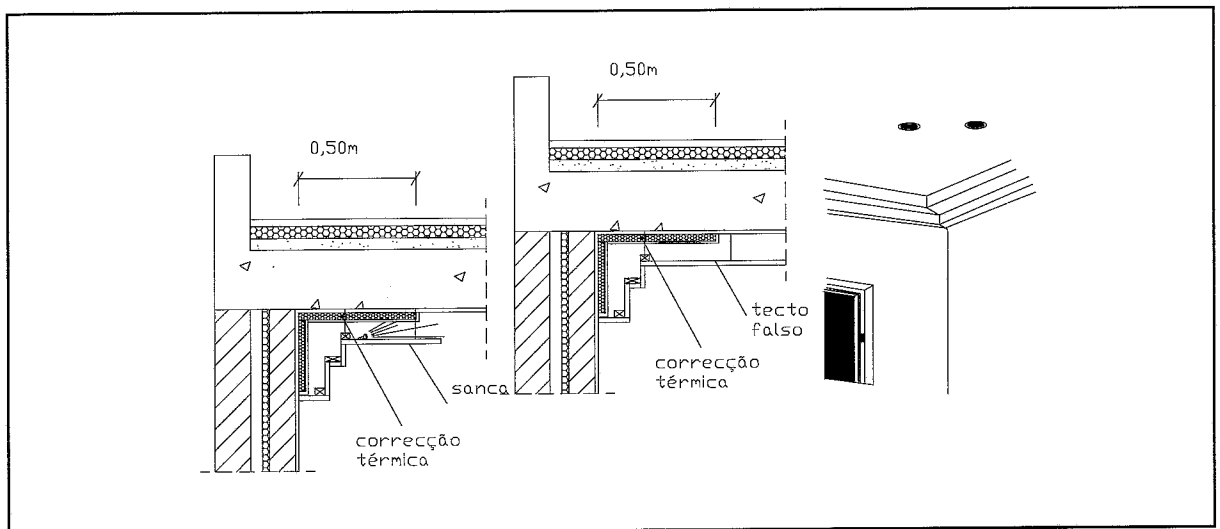


Figura 4.27- Pormenor de correcção térmica, pelo interior, na zona de ligação parede exterior e laje, com isolante térmico pontual e disfarce com sanca

Quanto às soluções *BCI* e *BDI* a solução de correcção passa por prolongar o isolante térmico interior ao longo da laje. O disfarce da correcção pode fazer-se com o recurso a uma sanca (Figura 4.28) ou tecto falso. Deverá ser garantido o contacto total do isolante térmico existente com o isolante da correcção.

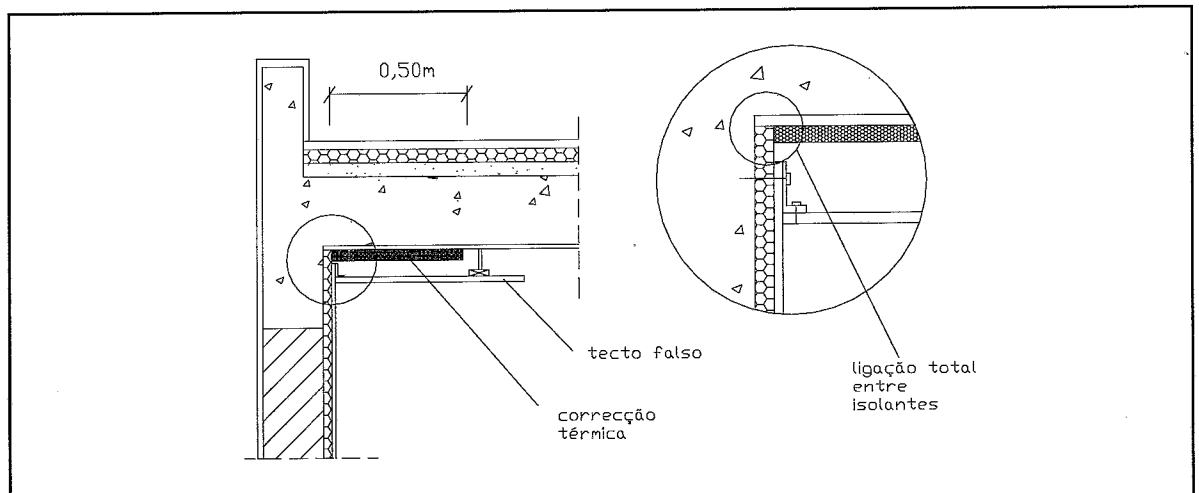


Figura 4.28- Pormenor da correcção térmica com prolongamento do isolante térmico interior em zona de ligação de parede com laje de cobertura

Podem-se ver na Figura 4.29 exemplos de possíveis resoluções estéticas de disfarce da correcção térmica pelo interior.



Figura 4.29 – Alguns exemplos de soluções de tecto possibilitando o disfarce de uma eventual correcção pelo interior na zona de ligação de laje e parede [36;37]

Caso não se pretenda utilizar um tecto falso, algumas soluções podem perfeitamente servir como disfarce de uma intervenção pontual da correcção térmica. Estas soluções podem passar pela utilização de revestimentos em gesso ou revestimentos de madeira (Figura 4.30).

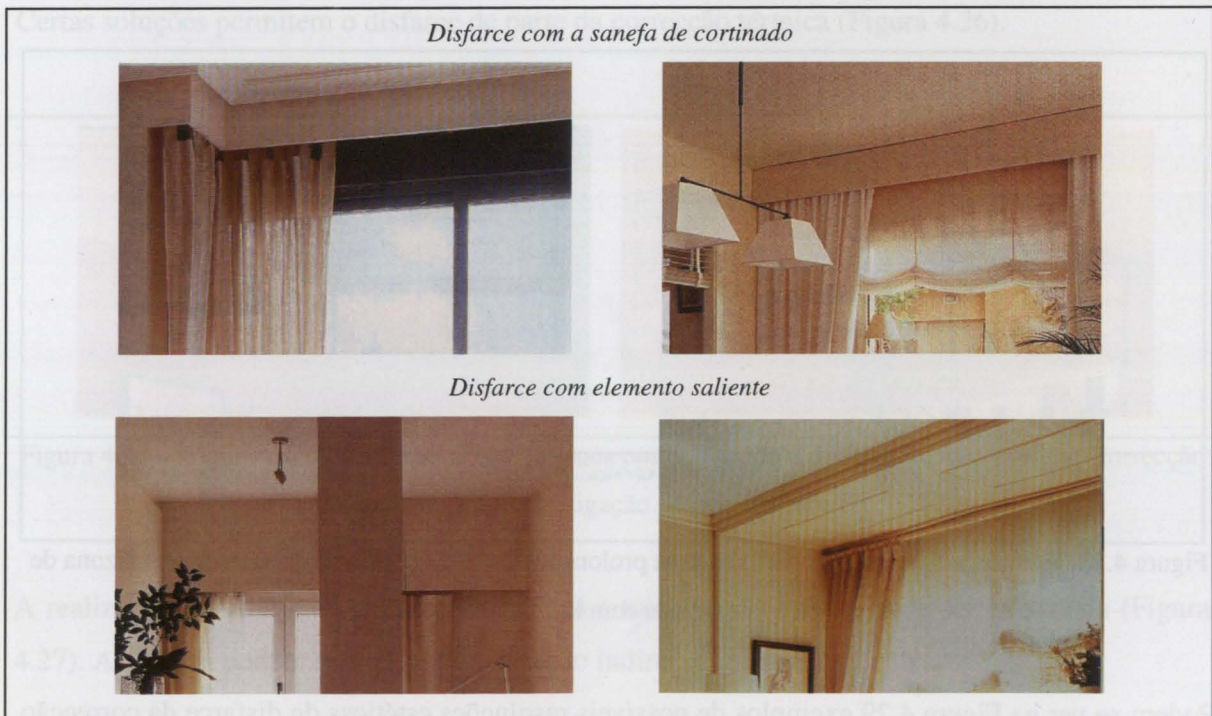


Figura 4.30 - Alguns exemplos de soluções que possibilitam o disfarce de uma correcção pontual pelo interior na zona de ligação de laje e parede [36]

4.8.1.6 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES BA3 E BB3

Para realizar este tipo de correcção terá que se recorrer a sistemas de isolamento térmico pelo exterior. É importante que o isolante de correcção envolva toda a platibanda e se ligue ao isolante térmico da laje, para que, desta forma, não permaneça uma ponte térmica (Figura 4.31).

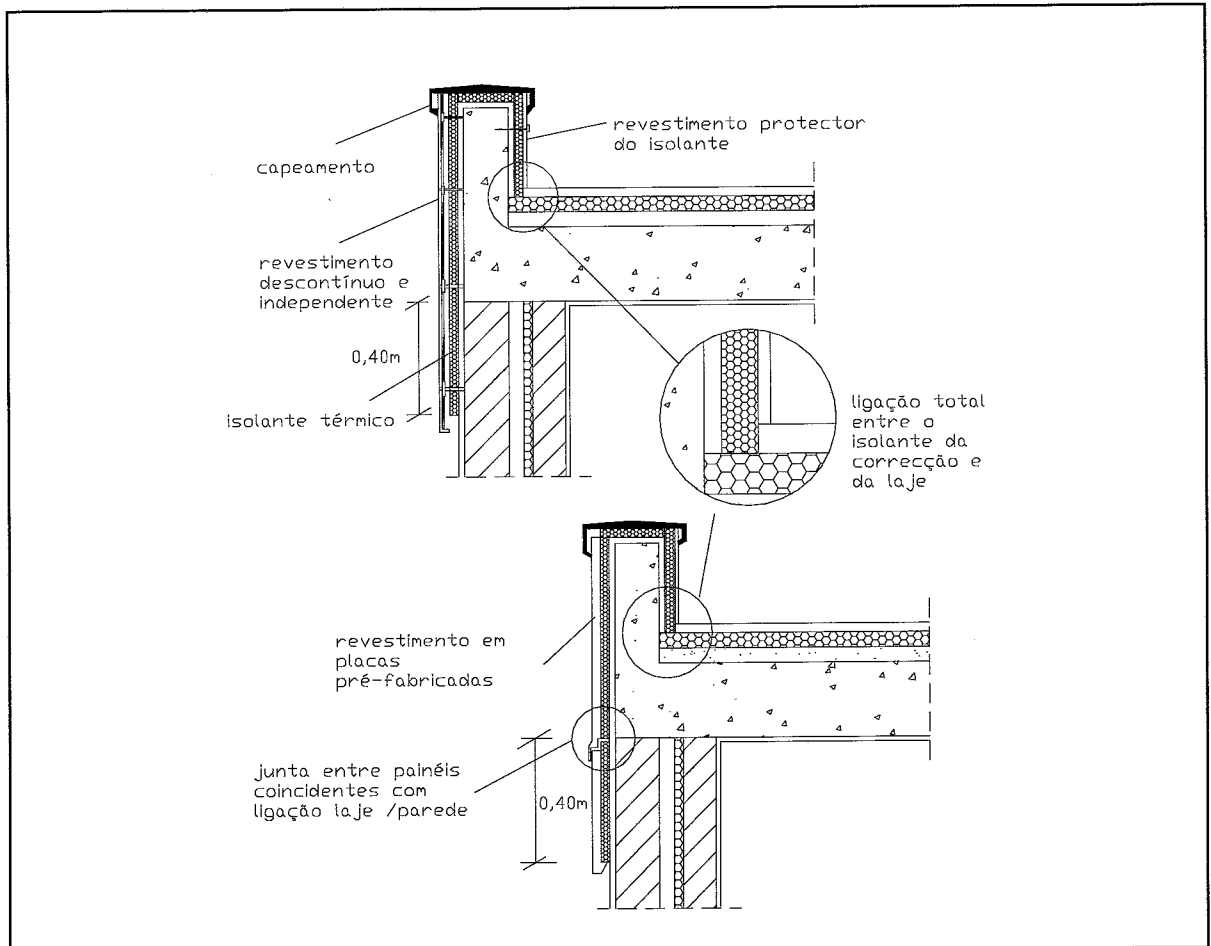


Figura 4.31 - Pormenor do isolamento térmico pontual da zona de ponte térmica com dois sistemas de revestimento pelo exterior

Esta solução de reabilitação térmica também pode servir como forma de resolução e disfarce de patologias mecânicas frequentes nesta zona.

Na Figura 4.32 pode visualizar-se um possível aspecto visual de uma fachada com realização desta solução.

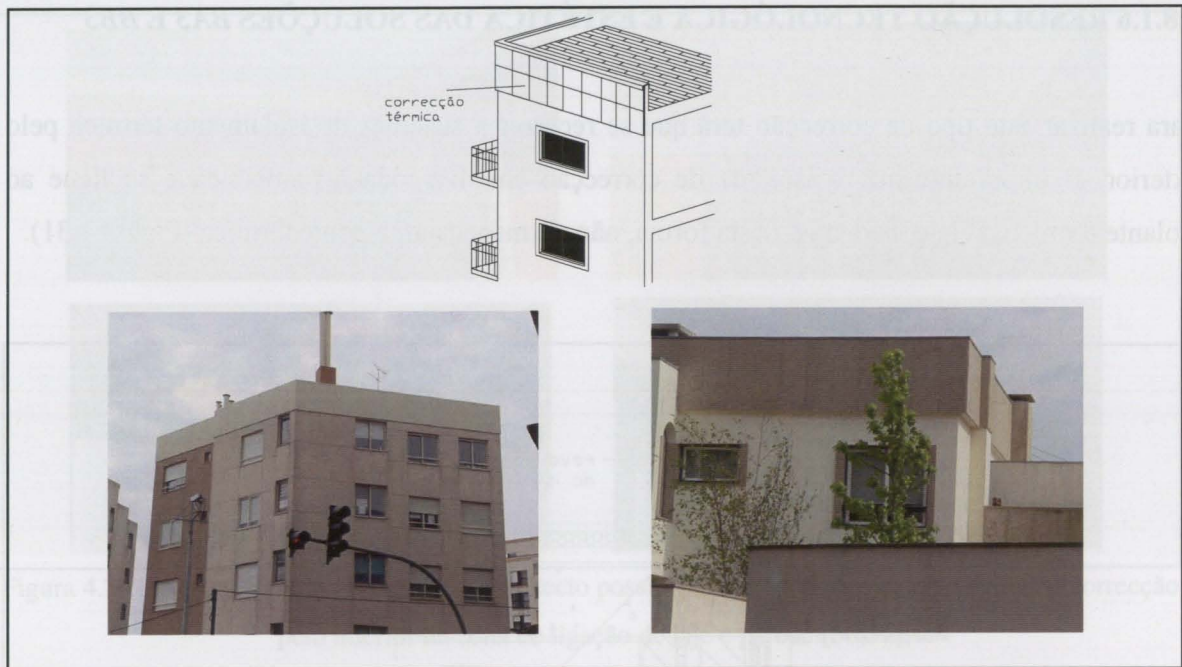


Figura 4.32 Aspecto visual de uma possível correcção térmica pelo exterior em zona de ligação de parede com laje de cobertura

A modificação exterior de fachada, resultante desta correcção, parece ser uma das situações onde poderá haver o melhor enquadramento arquitectónico.

4.8.1.7 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES BA4 E BB4

Esta correcção pode ser realizada com o recurso ao sistema de sancas de gesso cartonado fixo através de estrutura intermédia (Figura 4.33).

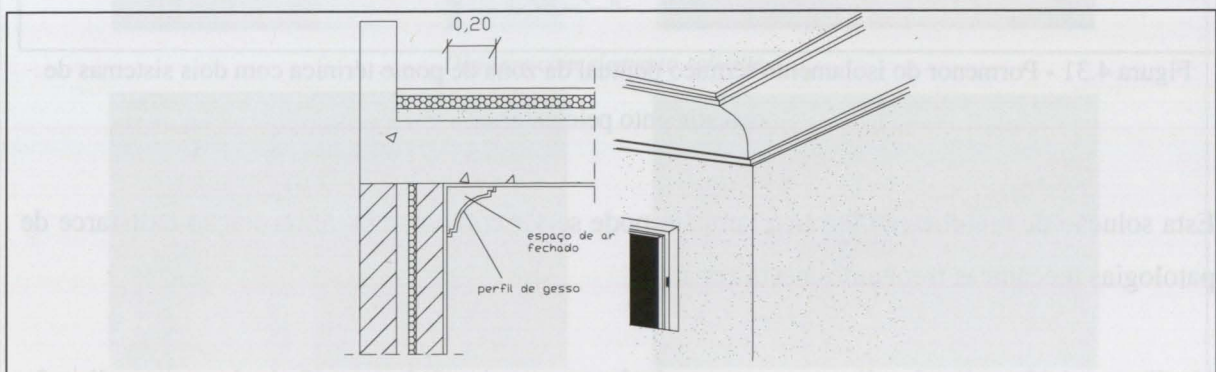


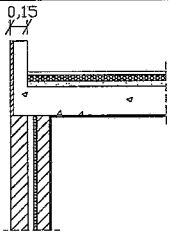
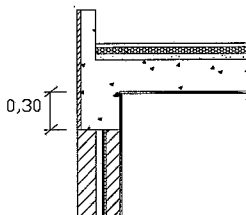
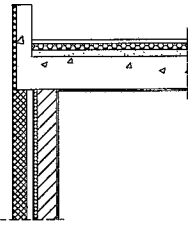
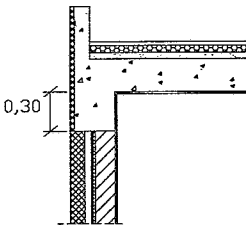
Figura 4.33 - Pormenor de correcção térmica com sanca do tipo triangular

4.8.2 GEOMETRIAS COM FORRA CERÂMICA PELO EXTERIOR

4.8.2.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

Como já foi referido, a realização de forras cerâmicas exterior não tem obtido bons desempenhos térmicos para as zonas de ponte térmica, nem evitado a ocorrência de anomalias. Nesta ligação também se verifica idêntica situação (Quadro 4.17).

QUADRO 4.17 – Valores do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de cobertura e uma parede exterior com correcção cerâmica [3]

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>	
	<i>Isolamento Parede</i>	<i>Isolamento Parede</i>
	<i>2cm</i>	<i>5cm</i>
<p>BC</p> 	0,44	0,37
<p>BD</p> 	0,50	0,47
<p>BE</p> 	0,42	0,36
<p>BF</p> 	0,51	0,49

4.8.2 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS BC, B D, BE, E BF

As propostas de reabilitação pelo interior, mantendo a forra cerâmica, podem ser realizadas da mesma forma que as propostas para a geometria análoga sem forra cerâmica (Quadros 4.14 e 4.15).

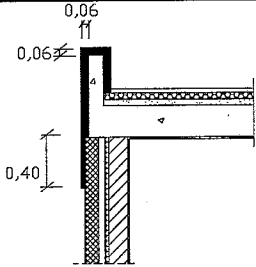
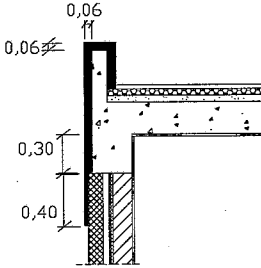
A correcção térmica pelo exterior pode fazer-se mantendo a forra cerâmica e executando sobre esta um sistema de isolamento pelo exterior (soluções BA3 e BB3). Este sistema deve ser fixado ao elemento estrutural e nunca à forra e é necessário que a forra esteja em condições de estabilidade. O isolante térmico deve envolver, por completo, a platibanda e ligar totalmente ao isolante da cobertura.

As soluções simuladas eliminam a forra cerâmica para colocar material isolante em sua substituição (Quadros 4.18 e 4.19). Não esquecer que é necessário prolongar a correcção para zona corrente para maior eficácia da intervenção.

QUADRO 4.18 - Valores do factor de temperatura superficial - Soluções para as Geometrias BC e BD

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura Da Correcção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
<p>BC1</p>	0,06/0,03	0,29
<p>BD1</p>	0,06/0,03	0,29

QUADRO 4.19 - Valores do factor de temperatura superficial - Soluções para as Geometrias BE e BF

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura Da Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
<p>BEI</p> 	0,06/0,03	0,31
<p>BF1</p> 	0,06/0,03	0,30

4.8.2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A maior parte das soluções apresentadas apresentam valores satisfatórios. As paredes de tijolo de face à vista necessitam de espessuras de correção ligeiramente maiores (mais 1 cm) que as soluções de tijolo furado. Confirma-se a necessidade de recorrer a correções de espessura elevadas em intervenções pelo exterior (maiores do que 0,06m).

4.8.2.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E RESOLUÇÃO ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *BC1, BD1, BE1 E BF1*

As características destas soluções enquadram-se no que foi dito no ponto 4.8.1.6. A diferença reside na necessidade de incorporar duas espessuras de isolante diferentes.

Com esta solução, podem ser resolvidas parcialmente algumas patologias construtivas frequentes nesta zona da envolvente (Capítulo 5).

As Figuras 4.34 e 4.35 apresentam pormenores das soluções.

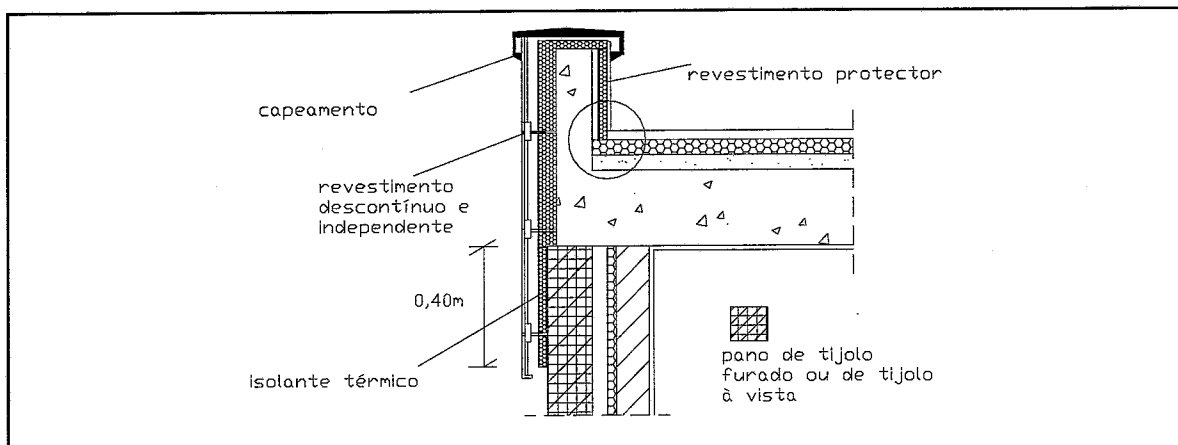


Figura 4.34 - Pormenor da aplicação de revestimento descontínuo e independente sobre isolante térmico na ligação entre uma laje de cobertura e parede exterior

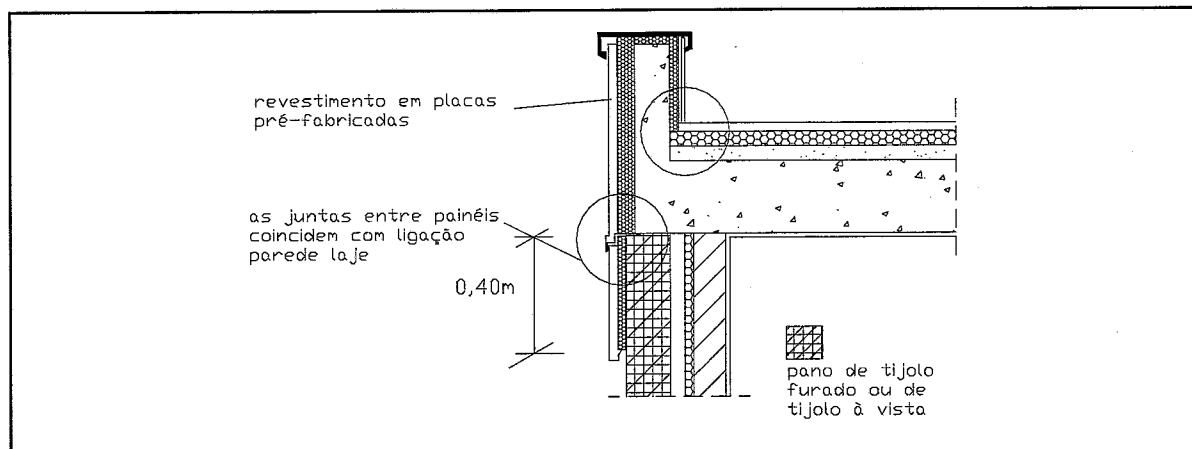


Figura 4.35 – Pormenor da aplicação de placas prefabricadas revestimento/isolante na ligação entre laje de cobertura e parede exterior

4.9 LIGAÇÃO ENTRE UM PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO EXTERIOR E UMA PAREDE EXTERIOR

4.9.1 GEOMETRIAS SEM FORRA CERÂMICA

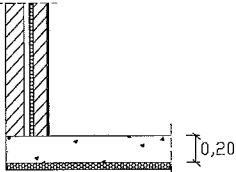
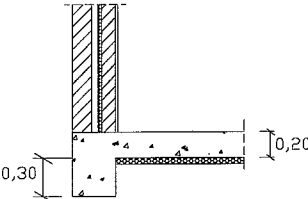
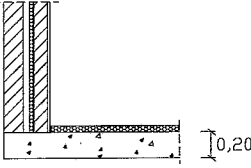
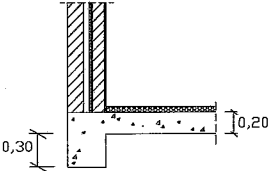
4.9.1.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

Esta ligação apresenta valores do factor de temperatura superficial elevados nas simulações numéricas realizadas, mas na realidade não são as situações onde se verificam as maiores anomalias. Algumas razões podem ser apontadas: a utilização de certos revestimentos de piso

melhora a situação do ponto de vista térmico, tais como, a utilização de materiais termicamente eficientes, como a madeira ou a cortiça; a realização de rodapés no mesmo material; a utilização de revestimentos vidrados em compartimentos de serviço, que permitem a condensação; a realização, mais recente, de pavimentos flutuantes.

Constata-se em [3] que, mesmo onde existe um sistema de isolamento contínuo pelo exterior ou pelo interior nessa zona, apenas se conseguem geometrias satisfatórias, relativamente aos valores de τ , com espessuras de isolante térmico a partir de 5cm. O Quadro 4.20 apresenta os valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para as situações mais problemáticas:

QUADRO 4.20 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de piso e uma parede exterior – Isolamento na caixa-de-ar [3]

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Isolamento.Parede 2cm	Isolamento Parede 5cm
<p>CA</p> 	0,55	0,48
<p>CB</p> 	0,61	0,56
<p>CC</p> 	0,44	0,37
<p>CD</p> 	0,44	0,37

As geometrias apresentadas são caracterizadas pela interrupção do isolamento, o que permite uma zona frágil de baixa resistência térmica. Nos casos em que existe viga os valores do

τ máximo são mais elevados porque se cria uma maior superfície exterior exposta ao ambiente exterior relativamente à superfície interior.

Veja-se o diagrama de isotérmicas e linhas de fluxo de calor na Figura 4.36. Estão representadas as geometrias anteriores com 3cm de espessura de isolante na caixa-de-ar e 5cm de espessura de isolante térmico na laje.

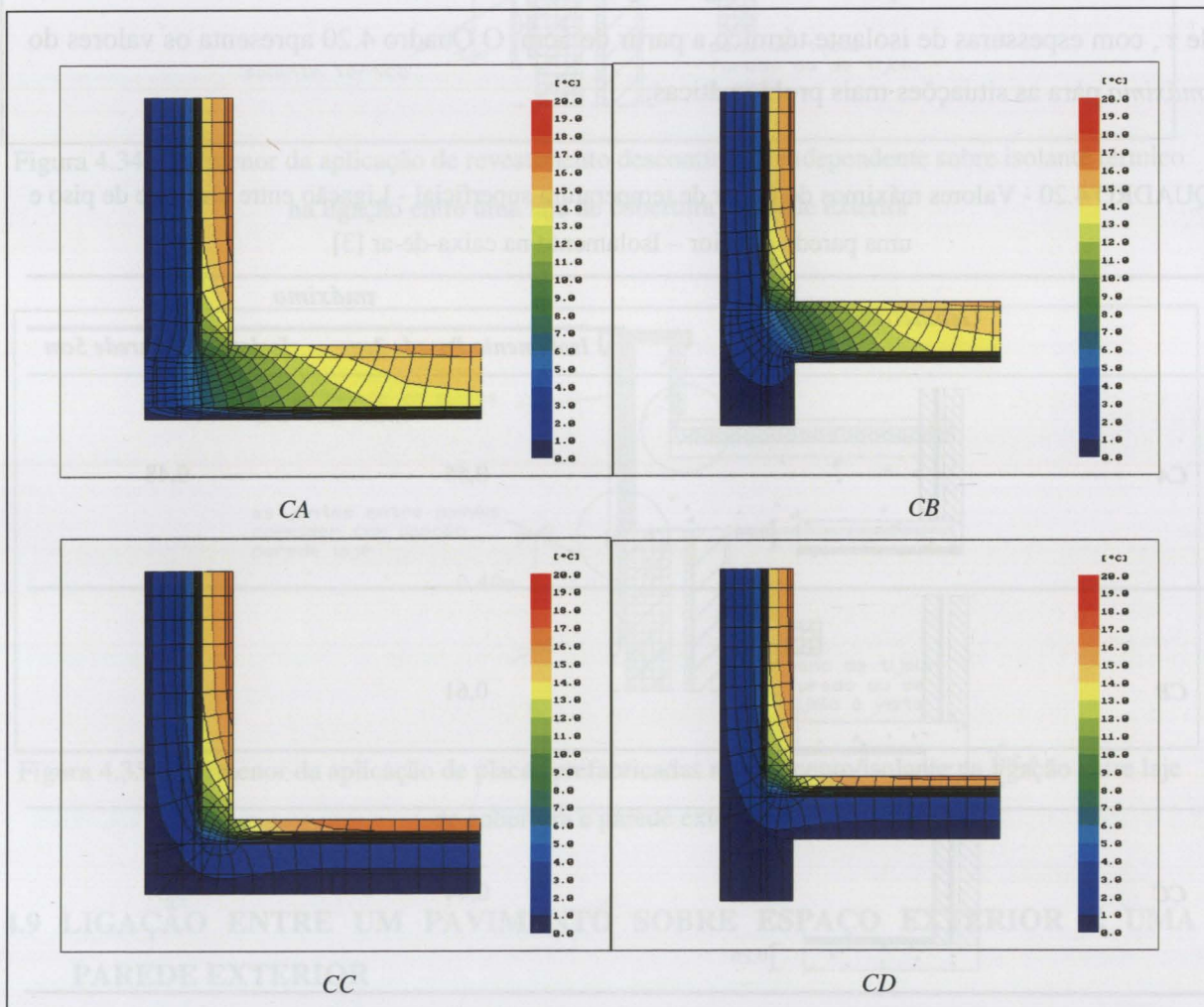


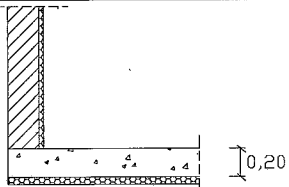
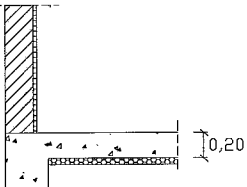
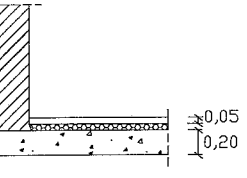
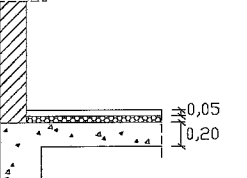
Figura 4.36 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre uma laje de pavimento sobre espaço exterior com isolamento pelo exterior e interior e uma parede exterior dupla com isolamento caixa de ar (Programa Kobra)

Pode-se constatar que com o isolamento térmico pelo exterior da laje, a zona mais afectada é a zona da laje. Na situação de isolamento térmico pelo interior a laje apresenta sensivelmente a mesma extensão de zona afectada que a parede. A existência da viga é factor de agravamento

quando o isolamento da laje é feito pelo exterior, pois aumenta a largura de interrupção do isolamento.

O Quadro 4.21 apresenta os valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para situações com isolamento térmico pelo exterior e interior numa parede simples de 22cm com isolante térmico pelo exterior e interior.

QUADRO 4.21 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de piso e um pavimento espaço exterior - Isolamento pelo exterior e pelo interior na parede [3]

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Isolamento Parede 2cm	Isolamento. Parede 5cm
<p>CE</p> 	0,62	0,56
<p>CF</p> 	0,67	0,62
<p>CG</p> 	0,53	0,47
<p>CH</p> 	0,52	0,51

As soluções são todas de rejeitar, mesmo quando a espessura do isolamento térmico é elevada, visto que, se criam, tal como nas situações anteriores, zonas localizadas de abaixamento acentuado da temperatura superficial interior.

Os gráficos na Figura 4.37 são representativos das linhas isotérmicas e das linhas de fluxo para as geometrias *CE* e *CF*, em que o isolamento térmico da parede se faz pelo interior.

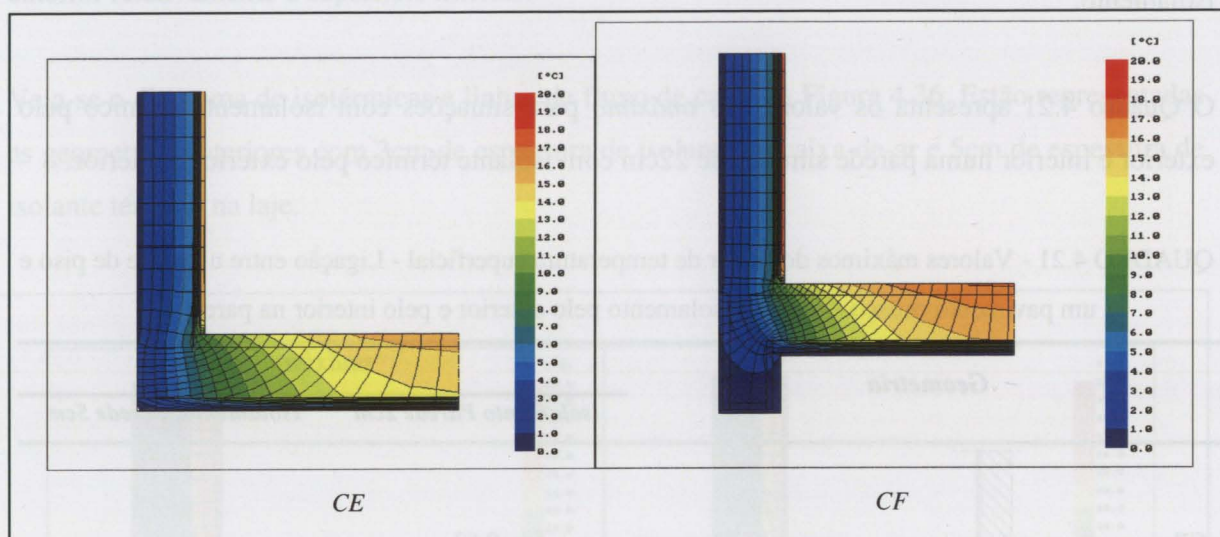


Figura 4.37 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre um pavimento sobre espaço não aquecido com isolamento pelo exterior e parede exterior com isolamento pelo interior (Kobra)

Verifica-se que o isolamento pelo interior origina uma zona de abaixamento da temperatura superficial interior imediatamente após o término do isolamento.

Com o isolamento térmico da parede pelo exterior, apresentam-se, como exemplo, os diagramas das geometrias da Figura 4.38

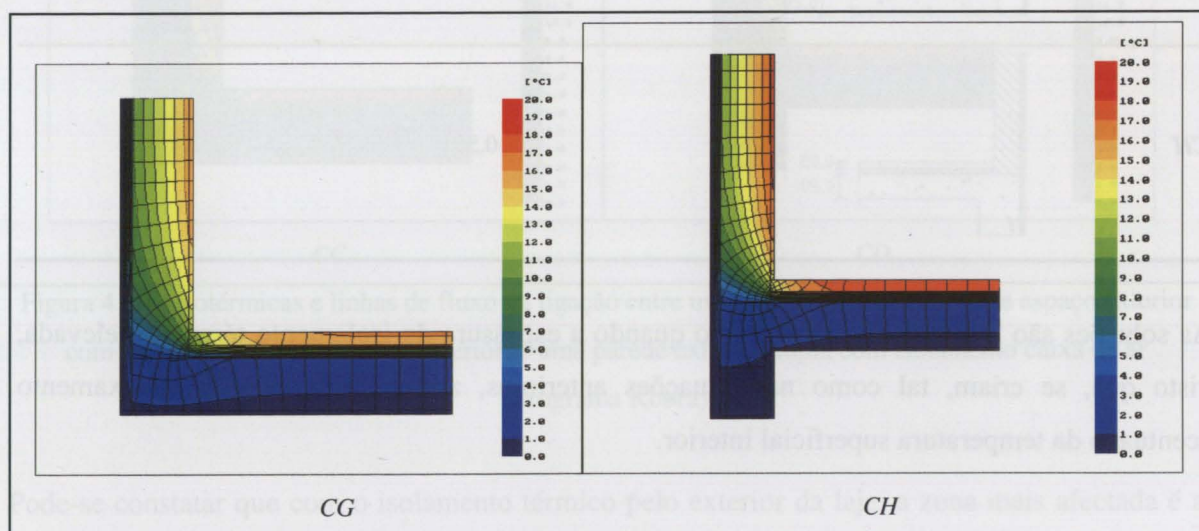


Figura 4.38 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação de uma laje de pavimento sobre espaço não aquecido com isolamento pelo interior e uma parede exterior simples com isolamento térmico pelo exterior (Programa Kobra)

Nesta situação, o efeito da ponte térmica estende-se preferencialmente para a zona de parede. A zona de influência da ponte térmica na parede é maior na geometria sem viga.

4.9.1.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA DAS GEOMETRIAS CA, CB, CE, CF, CG E CH

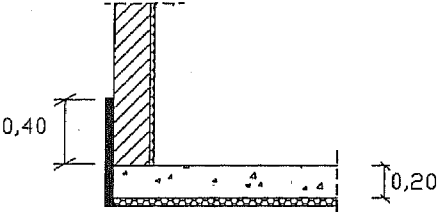
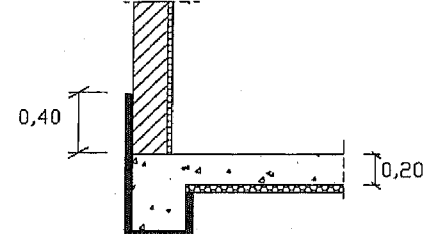
Foi posta de parte a reabilitação do pavimento pelo interior, pelo facto de ser tecnologicamente complicada, requerendo uma reabilitação total do revestimento de piso e um reajustamento das cotas do pavimento. Neste sentido, apenas vão ser propostas intervenções pelo exterior, que parecem ser facilmente realizáveis nesta zona.

A primeira proposta de correcção consiste em dar continuidade ao isolamento térmico exterior, já existente, da zona de laje ou de parede, a partir do ponto onde ficou interrompido. Os Quadros 4.22, 4.23 e 4.24 mostram essas propostas.

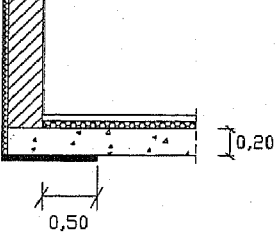
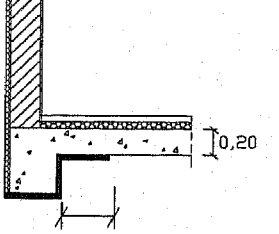
QUADRO 4.22 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para as Geometrias CA e CB

Representação Esquemática Da Solução	Espessura De Correcção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
<p>CAI</p>	0,05	0,33
<p>CBI</p>	0,05	0,37

QUADRO 4.23 - Valores máximos do factor de temperatura superficial – Soluções para as Geometrias CE e CF

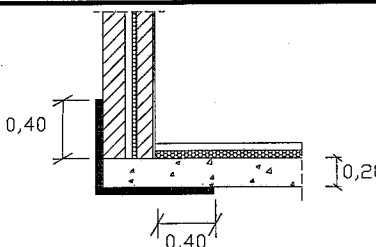
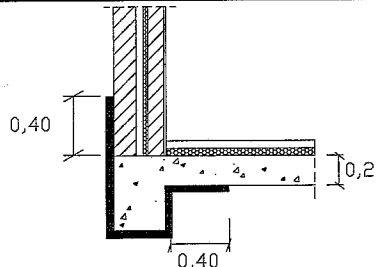
Representação Esquemática Da Solução	Espessura De Correção (m) τ máximo
<p><i>CEI</i></p> 	<p>0,05 0,37</p>
<p><i>CFI</i></p> 	<p>0,05 0,42</p>

QUADRO 4.24 – Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para as Geometrias CG e CH

Representação Esquemática Da Solução	Espessura De Correção (m) τ máximo
<p><i>CGI</i></p> 	<p>0,05 0,33</p>
<p><i>CHI</i></p> 	<p>0,05 0,34</p>

Quando não é possível dar continuidade ao isolante térmico, então o esquema de princípio utilizado nas soluções construtivas apresentadas baseia-se no isolamento parcial com isolante térmico pelo exterior (Quadro 4.25).

QUADRO 4.25 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para as Geometrias CC e CD

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura De Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
<p>CCI</p> 	0,05	0,35
<p>CDI</p> 	0,05	0,36

4.9.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores obtidos não são totalmente satisfatórios. No entanto, é evidente uma melhoria do comportamento térmico relativamente às geometrias iniciais. Outro factor que agrava os valores do $\tau_{\text{máximo}}$ é o valor baixo da condutância térmica superficial ($h_i=2,9 \text{ W/m}^2\text{C}$) utilizado na simulação mas que é o recomendado pela norma respectiva.

Verifica-se que se o isolamento térmico da laje se faz pelo interior é mais fácil corrigir a ponte térmica.

É importante salientar que as espessuras de correção utilizadas nesta zona deverão ser bastante grandes. Recomenda-se, com base no observado, valores superiores a 8 cm.

A utilização de revestimentos de piso e rodapés em madeira melhora na maioria das situações o desempenho térmico das soluções. Quando os revestimentos são cerâmicos permite-se a condensação e não existe a degradação de materiais.

4.9.1.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES CAI, CBI, CEI E CFI

Recomenda-se que o tipo de sistema de isolamento térmico da correcção deva ser, se possível, independente do suporte.

Ter em atenção que o isolante da correcção deverá ficar totalmente ligado ao isolante já existente, para não permanecer uma pequena ponte térmica. Na zona inferior e traseira da viga o sistema utilizado poderá ser idêntico ao existente na laje (Figura 4.39).

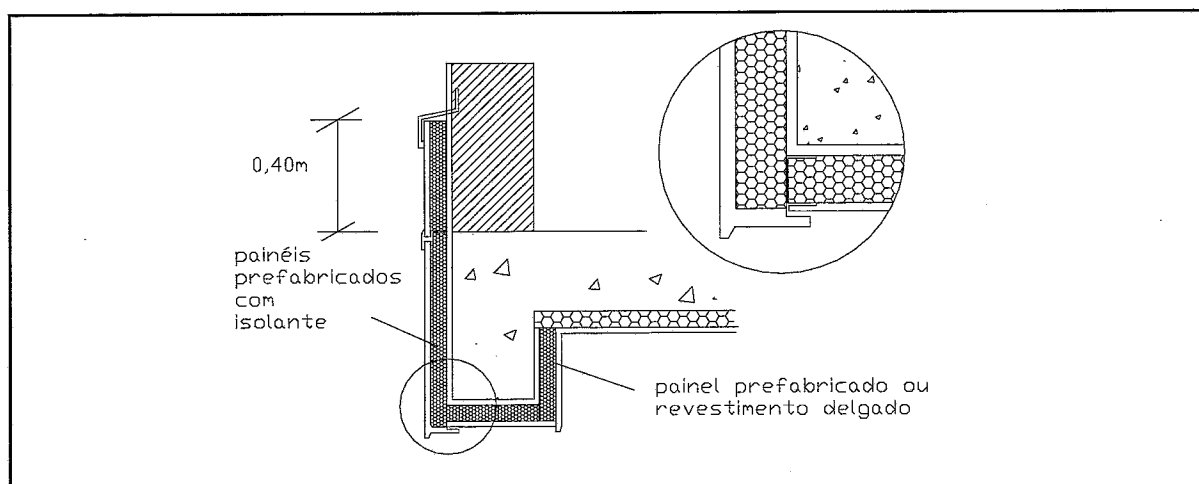


Figura 4.39 – Pormenor de correcção térmica na laje com painéis prefabricados isolante/revestimento

Se for colocado um tecto falso, bastará aplicar um simples painel de isolante térmico fixado por colagem na zona traseira da viga, já que ficará disfarçado.

4.9.1.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES CGI E CHI

Se o sistema de isolamento térmico existente na parede for revestimento delgado sobre isolante, a correcção deverá ser realizada, se possível, com o mesmo sistema (Figura 4.40).

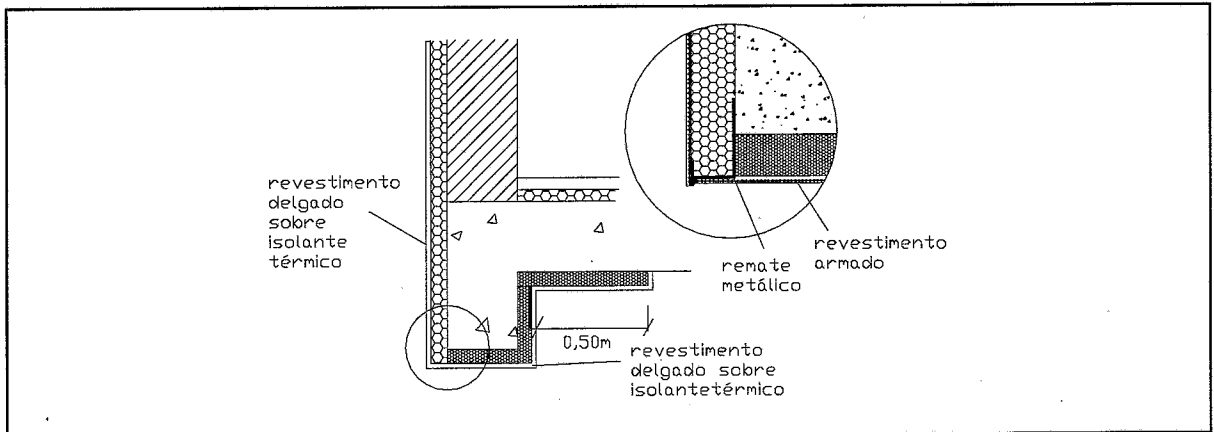


Figura 4.40 – Pormenor de reabilitação térmica com revestimento delgado sobre isolante prolongado a partir do isolante térmico da parede

A ligação entre sistemas diferentes também pode ser possível se houver uma pormenorização e execução cuidadas da zona de ligação. A resolução mais recomendável é realizar a correcção térmica com isolante térmico em placas colado ou isolante projectado disfarçados com tecto falso (Figuras 4.41).

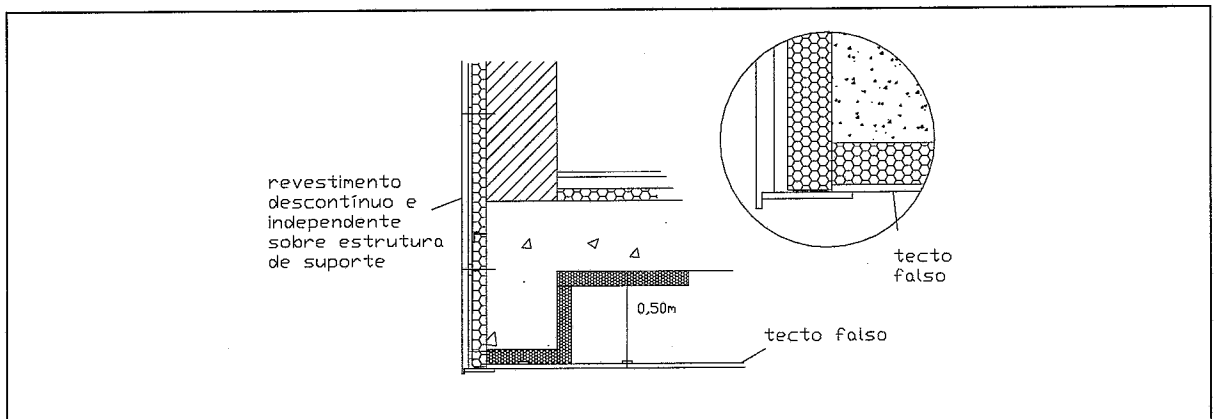


Figura 4.41 – Pormenor de correcção térmica sob a laje com isolante térmico fixado e prolongado a partir do isolante térmico da parede

4.9.1.6 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES CCI E CDI

A solução mais vantajosa será utilizar na zona atrás da viga e sob a laje um simples isolante térmico colado, sendo disfarçado por um tecto falso decorativo. Na zona de parede qualquer um dos sistemas já mencionados é possível (Figuras 4.42 e 4.43).

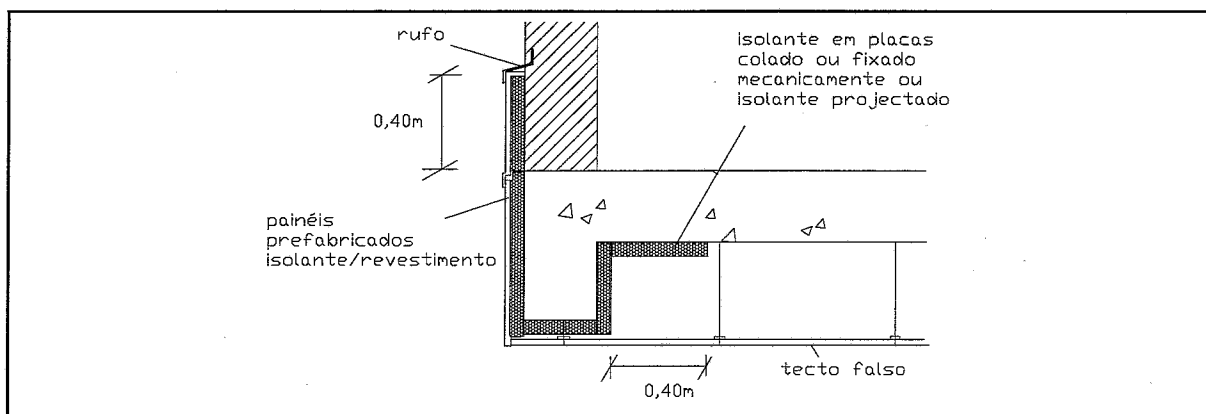


Figura 4.42 - Pormenor da correcção térmica com placas prefabricadas isolante/revestimento e isolante fixado à laje com disfarce com tecto falso

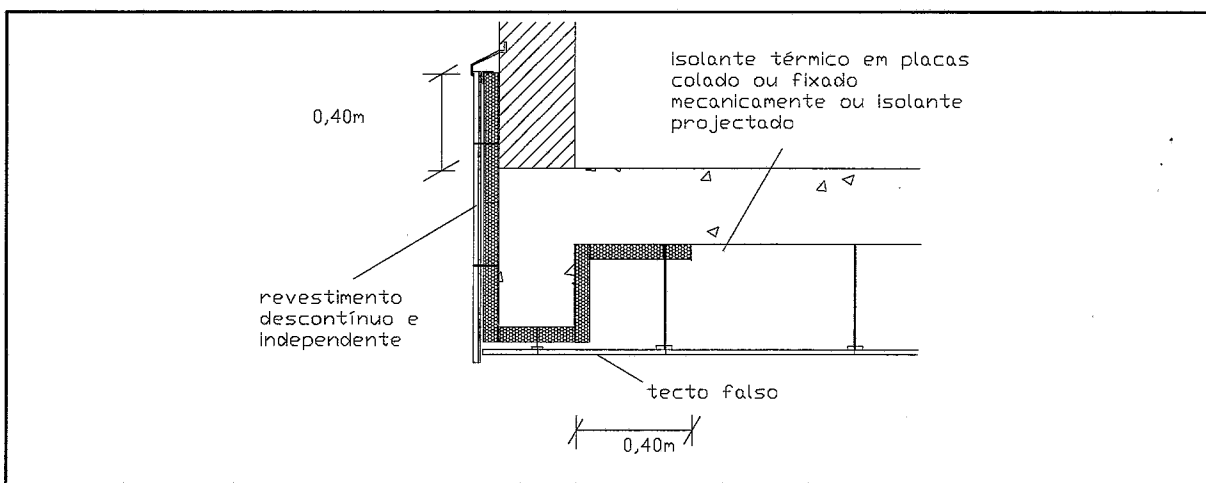


Figura 4.43 - Pormenor da correcção térmica com revestimento descontínuo e independente na zona de parede e isolante fixado à laje com disfarce com tecto falso

Na Figura 4.44 pode visualizar-se, de forma simples, o possível aspecto desta zona de fachada com realização da correcção pelo exterior.

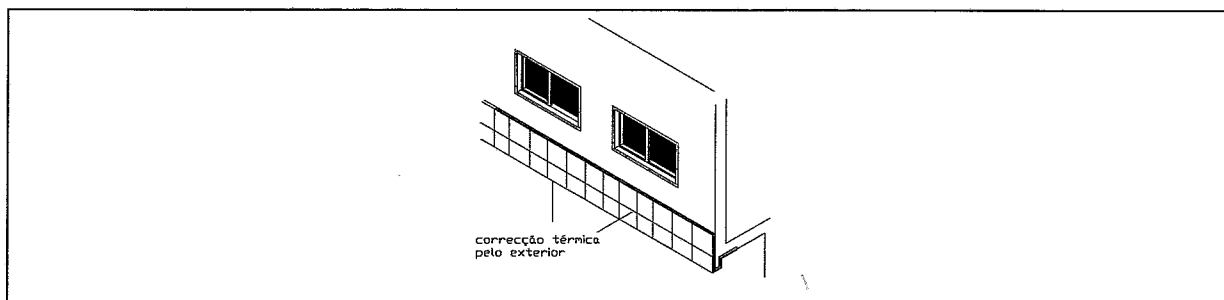


Figura 4.44 - Perspectiva possível da correcção térmica pelo exterior em zona de ligação de parede com laje de pavimento

4.9.2 GEOMETRIAS COM FORRA CERÂMICA PELO EXTERIOR

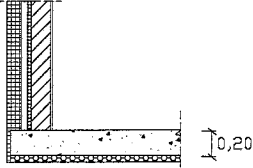
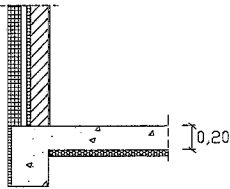
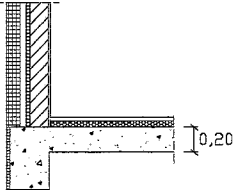
4.9.2.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

Também para esta geometria se provou em [3] que as forras cerâmicas realizadas não resolvem o problema das pontes térmicas (Quadro 4.26).

QUADRO 4.26 – Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre laje de pavimento sobre espaço exterior e parede exterior [3]

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Isolamento Parede 2cm	Isolamento Parede 5cm
CE	0,53	0,46
CF	0,44	0,37
CG	0,58	0,54
CH	0,44	0,37
CI	0,43	0,41

QUADRO 4.26 – Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre laje de pavimento sobre espaço exterior e parede exterior [3] – Continuação

<i>Geometria</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>	
	<i>Isolamento Parede 2cm</i>	<i>Isolamento Parede 5cm</i>
<p><i>CJ</i></p> 	0,42	0,40
<p><i>CL</i></p> 	0,55	0,54
<p><i>CM</i></p> 	0,43	0,41

Os valores do factor de temperatura superficial máximo permanecem relativamente elevados.

4.9.2.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA DAS GEOMETRIAS *CE, CF, CH, CI, CJ, CL* E *CM*

Podem ser utilizadas as soluções referidas no ponto 4.9.1.2, mantendo a forra cerâmica.

Outra solução será substituir a forra cerâmica por um material isolante térmico e prolongá-lo para a zona corrente. Convém salientar, tal como já foi referido, que esta solução implica que seja garantida a estabilidade do pano exterior de parede semi-apoiado através das técnicas de estabilização de paredes referidas no capítulo 5. Por vezes esta estabilização tem que ser obrigatoriamente realizada por insuficiência de apoio do pano exterior.

Nos Quadros 4.27 e 4.28 apresentam-se as soluções.

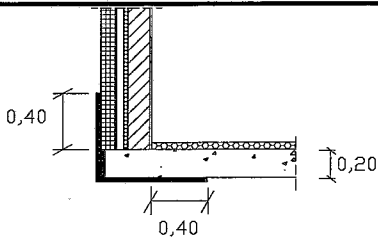
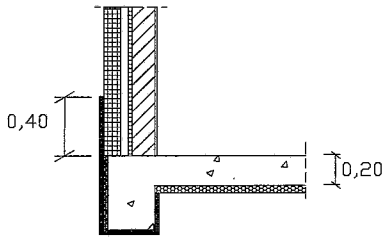
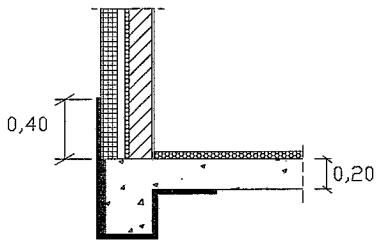
QUADRO 4.27 – Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para as Geometrias CE, CF, CG e CH

Representação Esquemática Da Solução	Espessura Da Correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
<p>CEI</p>	0,08/0,05	<0,33
<p>CFI</p>	0,08/0,05	<0,35
<p>CGI</p>	0,08/0,05	<0,37
<p>CHI</p>	0,08/0,05	<0,36

QUADRO 4.28 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para as Geometrias CI, CJ, CL e CM

Representação Esquemática Da Solução	Espessura Da Correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
<p>CH</p>	0,08/0,05	<0,33

QUADRO 4.28 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para as geometrias
CI, CJ, CL E CM – Continuação

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura Da Correção (m)</i>	<i>τ_{máximo}</i>
<p><i>CJI</i></p> 	0,08/0,05	<0,35
<p><i>CLI</i></p> 	0,08/0,05	<0,37
<p><i>CMi</i></p> 	0,08/0,05	<0,36

4.9.2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As soluções apresentadas originam melhores resultados que as soluções propostas para as geometrias sem forra cerâmica porque é introduzida uma espessura de isolante térmico na zona onde existia forra cerâmica e porque as geometrias sem forra são mais gravosas do que as geometrias com forra.

4.9.2.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *CEI, CGI, CII E CLI*

A utilização das soluções isolamento térmico referidas para as soluções sem forra cerâmica podem ser aplicadas também nestes casos. A solução de painéis prefabricados e sistemas descontínuos e independentes pode ter vantagens, visto que se podem garantir juntas na zona de mudança da espessura do isolante (Ponto 4.9.1.4). Deve ser realizada a estabilização do pano de parede (Capítulo 5 –Ponto 5.3.1).

4.9.2.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *CF1*, *CHI*, *CJI* E *CMI*

O isolamento parcial desta zona também pode ser realizado com o recurso aos vários sistemas de isolamento térmico existentes. As soluções podem ser idênticas às referidas no ponto 4.9.1.6.

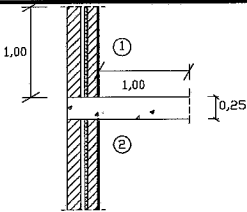
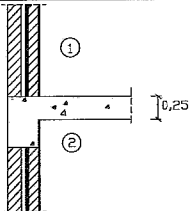
4.10. LIGAÇÃO ENTRE UMA LAJE DE NÍVEL INTERMÉDIO E UMA PAREDE EXTERIOR

4.10.1 GEOMETRIAS SEM FORRA CERÂMICA

4.10.1.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

Este tipo de ligação não é, em geral, muito problemático, contudo existem algumas situações em que podem surgir anomalias. Veja-se, no Quadro 4.29, os valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para duas geometrias de ligação.

QUADRO 4.29 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de piso e uma parede exterior – Isolamento na caixa-de-ar [3]

Geometria	Compartimento	$\tau_{\text{máximo}}$	
		Isolamento. Parede 2cm	Isolamento Parede 5cm
	1	0,32	0,31
	2	0,29	0,27
	1	0,35	0,34
	2	0,43	0,42

Verifica-se que o aumento da espessura de isolante térmico corresponde a uma diminuição pouco significativa dos valores do τ . O compartimento 1 apresenta valores mais gravosos que o compartimento 2, quando não existe viga, mas verifica-se o inverso quando existe.

O gráfico da Figura 4.45 é representativo das isotérmicas e das linhas de fluxo para a geometria DB, com uma espessura de isolante na caixa-de-ar de 0,03 m.

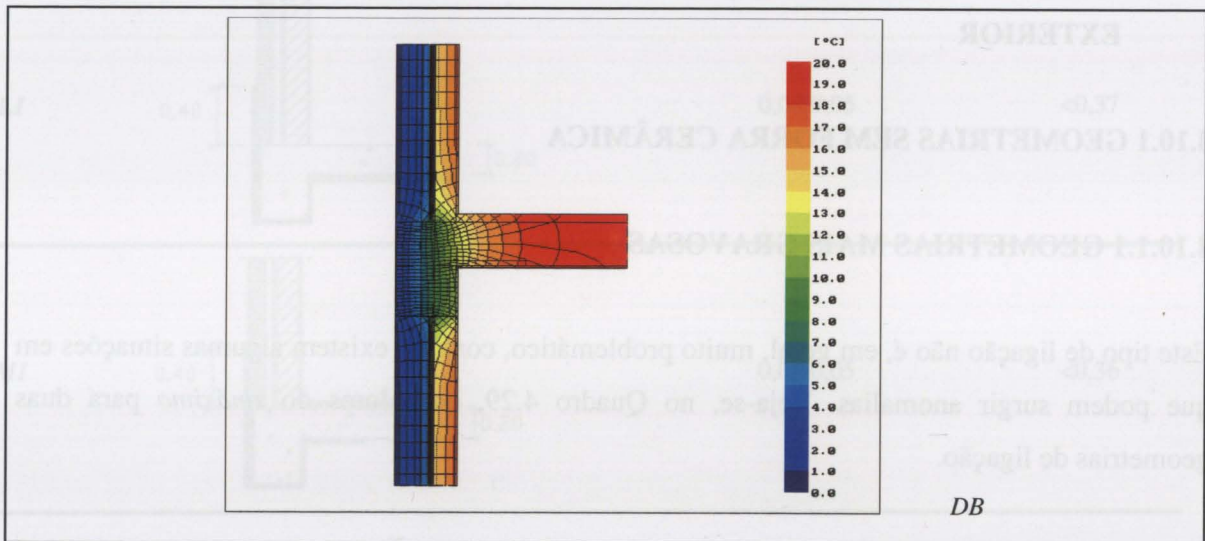
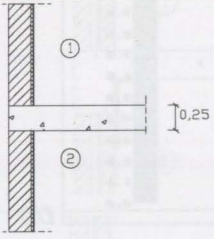
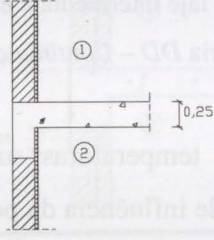


Figura 4.45 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre laje de nível intermédio e uma parede exterior dupla com isolamento caixa de ar

A zona mais crítica situa-se na superfície interior correspondente à viga de betão armado. A ponte térmica, nesta situação, exerce na laje uma influência pouco profunda.

No que respeita ao sistema de isolamento pelo interior o Quadro 4.30 apresenta valores do factor de temperatura superficial para uma parede simples de tijolo furado.

QUADRO 4.30 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de piso intermédio e uma parede exterior – Isolamento pelo interior [3]

Geometria	Compartimento	τ _{máximo}	
		Isolamento. Parede 2cm	Isolamento. Parede 5cm
	1	0,42	0,40
	2	0,39	0,38
	1	0,44	0,42
	2	0,46	0,43

A situação de isolamento pelo interior apresenta valores pouco satisfatórios, verificando-se que com este sistema as situações são agravadas relativamente ao sistema anterior. Verifica-se também que a existência da viga faz transferir o valor máximo do factor de temperatura superficial do compartimento 1 para o compartimento 2. Os diagramas seguintes apresentam as linhas isotérmicas e de fluxo de calor (Figura 4.46).

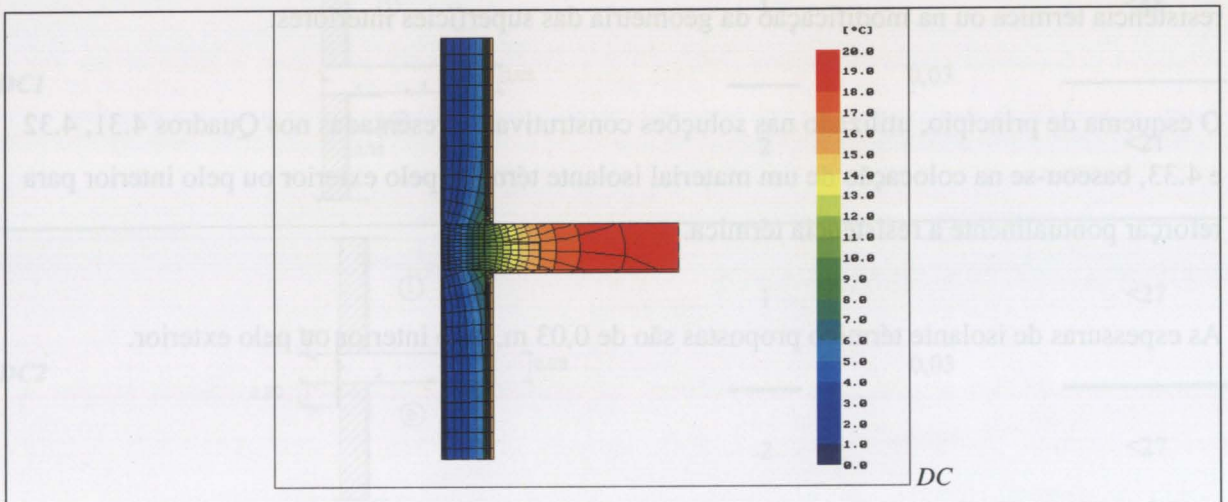


Figura 4.46 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre uma laje intermédia e uma parede exterior simples com isolamento pelo interior – Geometria DC

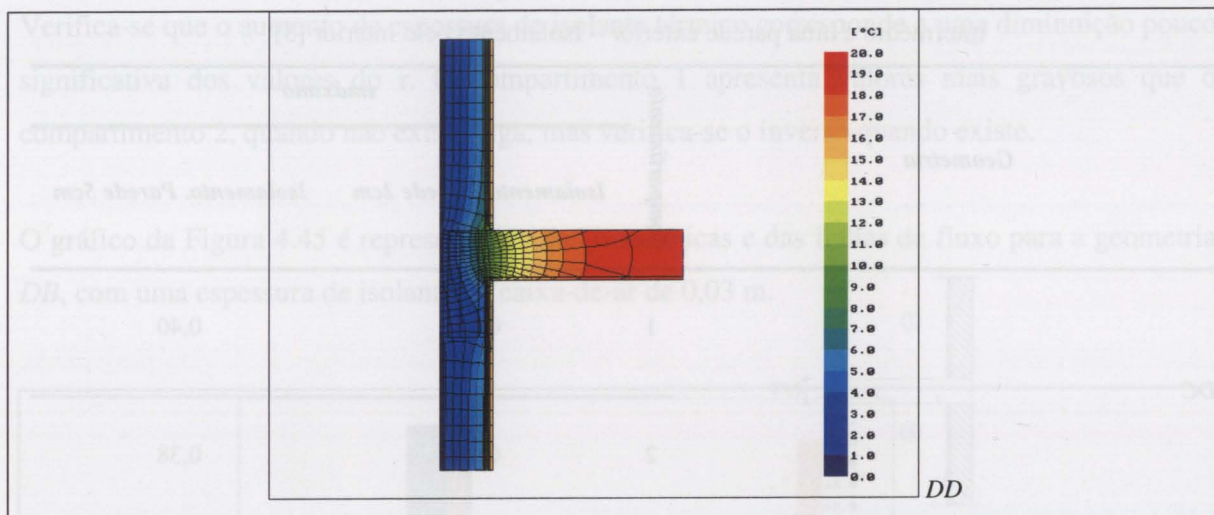


Figura 4.46 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre uma laje intermédia e uma parede exterior simples com isolamento pelo interior – Geometria *DD* – *Continuação*

O isolamento pelo interior origina uma zona de baixas temperaturas superficiais na zona imediatamente após o término do isolamento, sendo a zona de influência da ponte térmica na laje mais extensa que na situação de parede com isolamento na caixa-de-ar.

4.10.1.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS *DA*, *DB*, *DC* E *DD*

A estratégia a adotar incide na colocação de isolantes térmicos para reforço pontual da resistência térmica ou na modificação da geometria das superfícies interiores.

O esquema de princípio, utilizado nas soluções construtivas apresentadas nos Quadros 4.31, 4.32 e 4.33, baseou-se na colocação de um material isolante térmico pelo exterior ou pelo interior para reforçar pontualmente a resistência térmica.

As espessuras de isolante térmico propostas são de 0,03 m, pelo interior ou pelo exterior.

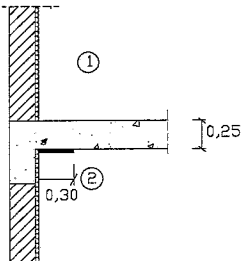
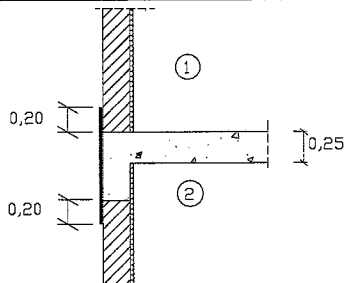
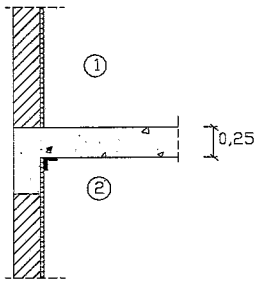
QUADRO 4.31 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a geometria DB

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Compartmento</i>	<i>Espessura Da Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	1	0,03	-
	2		<0,21
	1	0,03	<0,27
	2		<0,27

QUADRO 4.32 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a geometria DC

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Compartmento</i>	<i>Espessura Da Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	1	0,03	<48
	2		<21
	1	0,03	<27
	2		<27

QUADRO 4.33 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a geometria *DD*

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Compartimento</i>	<i>Espessura Da Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	1	0,03	0,48
	2		0,21
	1	0,03	0,27
	2		0,27
	1	-	0,35
	2		0,32

A actuação preconizada pelas soluções *DB1*, *DC1* e *DD1* pode ser aplicável a geometrias que incluam consolas de betão armado, já que uma reabilitação pelo exterior nessas situações se torna complicada.

4.10.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Verificam-se reduções importantes dos valores do $\tau_{\text{máximo}}$. Conclui-se que realizar apenas a correcção térmica no compartimento 2 pode agravar os valores no compartimento 1 (por exemplo a solução *DD1*). A realização das várias camadas de revestimento de piso (nomeadamente em madeira ou cortiça) reduzirá esse valor, camadas que não foram consideradas no cálculo. Os valores máximos do factor de temperatura superficial no

compartmento 1 verificam-se apenas na laje e estão agravados pelo facto de não serem consideradas na simulação numérica todas as camadas usuais de revestimento de piso. Considera-se que a correcção deve ter cerca de 0,20 m de prolongamento e 0,02m de espessura, para que melhore a situação no compartimento 2 mas não piore a situação no compartimento 1.

As correcções pelo exterior têm um efeito eficaz nos dois compartimentos.

4.10.1.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DA SOLUÇÃO DBI

Para estas geometrias podem ser aplicadas as soluções apresentadas no ponto 4.8.1.5. A utilização de sancas e tectos falsos pode servir como resolução estética da correcção, tornando possível a ocultação da correcção. Apresentam-se na Figura 4.47 algumas soluções de disfarce.

O problema do compartimento 1 pode ser limitado realizando um pavimento flutuante e um rodapé de madeira alto, com execução do pormenor da Figura 4.6, ou então realizando um lambril na parede que inclua isolante térmico, sendo este ligado ao isolante térmico do pavimento.

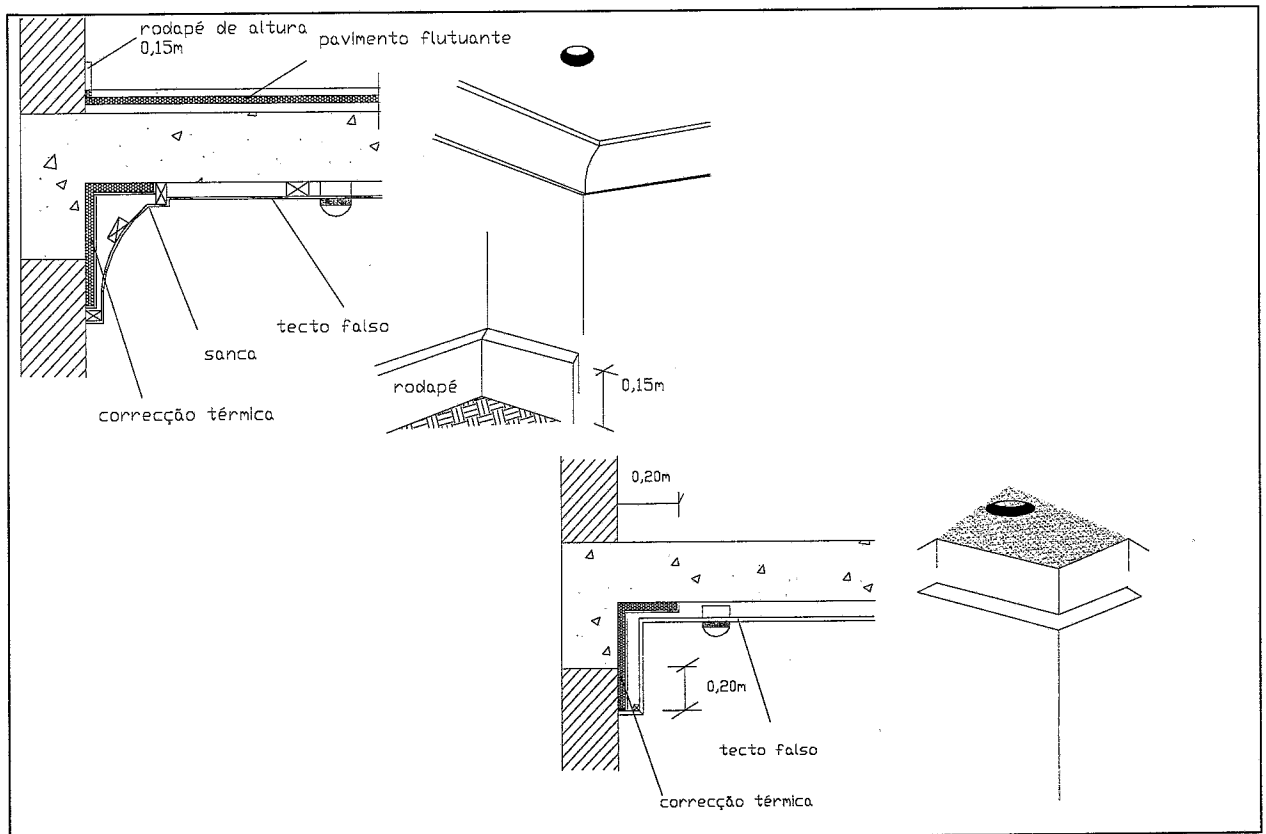


Figura 4.47 - Pormenor de correcção térmica pelo interior com isolamento parcial da ponte térmica e disfarce com tecto falso

4.10.1.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES DB2, DC2 E DD2

Para a correcção pelo exterior é necessário pensar na solução térmica mas também na solução construtiva. A correcção pelo exterior pode ser resolvida com os sistemas disponíveis no mercado para isolamento pelo exterior, aplicados pontualmente na zona afectada pela ponte térmica. Na Figura 4.48 apresentam-se dois tipos de sistemas: o sistema com placas pré-fabricadas revestimento/isolante térmico e o sistema de revestimento descontínuo e independente.

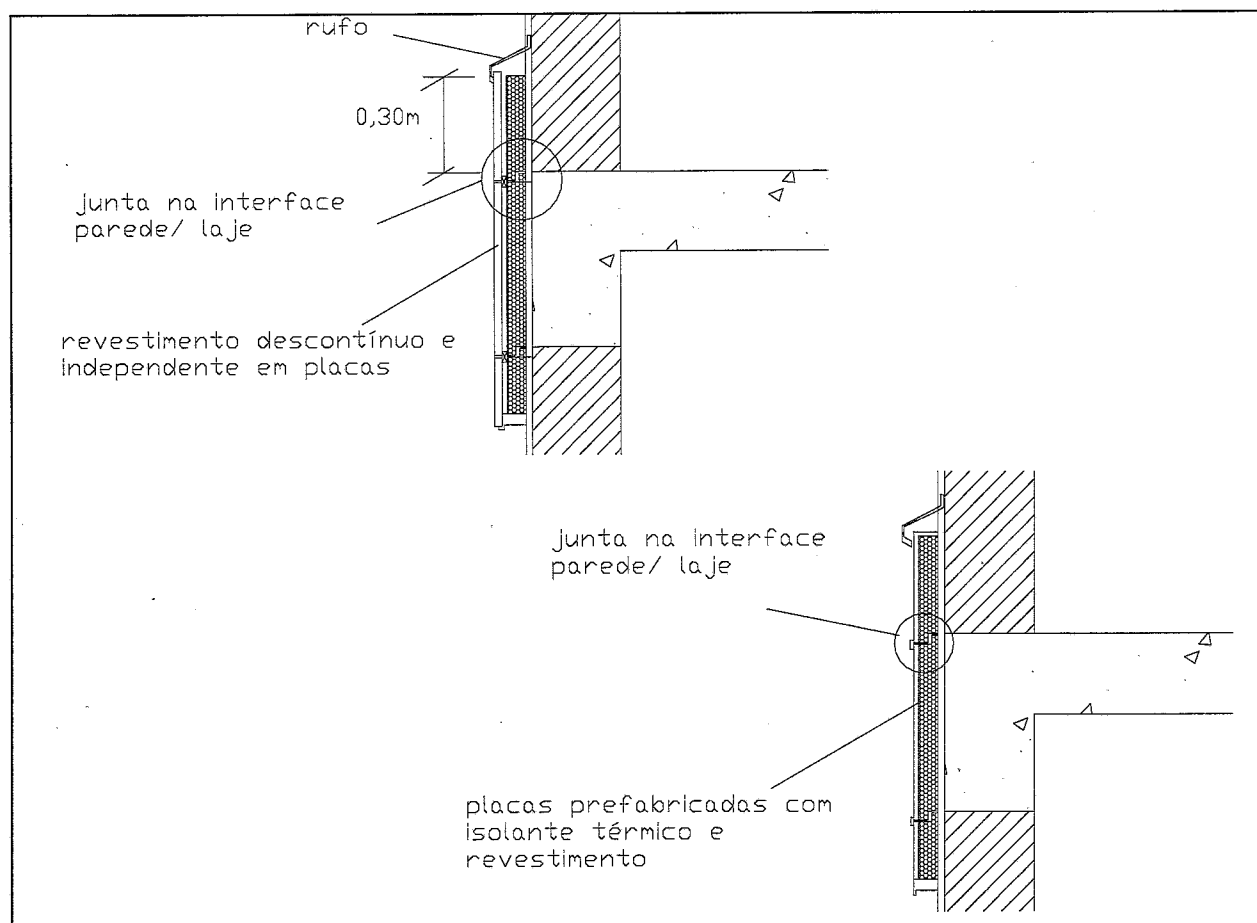


Figura 4.48 – Pormenor de reabilitação térmica pontual pelo exterior com placas prefabricadas e revestimento descontínuo sobre isolante

Na Figura 4.49 pode visualizar-se um possível aspecto de uma intervenção de reabilitação térmica pontual pelo exterior nesta zona de ponte térmica.



Figura 4.49 – Aspecto visual possível de correção térmica pelo exterior em zona de ligação de laje intermédia com parede exterior

A modificação exterior resultante desta correção parece ser possível de ser realizada, necessitando de um estudo de enquadramento arquitectónico da zona em causa relativamente ao conjunto da fachada do edifício.

4.10.1.6 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES DC1 E DDI

O prolongamento do sistema de isolamento térmico da parede pode fazer-se recorrendo ou não ao mesmo sistema utilizado inicialmente. A correção pode ficar à vista ou ser disfarçada de formas variadas, já mencionadas em soluções de reabilitação anteriores. A limitação da ponte térmica no compartimento 1 pode ser realizada recorrendo à introdução de um rodapé de madeira ou, em situações mais graves, um pavimento flutuante. Na Figura 4.50 apresentam-se pormenores.

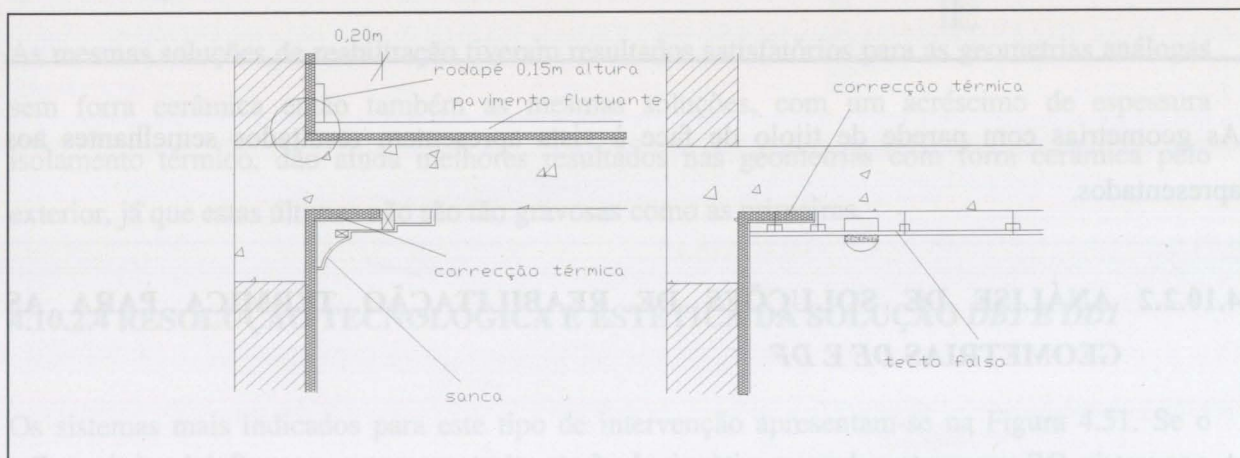


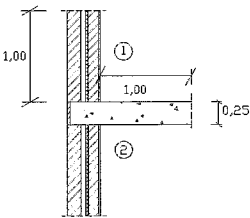
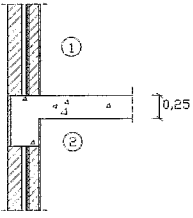
Figura 4.50 - Pormenor de correção térmica pelo interior com prolongamento do isolamento existente na parede

4.10.2 GEOMETRIAS COM FORRA CERÂMICA PELO EXTERIOR

4.10.2.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

Pode-se dizer que a existência de forras cerâmicas nesta geometria é suficiente para melhorar a situação nas geometrias sem viga (Quadro 4. 34).

QUADRO 4.34- Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de piso intermédio e uma parede exterior – Isolamento na caixa de ar [3]

Geometria	Compartimento	$\tau_{\text{máximo}}$	
		Isolamento parede 2cm	Isolamento parede 5cm
	1	0,30	0,29
	2	0,27	0,26
	1	0,33	0,32
	2	0,40	0,39

As geometrias com parede de tijolo de face à vista apresentam resultados semelhantes aos apresentados.

4.10.2.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS DE E DF

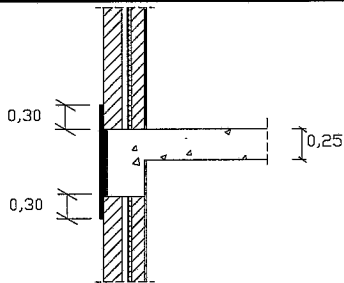
A geometria DE apresenta valores aceitáveis do factor de temperatura superficial máximo. Por isso não será uma geometria com particular necessidade de correcção térmica.

A utilização de soluções pelo exterior e interior é sempre possível nos mesmos moldes que o proposto para a mesma geometria sem forra cerâmica (Ponto 4.10.1.2).

Quando a forra cerâmica existente é a fonte de problemas mecânicos e resulta em anomalias, uma das estratégias a adoptar será substituir essa correcção por outros materiais mais resistentes termicamente. É necessário proceder a medidas de estabilização das paredes (Capítulo 5).

No Quadro 4.35 apresenta-se uma solução pelo exterior.

QUADRO 4.35 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria *DF*

<i>Representação esquemática da solução</i>	<i>Compartmento</i>	<i>Espessura da correcção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	1	0,06/0,03	<0,27
	2		<0,27

4.10.2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As mesmas soluções de reabilitação tiveram resultados satisfatórios para as geometrias análogas sem forra cerâmica então também as mesmas soluções, com um acréscimo de espessura isolamento térmico, dão ainda melhores resultados nas geometrias com forra cerâmica pelo exterior, já que estas últimas não são tão gravosas como as primeiras.

4.10.2.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DA SOLUÇÃO *DB1* E *DD1*

Os sistemas mais indicados para este tipo de intervenção apresentam-se na Figura 4.51. Se o sistema aplicado for de painéis prefabricados, deverão ser realizados à medida da extensão a corrigir, criando, se possível, as juntas entre painéis coincidentes com a ligação entre a laje e a parede de alvenaria.

Pode haver necessidade de conciliar intervenções de carácter térmico e construtivo e é necessário fazer a estabilização dos panos de parede (Capítulo 5).

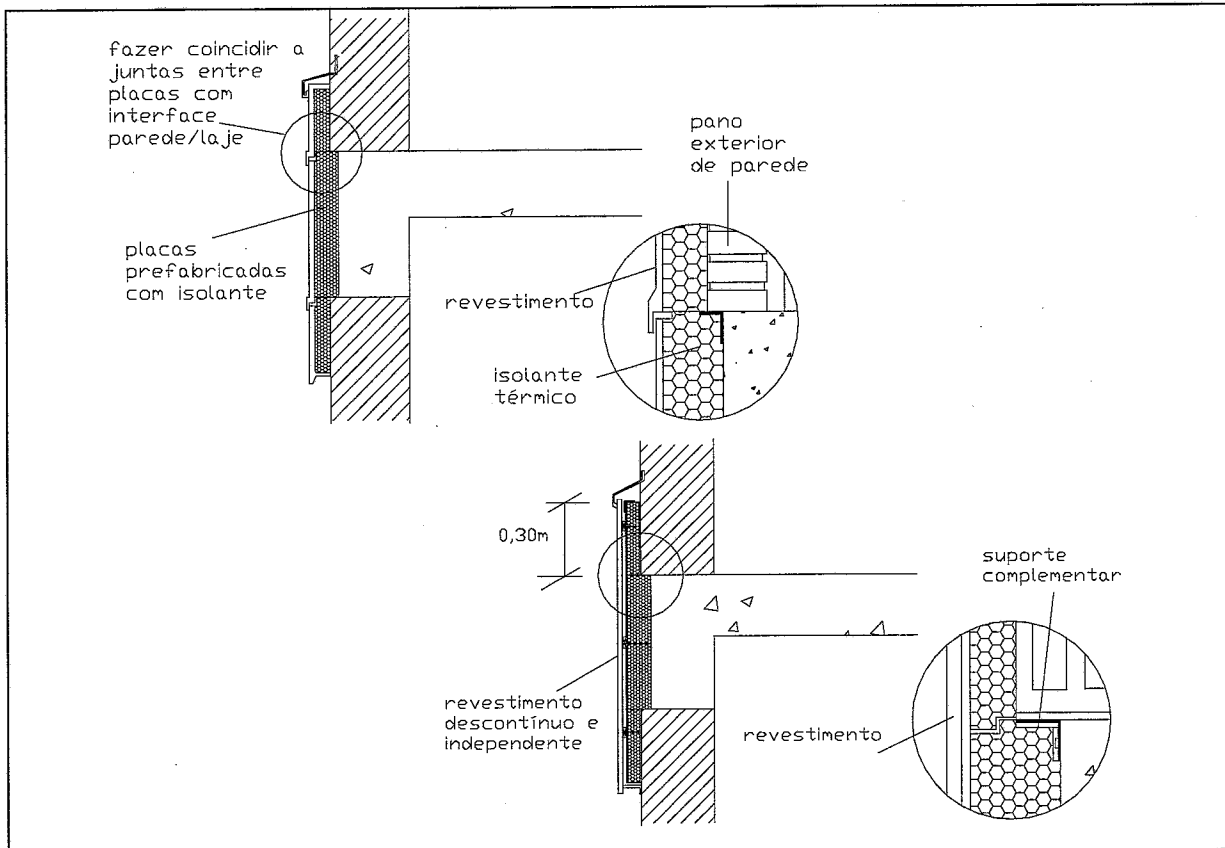


Figura 4.51- Pormenor da correcção térmica pelo exterior da ponte térmica com dois sistemas de isolamento pelo exterior e possível aspecto exterior

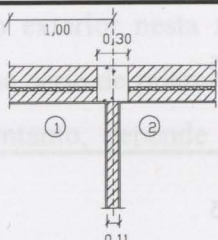
4.11 LIGAÇÃO ENTRE UMA PAREDE EXTERIOR E UMA PAREDE DIVISÓRIA

4.11.1 GEOMETRIAS SEM FORRA CERÂMICA

4.11.1.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

Este tipo de ligação não é em geral muito problemática, contudo existem algumas situações em que os valores são suficientemente elevados para justificar correcção. O Quadro 4.36 apresenta os valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para a geometria de ligação mais desfavorável.

QUADRO 4.36 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de piso e uma parede exterior dupla – Isolamento na caixa-de-ar [3]

Geometria	Compartimento	$\tau_{\text{máximo}}$	
		Isolamento Parede 2cm	Isolamento Parede 5cm
	1	0,40	0,40
	2	0,40	0,40

Veja-se o diagrama de linhas isotérmicas, apresentado na Figura 4.52, para a geometria referida.

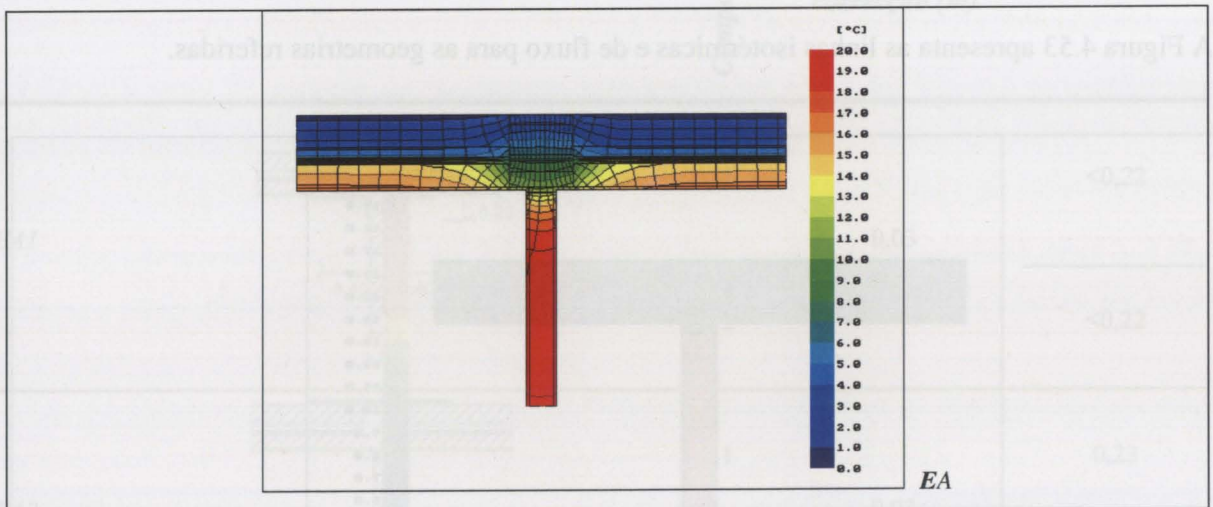
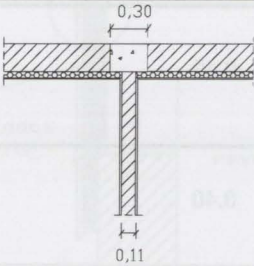


Figura 4.52 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação entre parede divisória e uma parede exterior dupla com isolamento térmico na caixa de ar

A zona mais crítica situa-se na superfície correspondente ao pilar de betão. A zona de influência estende-se pela superfície de parede numa extensão curta. O Quadro 4.37 apresenta valores para uma parede simples de tijolo furado de 22cm com isolante térmico pelo interior.

QUADRO 4.37 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma parede exterior simples e uma parede divisória – Isolamento pelo interior [3]

Geometria	Compartimento	$\tau_{\text{máximo}}$	
		Isolamento Parede 2cm	Isolamento Parede 5cm
	1	0,45	0,40
	2	0,45	0,40

O isolamento térmico pelo interior agrava os valores do factor máximo relativamente à situação de isolante térmico na caixa-de-ar.

A Figura 4.53 apresenta as linhas isotérmicas e de fluxo para as geometrias referidas.

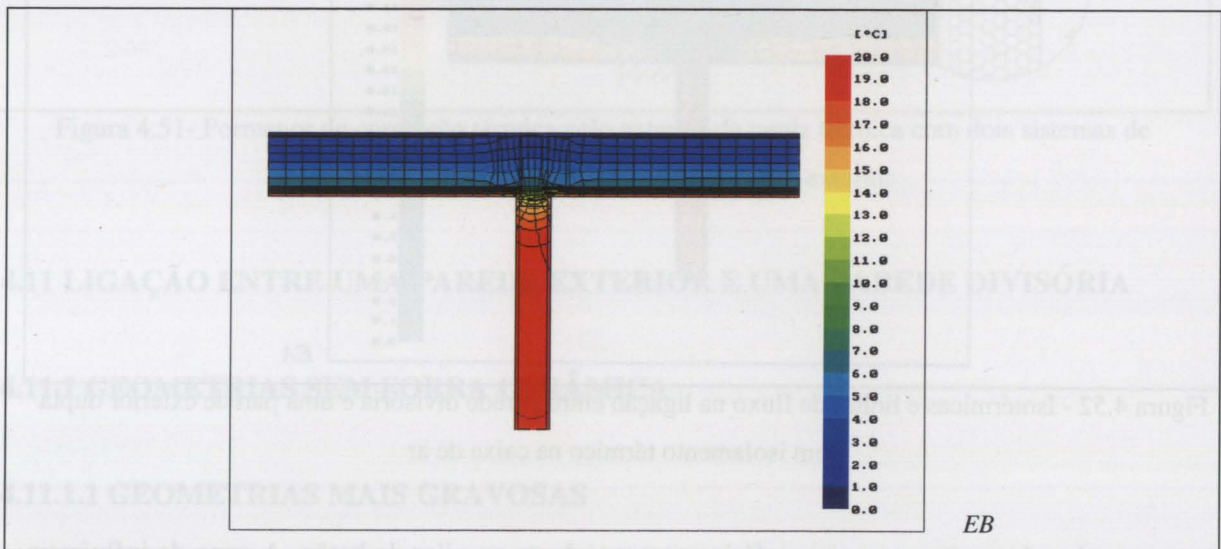


Figura 4.53 - Isotérmicas e linhas de fluxo na ligação uma parede divisória e uma parede exterior simples com isolamento térmico pelo interior

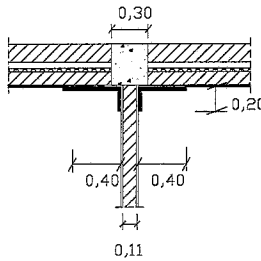
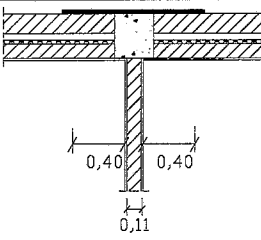
A zona de influência da ponte térmica é pequena e localizada, imediatamente após o término do isolamento térmico

4.11.1.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA AS GEOMETRIAS EA E EB

A estratégia a adotar incide também na colocação de isolantes térmicos ou materiais termicamente eficientes para reforço da resistência térmica, que abranjam a zona de influência da ponte térmica. Também pode ser utilizada a solução de corte da aresta proposta para ligação entre duas paredes exteriores (Quadro 4.8 - Solução AA2).

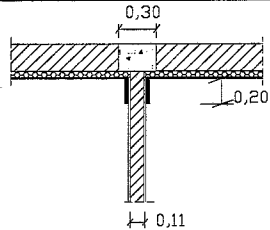
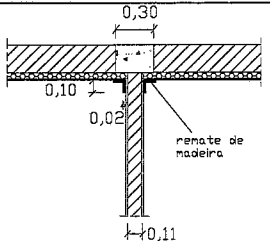
A reabilitação pelo exterior nesta zona não parece ser esteticamente muito aceitável porque existem sempre uma série de pilares ao longo da fachada, o que implica a realização da mesma várias vezes. No entanto, depende de cada caso concreto e pode eventualmente ser possível (Quadro 4.38).

QUADRO 4.38 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a geometria EA

<i>Representação esquemática da solução</i>	<i>Compartmento</i>	<i>Espessura da correcção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	1	0,03	<0,22
	2		<0,22
	1	0,03	0,23
	2		0,23

Nas situações de isolamento térmico pelo interior, a utilização de um remate de madeira na zona de interrupção do isolante térmico pode ser uma solução simples e eficaz. Dar continuidade ao mesmo também é uma proposta (Quadro 4.39).

QUADRO 4.39 - Valores máximos do factor de temperatura superficial – Soluções para a geometria EB

Representação esquemática da solução	Compartimento	Espessura de correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
	1	0,03	0,22
	2		0,22
	1	-	0,29
	2	-	0,29

4.11.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Verifica-se que a utilização da solução EB2 é suficiente para corrigir a ponte térmica. As restantes soluções são mais eficientes mas retiram mais espaço útil.

4.11.1.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DA SOLUÇÃO EA1

Recorre-se a um sistema de isolamento térmico pelo interior (Figura 4.54).

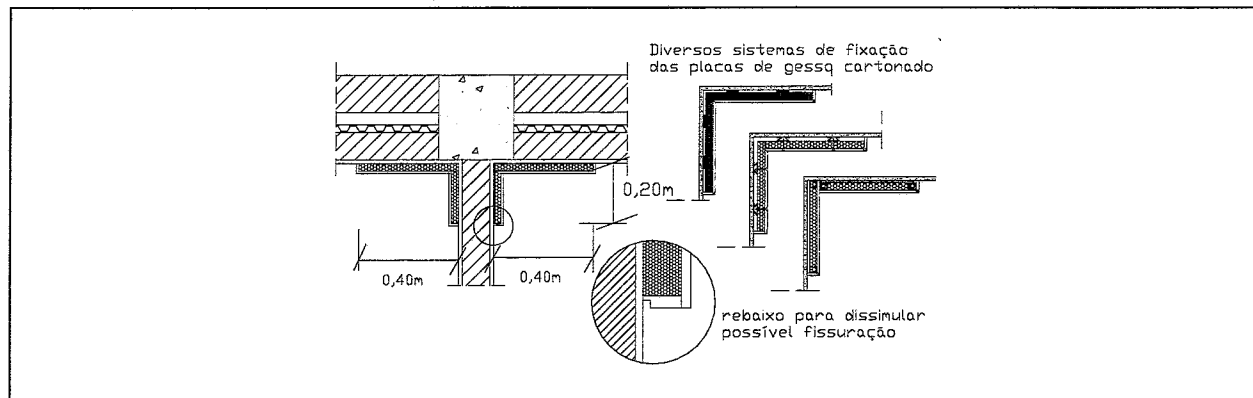


Figura 4.54 - Pormenor da correção térmica pelo interior com placas de isolante térmico com revestimento de gesso cartonado

Na Figura 4.55 pode visualizar-se um possível aspecto de uma parede com realização da correcção apresentada.

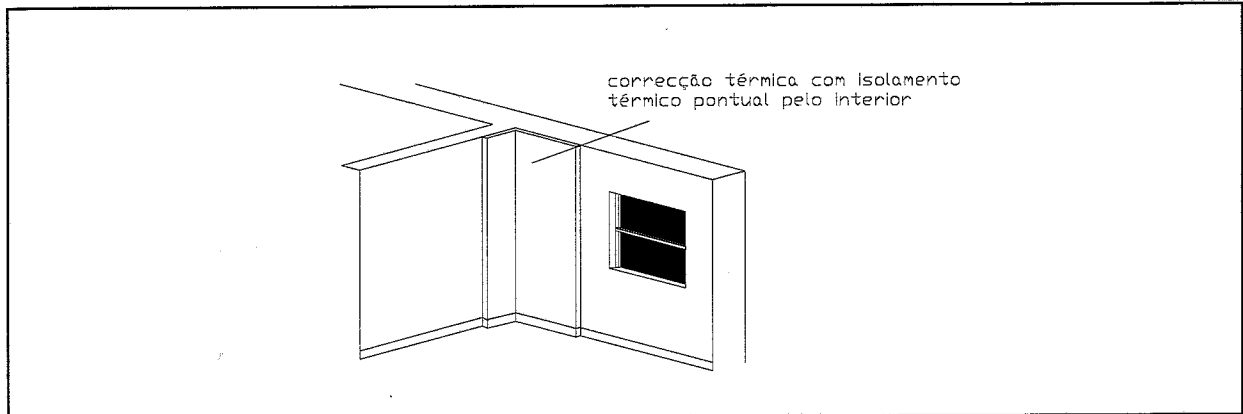


Figura 4.55 – Aspecto visual da correcção pelo interior em zona de ligação de parede exterior com parede divisória interior

4.11.1.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES EB1 E EB2

O prolongamento do sistema de isolamento térmico da parede deve fazer-se recorrendo, se possível, ao mesmo sistema que já existe.

O isolante térmico de correcção deve ficar totalmente ligado ao isolante existente, para que não continue a haver pontos termicamente fracos (Figura 4.56).

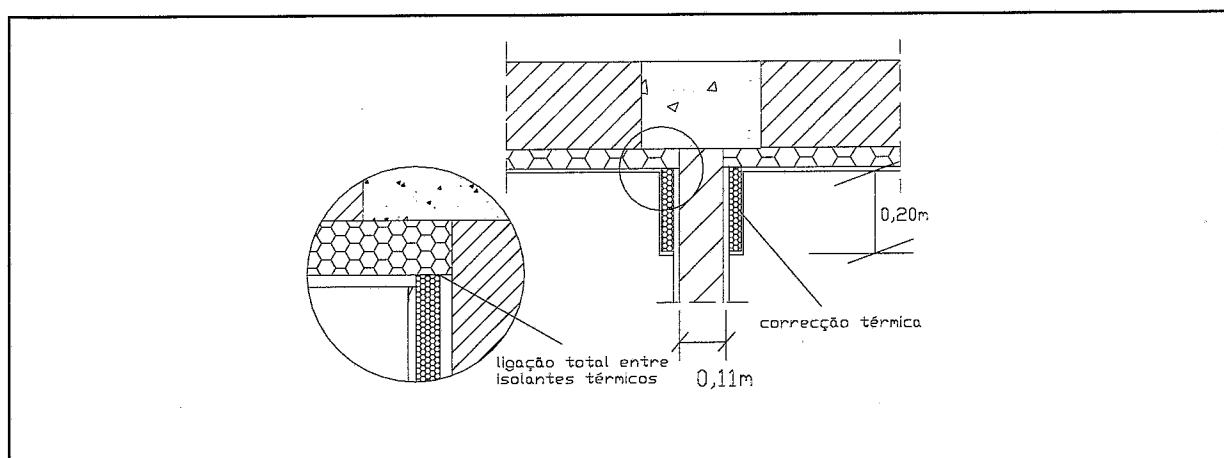


Figura 4.56 - Pormenor de correcção pelo interior com aplicação de um isolante térmico prolongado pela parede divisória a partir do isolante existente

A correcção térmica pode ficar à vista ou ser disfarçada de formas variadas, aproveitando, por exemplo, a zona para inserção de mobiliário ou outro tipo de elemento decorativo, análogo ao que já foi desenvolvido na ligação entre duas paredes exteriores (Figura 4.57).

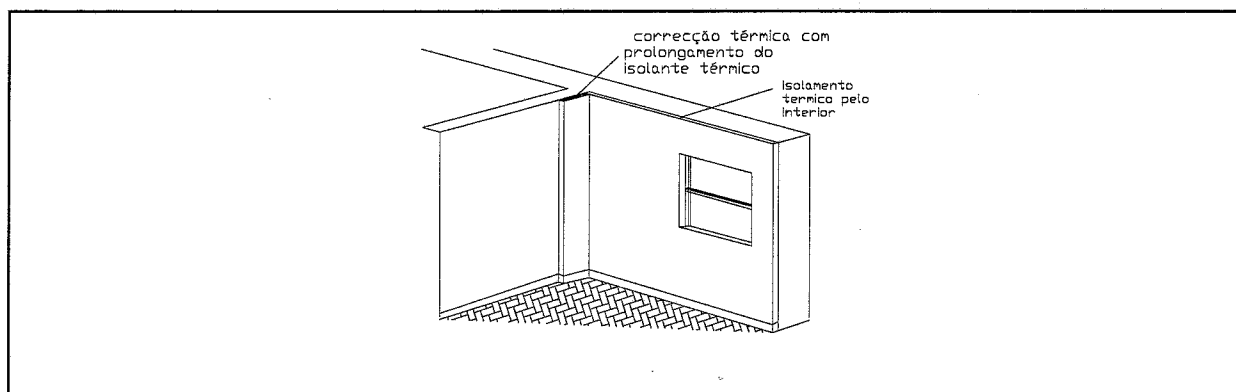


Figura 4.57 - Perspectiva da correcção pelo interior em zona de ligação de parede exterior e parede interior

Quanto ao remate de madeira, podem ser utilizadas formas decorativas variadas tais como são as mostradas na Figura 4.58. Um possível acabamento estético desta solução é apresentado na Figura 4.12.

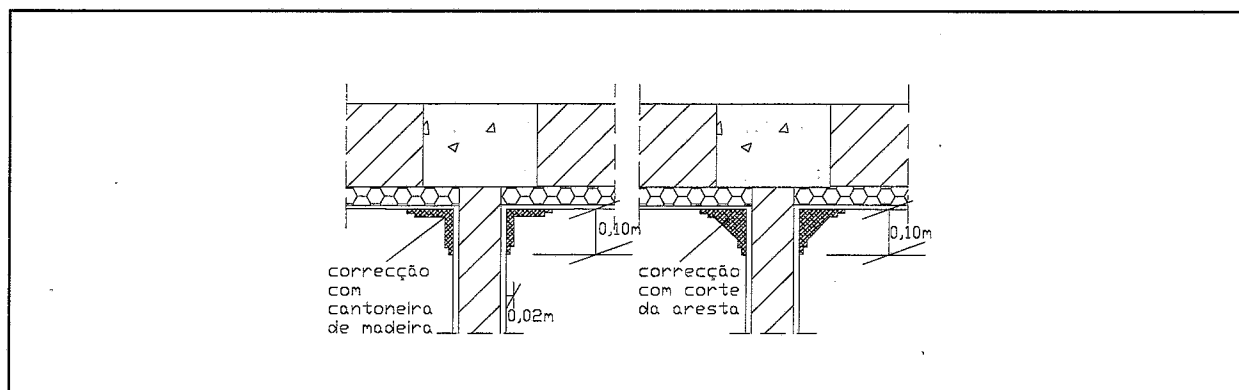


Figura 4.58 - Pormenor de correcção de ponte térmica com cantoneiras ou cantos de madeira ou gesso colados

4.11.1.6 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DA SOLUÇÃO EA2

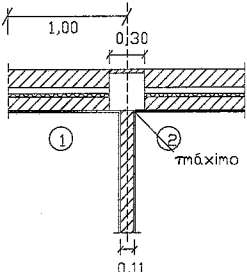
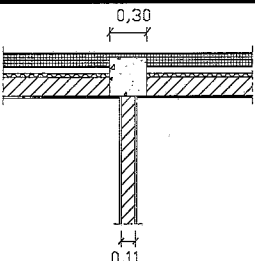
Para a realização desta solução pode-se recorrer aos sistemas de isolamento térmico pelo exterior. Esta solução é muito limitativa em termos de enquadramento arquitectónico (Ponto 4.14.1.5).

4.11.2 GEOMETRIAS COM FORRA CERÂMICA PELO EXTERIOR

4.11.2.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

A correcção cerâmica atenua o efeito da ponte térmica não sendo completamente eficaz (Quadro 4.40).

QUADRO 4.40 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma parede exterior e uma parede divisória – Isolamento na caixa-de-ar [3]

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Isolamento Parede 2cm	Isolamento. Parede 5cm
 <p>Diagrama da geometria EC: uma parede divisória com uma caixa-de-ar de 1,00m de largura e 0,30m de altura. A parede exterior tem 0,11m de espessura. O factor de temperatura superficial máximo é indicado no ponto 2.</p>	0,35	0,34
 <p>Diagrama da geometria ED: uma parede divisória com uma caixa-de-ar de 0,30m de largura e 0,11m de altura. O factor de temperatura superficial máximo é indicado no ponto 1.</p>	0,36	0,35

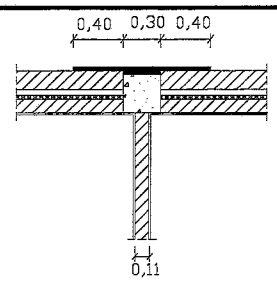
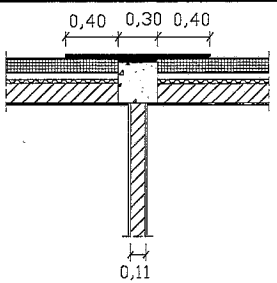
4.11.2.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA AS GEOMETRIAS EC E ED

A reabilitação pelo interior com a solução *EAI* origina bons resultados e pode também ser aplicada nesta situação., já que estas geometrias são menos problemáticas.

A reabilitação pelo exterior é mais limitativa por razões arquitectónicas mas pode ser possível, dependendo da arquitectura de fachada. Pode retirar-se a forra cerâmica e substituí-la por material termicamente isolante (soluções *EC1* e *ED1*) ou mantê-la e colocar isolante térmico sobre a mesma (tal como a solução *EA2*).

No Quadro 4.41 apresentam-se as propostas com a substituição da forra cerâmica.

QUADRO 4.41 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a geometria EC E ED

<i>Representação esquemática da solução</i>	<i>Compartimento</i>	<i>Espessura de correcção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	1	0,06/0,03	<0,23
	2		<0,23
	1	0,06/0,03	<0,23
	2		<0,23

4.11.2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As soluções de reabilitação para a geometria com forra cerâmica dão resultados satisfatórios, já que as mesmas soluções também davam para as geometrias sem forra, que eram ainda mais gravosas do que estas.

4.11.2.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DA SOLUÇÃO ECI E EDI

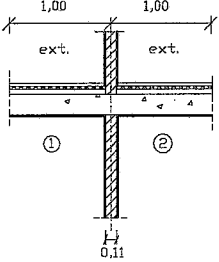
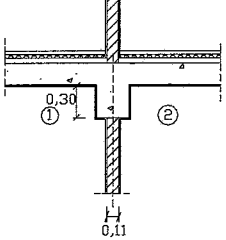
Aplicam-se nesta situação os sistemas de isolamento térmico pelo exterior. Neste caso, há necessidade de sanear os elementos da forra cerâmica, rematar com argamassa e garantir a estabilidade dos panos exteriores de parede (Ponto 5.3.1).

4.12 LIGAÇÃO ENTRE UMA LAJE DE COBERTURA E UMA PAREDE DIVISÓRIA

4.12.1. GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

Em geral não são graves estas geometrias. Existem algumas situações em que os valores são um pouco mais elevados, como é o caso da existência de um murete de cobertura. O Quadro 4.42 apresenta os valores do $\tau_{\text{máximo}}$ para as geometrias onde estes valores são mais elevados.

QUADRO 4.42- Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ligação entre uma laje de cobertura e uma parede divisória [3]

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Isolamento laje 2cm	Isolamento laje 5cm
 <p>Diagrama da geometria FA: uma laje de cobertura ligada a uma parede divisória. A laje tem uma extensão de 1,00 m em ambos os lados da parede. A parede tem uma altura de 0,11 m. As zonas de interesse são rotuladas como 1 e 2.</p>	0,35	0,25
 <p>Diagrama da geometria FB: uma laje de cobertura ligada a uma parede divisória. A laje tem uma extensão de 0,30 m em um lado da parede. A parede tem uma altura de 0,11 m. As zonas de interesse são rotuladas como 1 e 2.</p>	0,31	0,22

Com isolamento térmico na laje de 5cm de espessura a ponte térmica torna-se pouco preocupante. A existência de viga também melhora o fenómeno.

4.12.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS FA E FB

Como se constatou no Quadro 4.47, um aumento da espessura de isolante na laje reduz a ponte térmica a um fenómeno aceitável. A adopção de espessuras elevadas de isolante térmico na cobertura garante a resolução da ponte térmica. No entanto, pode ser dada continuidade ao

isolante térmico da laje, tal como se mostra no Quadro 4.43, para a situação de pouca espessura do mesmo.

QUADRO 4.43 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para as Geometrias FA e FB

<i>Representação Esquemática Da Solução</i>	<i>Espessura De Correção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
<p>FAI.</p>	0,03	0,20
<p>FBI</p>	0,03	0,18

4.12.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A espessura de isolamento térmico da laje tem uma influência decisiva nos resultados finais. A reabilitação térmica só é necessária para espessuras reduzidas de isolante térmico na laje

4.12.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES FAI E FBI

O prolongamento do sistema de isolamento térmico da laje pode fazer-se recorrendo ao uso de um isolante em placas, colado ou fixado mecanicamente ao murete e revestido com um revestimento em placas (Quadro 4.59).

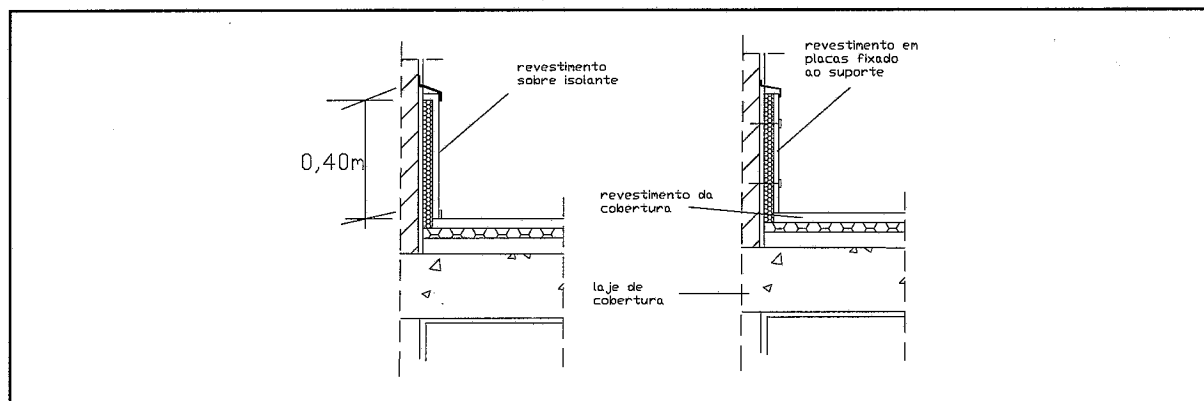


Figura 4.59 - Pormenor da reabilitação térmica da ligação entre laje de cobertura e parede divisória

4.13 LIGAÇÃO ENTRE UM PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO EXTERIOR E UMA PAREDE DIVISORIA

4.13.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

O Quadro 4.44 apresenta algumas das geometrias mais problemáticas, correspondentes a uma parede divisória de tijolo furado de 11 cm.

QUADRO 4.44 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Ligação entre um pavimento sobre espaço exterior e uma parede divisória [3]

Geometria	τ _{máximo}	
	Isolamento laje 2cm	Isolamento laje 5cm
<p>GA.</p>	0,38	0,29
<p>GB</p>	0,37	0,28

Quando o isolamento térmico da laje é de 5cm não existe uma ponte térmica muito problemática. A existência de viga melhora ligeiramente a situação de ponte térmica.

4.13.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS GA E GB

A existência de rodapé de madeira, tal com é habitual em muitos compartimentos, melhora significativamente a situação. A reabilitação pelo interior passa pela introdução de rodapé de madeira e pelo prolongamento do isolante térmico interior da laje de forma que se ligue ao mesmo. A reabilitação pelo exterior pode ser sempre possível (Quadros 4.45 e 4.46).

QUADRO 4.45 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria GA

Representação Esquemática Da Solução	Espessura De Correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
	-	0,24
	0,02	0,21

QUADRO 4.46 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria GB

Representação Esquemática Da Solução	Espessura De Correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
	-	0,24
	0,02	<0,21

A utilização de elevadas espessuras de isolante térmico na laje reduz o efeito da ponte térmica e deixa de haver necessidade de reabilitação

4.13.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores do de τ resultantes são bastante reduzidos.

A colocação de um rodapé melhora, de uma forma simples, o problema desta ponte térmica. Como na maioria das situações existe quase sempre um rodapé de madeira, pode-se dizer que esta situação não provoca grandes anomalias.

4.13.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *GA1* E *GB1*

A Figura 4.60 apresenta pormenor da resolução da ponte térmica com introdução de rodapé.

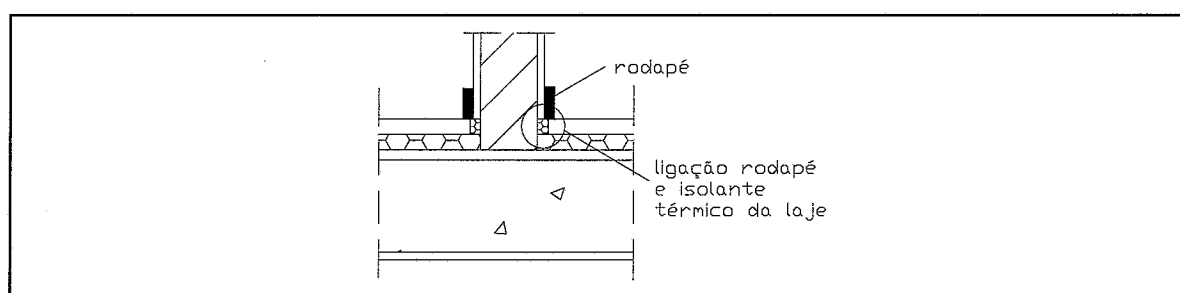


Figura 4.60 - Pormenor da correcção térmica com introdução de rodapé de madeira

4.13.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *GA2* E *GB2*

Nesta situação, parece mais vantajoso optar por uma das duas soluções seguintes:

- Realizar o isolamento térmico com um revestimento armado delgado sobre isolante térmico;
- Executar o isolante térmico, em placas ou projectado, e disfarçar com um tecto falso ou com um revestimento descontínuo em painéis (Figura 4.61).

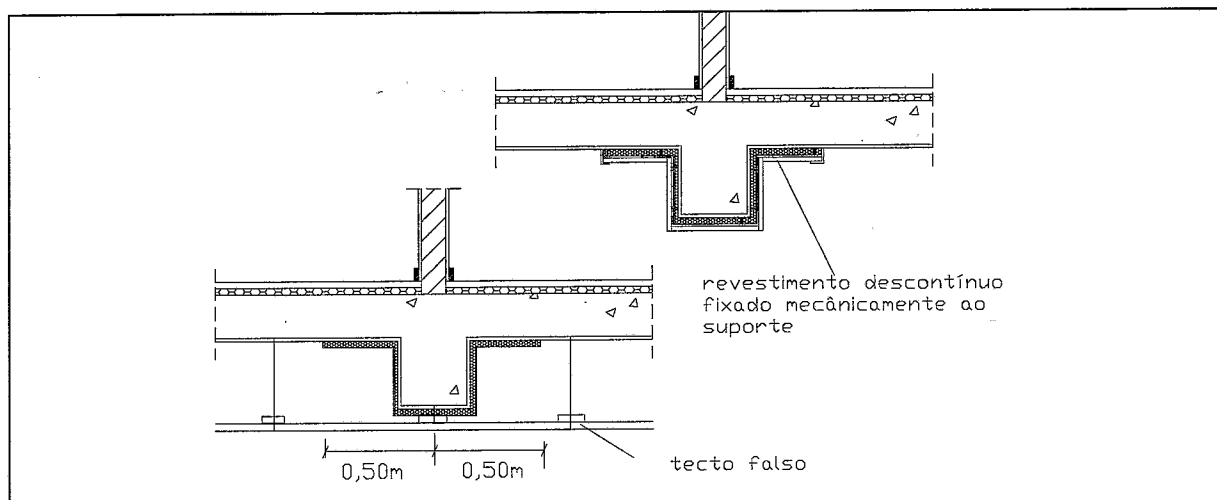


Figura 4.61 - Pormenor da correcção térmica pelo exterior com aplicação de isolante térmico sob laje e protecção com tecto falso ou revestimento descontínuo e independente

4.14 PILAR EM ZONA CORRENTE DE PAREDE

4.14.1 GEOMETRIAS SEM FORRA CERÂMICA

4.14.1.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

De realçar algumas geometrias onde podem surgir anomalias (Quadro 4.47).

QUADRO 4.47 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Pilar em zona corrente [3]

Geometria	τ _{máximo}	
	Isolamento parede 2cm	Isolamento parede 5cm
	0,38	0,37
	0,36	0,36

Vejam-se os gráficos representativos na Figura 4.62 das isotérmicas e das linhas de fluxo para as situações referidas anteriormente, com uma espessura de isolante na caixa-de-ar de 3cm.

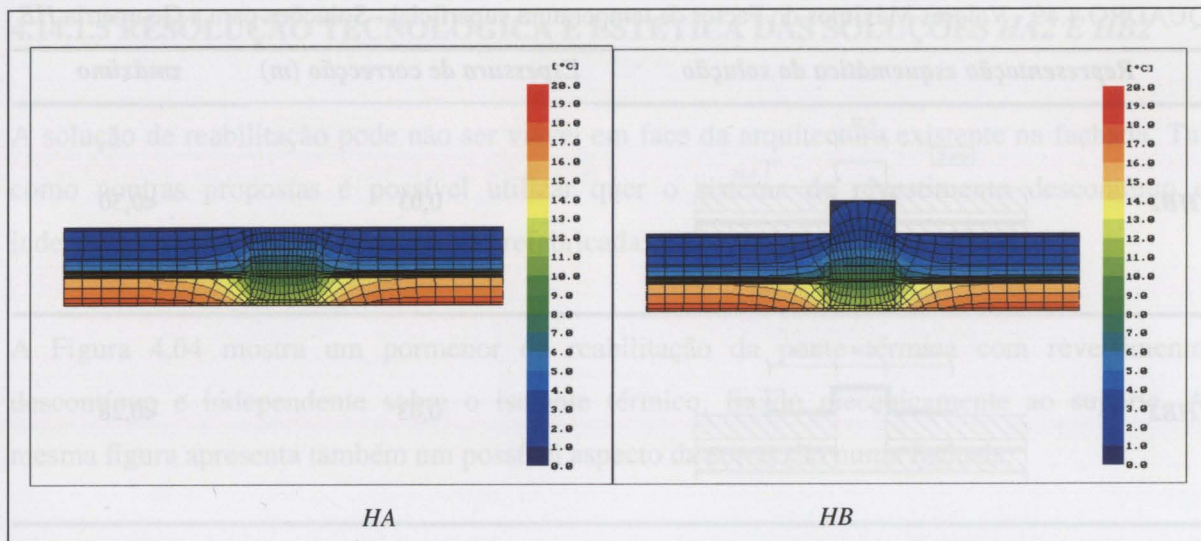


Figura 4.62 - Isotérmicas e linhas de fluxo na zona de pilar em zona corrente de parede

Pode verificar-se que, neste tipo de geometria, a ponte térmica é bastante pontual não criando uma influência significativa na zona de parede.

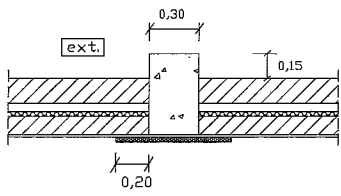
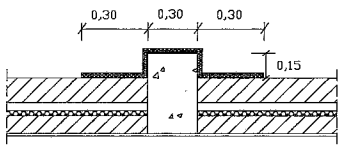
4.14.1.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS HA E HB

Seguindo os mesmos princípios de reabilitação até agora utilizados, apresentam-se as soluções nos Quadros 4.48 e 4.49.

QUADRO 4.48 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria HA

Representação Esquemática Da Solução	Espessura de Correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
	0,03	0,30
	0,03	0,28

QUADRO 4.49 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria *HB*

<i>Representação esquemática da solução</i>	<i>Espessura de correcção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
	0,03	<0,30
	0,03	<0,28

4.14.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores apresentam melhorias significativas relativamente à situação inicial. Neste campo a correcção pelo exterior mostrou-se mais eficaz, mas, não será a mais vantajosa em termos de execução. A reabilitação pelo interior é suficiente.

4.14.1.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *HAI* E *HBI*

A correcção térmica pelo interior pode passar pela utilização pontual dos sistemas de isolamento térmico pelo interior anteriormente referidos (Figura 4.63).

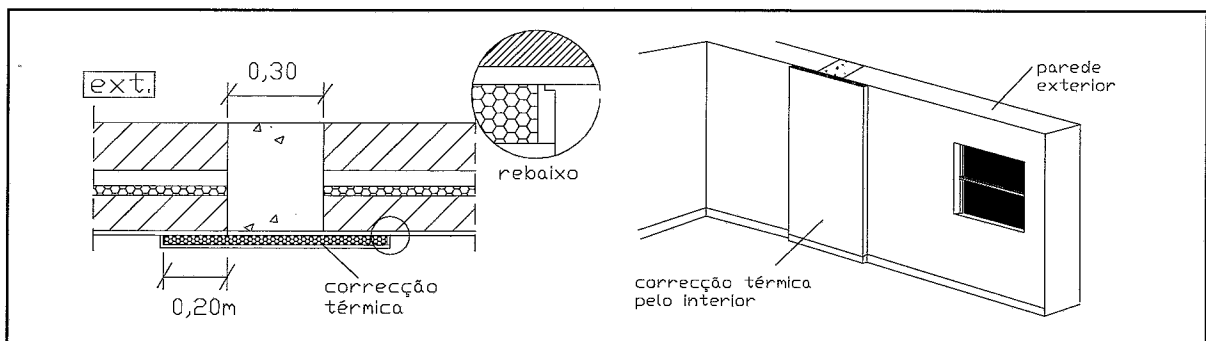


Figura 4.63 - Perspectiva de correcção térmica pelo interior em zona de pilar

4.14.1.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES HA2 E HB2

A solução de reabilitação pode não ser viável em face da arquitectura existente na fachada. Tal como noutras propostas é possível utilizar quer o sistema de revestimento descontínuo e independente quer o sistema de placas prefabricadas.

A Figura 4.64 mostra um pormenor de reabilitação da ponte térmica com revestimento descontínuo e independente sobre o isolante térmico, fixado mecanicamente ao suporte. A mesma figura apresenta também um possível aspecto da correcção numa fachada.

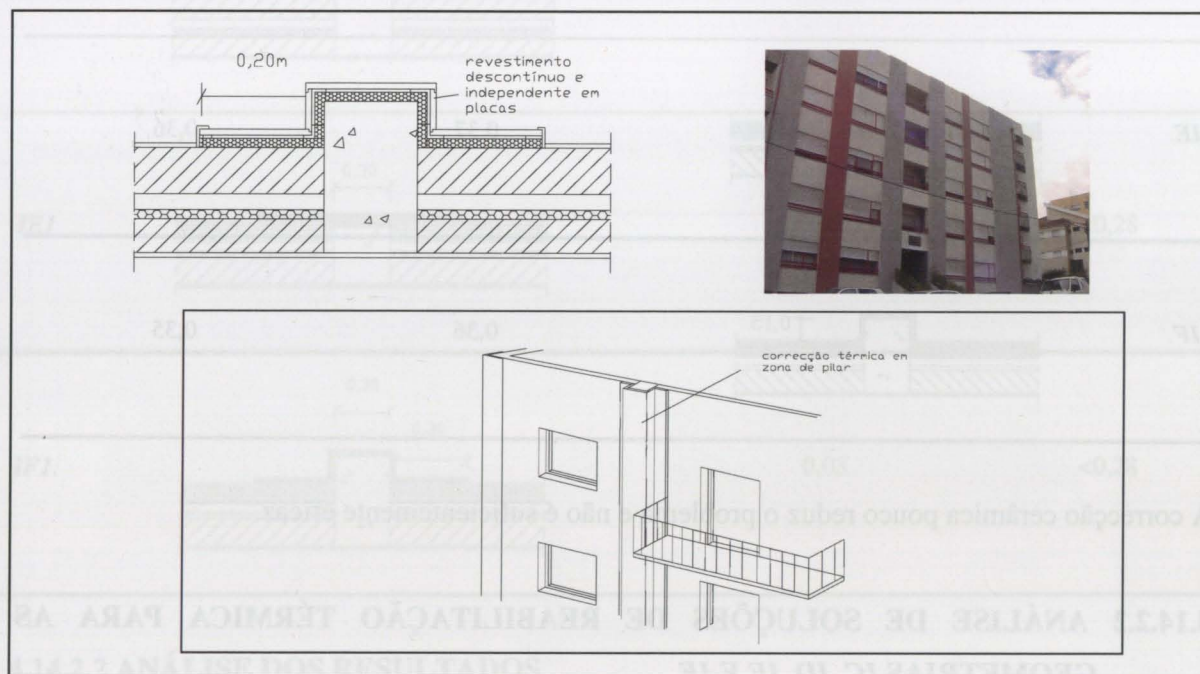


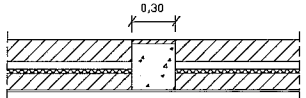
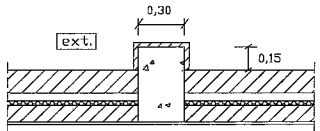
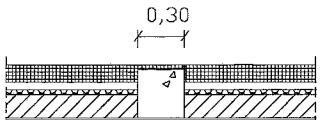
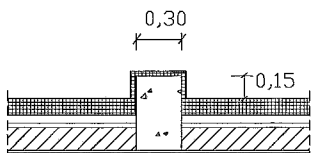
Figura 4.64 - Pormenor de reabilitação térmica com revestimento descontínuo e independente sobre isolante térmico em zona de pilar e possível aspecto exterior da fachada

4.14.2 GEOMETRIAS COM FORRA CERÂMICA PELO EXTERIOR

4.14.2.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

No Quadro 4.50 apresentam-se as geometrias mais gravosas.

QUADRO 4.50 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Pilar em zona corrente de parede [3]

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Isolamento parede 2cm	Isolamento parede 5cm
<p style="text-align: center;">[Ext.]</p> 	0,36	0,35
	0,35	0,34
	0,37	0,36
	0,36	0,35

A correcção cerâmica pouco reduz o problema e não é suficientemente eficaz.

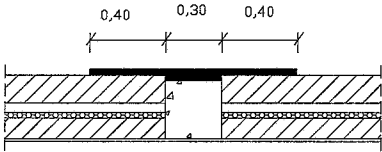
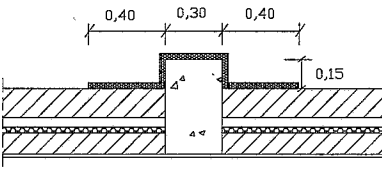
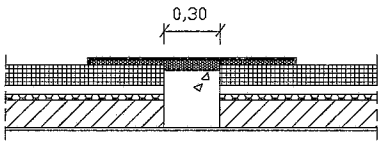
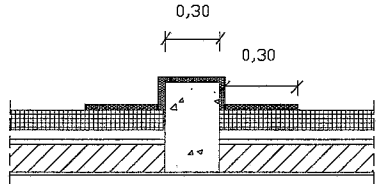
4.14.2.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS IC, ID, IE E IF

A correcção térmica pelo exterior e interior, tal como apresentada no ponto 4.14.1.2, é sempre uma solução possível para este tipo de geometria.

No Quadro 4.51 apresentam-se as soluções em que se realiza a substituição da forra cerâmica por um isolante térmico.

Tal como já foi referido é necessário realizar a estabilização dos panos semi-apoiados de parede, o qual é explorado no Capítulo 5.

QUADRO 4.51 Valores máximos do factor de temperatura superficial - soluções para as geometrias IC, IE, ID E IF

<i>Representação esquemática da solução</i>	<i>Espessura de correcção (m)</i>	<i>τ máximo</i>
<p><i>IC1</i></p> 	0,06/0,03	<0,28
<p><i>IDI</i></p> 	0,03	<0,28
<p><i>IE1</i></p> 	0,06/0,03	<0,28
<p><i>IF1</i></p> 	0,03	<0,28

4.14.2.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Estas soluções de reabilitação térmica introduzem melhorias satisfatórias, na medida em que também resultaram para as soluções sem forra cerâmica, que são mais gravosas.

4.14.2.3 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *HC1*, *HDI*, *HE1* E *HF1*

A Figura 4.65 apresenta o pormenor da correcção térmica com um revestimento descontínuo e independente.

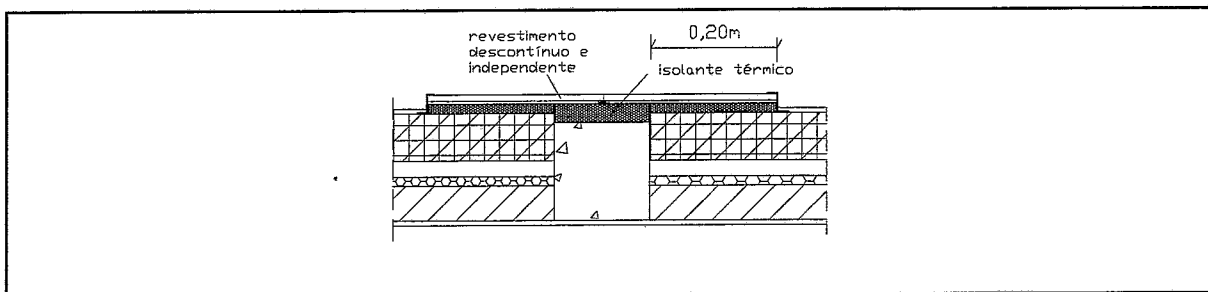


Figura 4.65 - Pormenor de correção térmica com revestimento descontínuo e independente.

Aplicam-se as mesmas considerações realizadas no ponto 4.14.1.5.

4.15 LIGAÇÃO ENTRE UMA PAREDE EXTERIOR E UMA CAIXILHARIA

4.15.1 INTRODUÇÃO

Esta ligação apresenta valores do factor de temperatura superficial elevados nas simulações numéricas realizadas. Também é uma das situações onde se verificam maiores anomalias em edifícios. Esta zona apresenta inúmeras combinações possíveis de materiais e elementos por isso apresentam-se as consideradas representativas de uma forma simplificada.

4.15.2 OMBREIRA E PARAPEITO

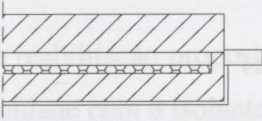
4.15.2.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

As zonas de ombreira e parapeito são uma das zonas da envolvente dos edifícios mais afectadas pelo fenómeno de ponte térmica. Existe uma mudança brusca da geometria e de materiais, sendo a caixilharia o elemento mais fraco termicamente em relação à parede.

Existe um número considerável de geometrias para a caixilharia por isso será utilizada uma geometria rectangular.

Ombreiras com caixilharias posicionadas mais perto da superfície exterior ou interior da parede são mais gravosas do que as posicionadas a meio da espessura da parede [3]. O Quadro 4.52 apresenta os valores do *τ* máximo para a geometria com caixilharia a meio da parede.

QUADRO 4.52 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Ombreira – Isolamento na caixa-de-ar [3]

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Caixilharia madeira	Caixilharia alumínio
JA2 	0,39	0,82

A geometria apresentada é caracterizada pela interrupção do isolamento térmico que permite uma heterogeneidade acentuada da resistência térmica, entre a caixilharia e a parede. *Corvacho* verifica [3] que o material da caixilharia tem grande influência no comportamento térmico da zona.

O diagrama de isotérmicas e linhas de fluxo de calor é apresentado na Figura 4.66. Está representada a geometria JA com 3cm de espessura de isolante na caixa-de-ar.

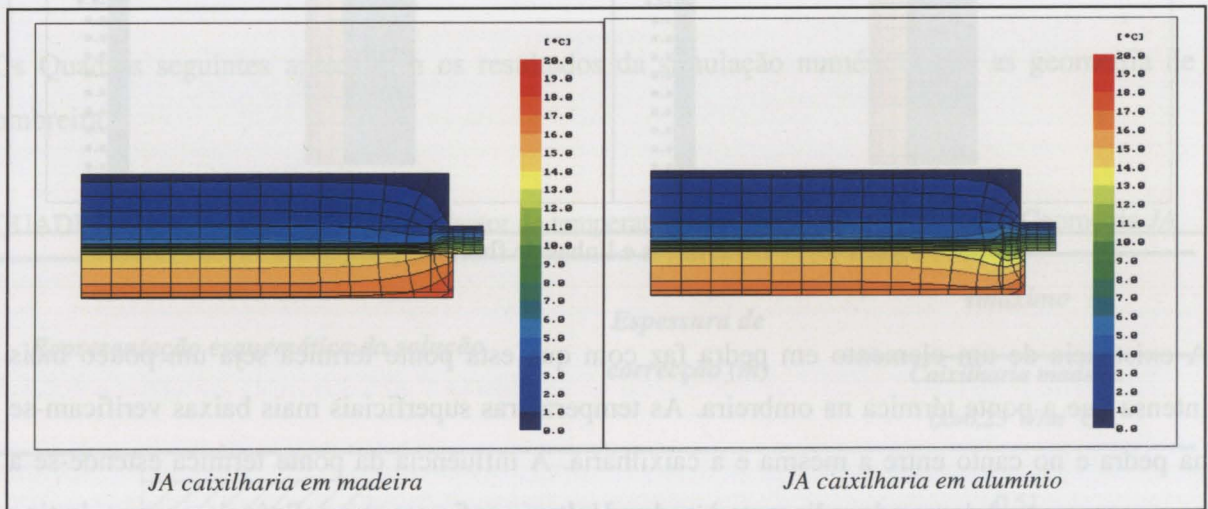
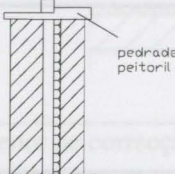


Figura 4.66 - Isotérmicas e linhas de fluxo em ombreira

Os valores de $\tau_{\text{máximo}}$ são localizados na ligação entre a caixilharia e a parede de uma forma muito pontual. Com a caixilharia de alumínio a influência de ponte térmica é maior do que com a caixilharia em madeira, confirmando-se a importância do tipo de material da caixilharia no desempenho térmico da geometria.

Quanto ao parapeito com pedra horizontal apresentam-se os valores de $\tau_{\text{máximo}}$ no Quadro 4.53.

QUADRO 4.53 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Parapeito – Isolamento na caixa-de-ar

Geometria	$\tau_{\text{máximo}}$	
	Caixilharia madeira	Caixilharia alumínio
<p>JB</p> 	0,49	0,82

O diagrama de isotérmicas e linhas de fluxo de calor é apresentado na Figura 4.67 representa a geometria anterior com 3cm de espessura de isolante térmico na caixa-de-ar.

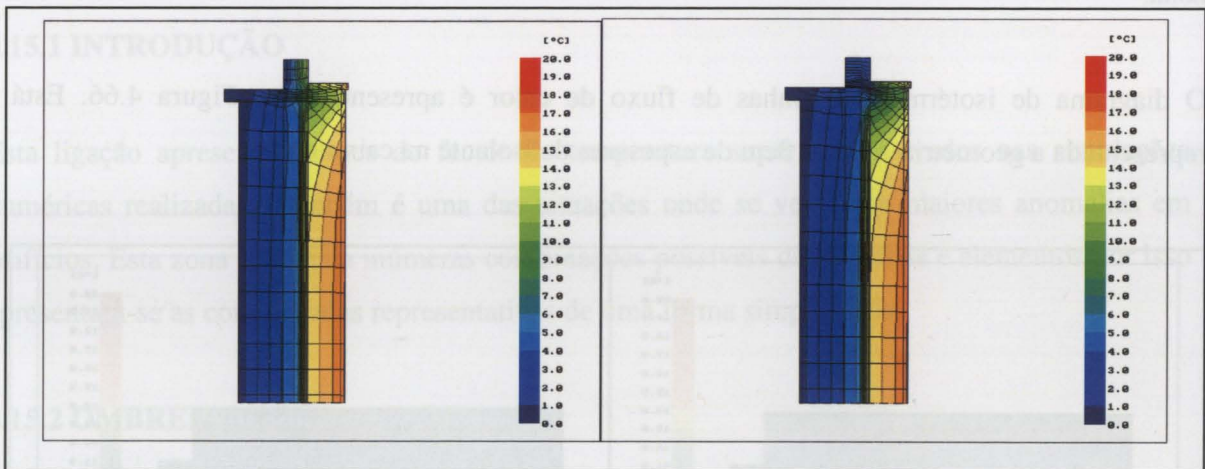


Figura 4.67 - Isotérmicas e linhas de fluxo em parapeito

A existência de um elemento em pedra faz com que esta ponte térmica seja um pouco mais intensa que a ponte térmica na ombreira. As temperaturas superficiais mais baixas verificam-se na pedra e no canto entre a mesma e a caixilharia. A influência da ponte térmica estende-se a uma zona pontual de parede, adjacente à pedra. Volta a confirmar-se a influência enorme do tipo de material da caixilharia no comportamento térmico global desta zona.

4.15.2.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA A GEOMETRIA JA

As intervenções nesta zona tendem a ser complexas e radicais, implicando a retirada e a reformulação da caixilharia e da zona de parede adjacente à mesma.

Adoptou-se como primeira estratégia a introdução de materiais isolantes térmicos para reforçar a resistência térmica da zona junto à caixilharia, sem que seja necessário reformular profundamente a ombreira (Quadro 4.54).

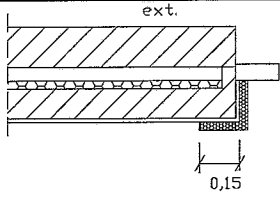
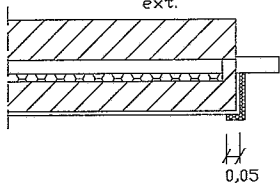
Outra solução de reabilitação proposta é introduzir um elemento isolante térmico na caixa-de-ar fazendo a continuidade com o isolante térmico existente (Quadro 4.54).

As acções anteriores devem ser acompanhadas, sempre que as caixilharias sejam em alumínio, de modificação das mesmas para materiais mais resistentes termicamente. Caso o posicionamento da caixilharia se faça à face exterior da parede é vantajoso posicionar a caixilharia na continuidade do isolante térmico da parede, já que permite um melhor desempenho térmico.

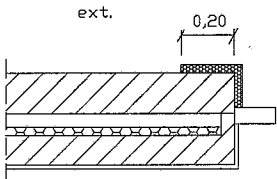
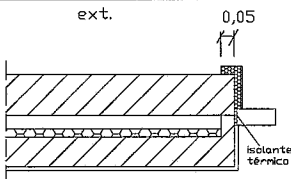
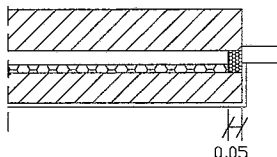
Interessa nestas zonas proteger a zona de parede pois é a mais susceptível à ocorrência de bolores e à degradação de revestimentos como resultado das condensações.

Os Quadros seguintes apresentam os resultados da simulação numérica para as geometria de ombreira.

QUADRO 4.54 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria JA

<i>Representação esquemática da solução</i>	<i>Espessura de correcção (m)</i>	<i>$\tau_{\text{máximo}}$</i>
		<i>Caixilharia madeira ($\lambda=0,23 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$)</i>
 <p><i>JAI</i></p>	0,03	0,51 (a 1 cm do canto caixilharia/isolante = 0,29)
 <p><i>JA2</i></p>	0,02	0,43 0,35 ($\lambda_{\text{madeira}}=0,12 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$)

QUADRO 4.54 - Valores Máximos do Factor de temperatura superficial - Soluções para a Geometria JA
 – Continuação

Representação esquemática da solução	Espessura de correção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$
		Caixilharia madeira ($\lambda=0,23 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$)
	0,03	0,40 (a 0,5cm do canto caixilharia/isolante = 0,36)
	0,03 0,015 (entre caixilharia e ombreira)	0,35 0,23 ($\lambda_{\text{madeira}}=0,12 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$)
	0,7 Espessura da caixa-de-ar	0,29

Na solução JA4 foi considerada uma camada de isolante térmico entre a caixilharia e a ombreira.

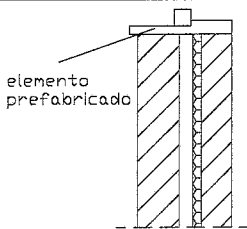
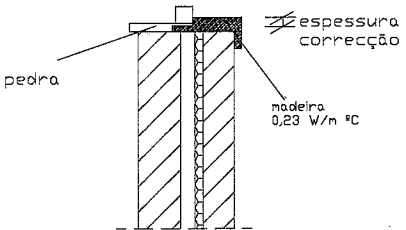
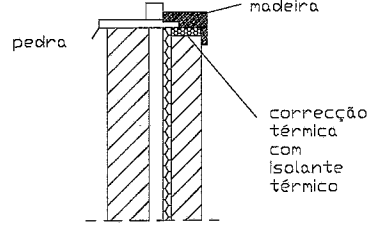
4.15.2.3 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA A GEOMETRIA JB

Nas soluções propostas substituiu-se o elemento de pedra do peitoril por um elemento com uma resistência térmica maior mas não muito elevada (λ entre 0,70 e 0,12 $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$) e substituiu-se apenas a parte do lado interior por um elemento em madeira que faça a ligação com a caixilharia.

Também se propõe dar uma continuidade ao isolante térmico da caixa-de-ar.

Sempre que as caixilharias sejam em alumínio propõe-se a modificação do material das caixilharias para materiais resistentes termicamente ou caixilharias com corte térmico.

QUADRO 4.55 - Valores máximos do factor de temperatura superficial - Soluções para a geometria JB

Representação esquemática da solução	Espessura de correcção (m)	$\tau_{\text{máximo}}$	
		Caixilharia madeira	
		$\lambda_{\text{madeira}} = 0,23$ W/m °C	$\lambda_{\text{madeira}} = 0,12$ W/m °C
JB1  <p>elemento prefabricado</p>	—	0,38 (a 1,5cm do canto = 0,26)	0,29
JB2  <p>pedra</p> <p>madeira 0,23 W/m °C</p> <p>espessura correcção</p>	0,03	0,45 (a 1,5cm do canto = 0,32)	0,37 (a 1,5cm do canto = 0,28)
JB3  <p>pedra</p> <p>madeira</p> <p>correcção térmica com isolante térmico</p>	0,03 (isolante térmico)	0,44 (a 1,5cm do canto = 0,29)	0,32 (a 1,5cm do canto = 0,22)

No que respeita a paredes com isolamento térmico pelo exterior ou pelo interior recomenda-se que deve ser contínuo e faça a ligação com a caixilharia.

4.15.2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Verifica-se que os valores máximos do factor de temperatura superficial são localizados no canto entre a caixilharia e a parede ou a peça de parapeito e que a poucos centímetros a partir deste ponto já são aceitáveis.

A reabilitação JA1 nas ombreiras piora a situação no canto mas melhora bastante a zona adjacente de parede. A solução JA2 já permite resultados mais satisfatórios. A reabilitação pelo exterior (solução JA3) origina uma melhoria em todos os pontos mas não é totalmente eficaz. Utilizando uma pequena camada de isolante térmico entre a caixilharia e a ombreira e uma caixilharia resistente termicamente os valores são bastante bons (JA4).

A solução *JB1* resulta de forma eficaz enquanto que as soluções *JB2* e *JB3* introduzem melhorias razoáveis apenas quando a caixilharia é termicamente resistente.

Por tudo isto, verifica-se que se a correcção introduzir demasiada resistência térmica em relação à resistência térmica da caixilharia os valores de *τ*_{máximo} têm uma pequena diminuição ou até podem piorar, embora sejam localizados. A correcção deve incrementar ligeiramente a resistência térmica de forma que a diminuição da mesma resistência desde a parede até à caixilharia seja gradual.

Relativamente às correcções pelo exterior, requerem-se espessuras de material mais elevadas do que pelo interior.

Verifica-se também que é vantajoso que haja uma camada de isolante térmico entre a caixilharia e a ombreira.

Não adianta corrigir a zona adjacente à caixilharia se não se melhorar também a própria caixilharia, tentando diminuir a desigualdade entre as resistências. Utilizando valores da condutibilidade térmica (λ) da caixilharia iguais ou inferiores a 0,12 W/m °C o desempenho destas ligações melhora sempre e consideravelmente.

Sendo assim, a madeira utilizada para realizar as correcções *JB2* e *JB3* não deve introduzir uma resistência térmica muito acentuada para não acentuar a descontinuidade de resistências em relação à caixilharia.

As soluções *JA5* e *JB1* parecem ser as mais eficazes.

No que respeita a paredes com isolamento térmico pelo exterior ou pelo interior recomenda-se que deva ser contínuo e faça a ligação com a caixilharia. Nesta situação deve introduzir-se sempre uma pequena camada de isolante térmico entre a caixilharia e a parede.

Os princípios de reabilitação a seguir para estas zonas são:

- Garantir a continuidade entre isolante térmico e a caixilharia;

- Mudar a posição da caixilharia de forma que fique na continuidade da caixa-de-ar;
- Reforçar a resistência térmica da caixilharia (λ inferior a $0,12 \text{ W/m}^\circ\text{C}$);
- Reforçar a resistência térmica da zona adjacente à caixilharia (não excessivamente) e acompanhar sempre com o reforço térmico da própria caixilharia de forma que a transição seja gradual.

4.15.2.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES JA1, JA2, JA3, JA4 E JA5

Como já foi analisado, a modificação do material da caixilharia e do seu posicionamento é uma medida essencial para melhorar o comportamento global do envidraçado. A melhoria térmica da caixilharia para materiais de condutibilidade térmica (λ) iguais ou inferiores a $0,12 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ é imprescindível.

A realização de um isolamento parcial pelo interior é uma solução para reforço da resistência térmica. O isolante térmico poderá ser aplicado em painel que inclua o revestimento (ex. painéis de gesso cartonado) ou então ser colado, sendo depois aplicado um revestimento (por exemplo em madeira) (Figura 4.68). A aplicação simples de um revestimento de madeira com baixa condutibilidade térmica pode proporcionar resultados razoáveis.

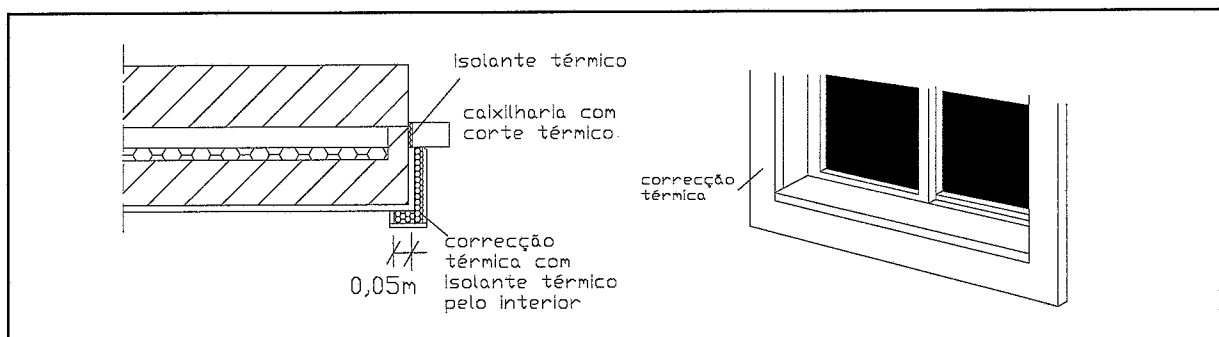


Figura 4.68 – Pormenor de correção térmica pelo interior em zona de ombreira

A correção térmica pelo exterior pode ser realizada com o recurso a elementos prefabricados que incluam o isolante térmico e o revestimento, fixados mecanicamente ao suporte (Figura 4.69).

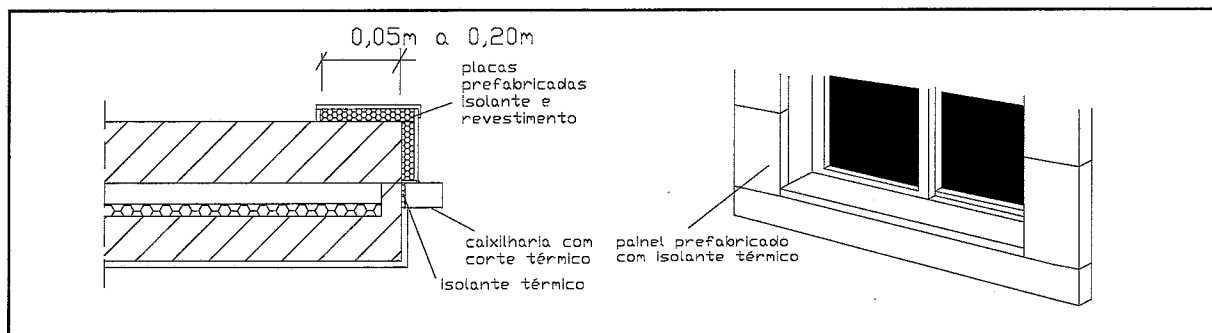


Figura 4.69 – Pormenor de correcção térmica pelo exterior em zona de ombreira

Nestas intervenções deve ser realizada uma camada de isolante térmico entre a caixilharia e a ombreira. A espuma de poliuretano desempenha um papel adequado (Figura 4.70).

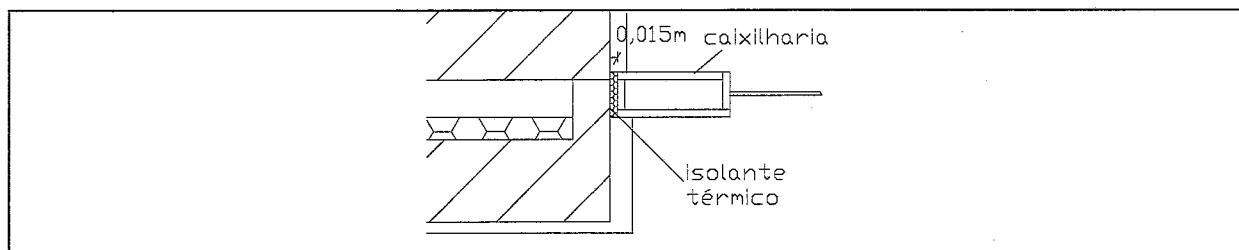


Figura 4.70 - Pormenor de isolante térmico na ligação entre caixilharia e ombreira

A solução *JA5* necessita que seja desmontada a caixilharia e introduzido no rasgo da caixa-de-ar um isolante térmico, em peça prefabricada ou projectado (espuma de poliuretano) (Figura 4.71).

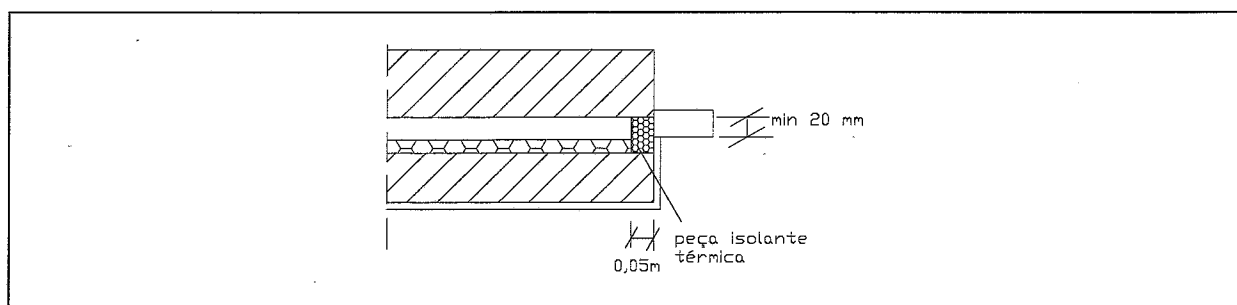


Figura 4.71 – Pormenor de correcção térmica com remate de isolante térmico [10]

4.15.2.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES *JB1*, *JB2* E *JB3*

A solução *JB1* requer a retirada da pedra existente e a substituição por um elemento prefabricado de em diversos materiais, tais como: PVC; betão leve; betão de aparas de madeira ou mesmo madeira (Figura 4.72).

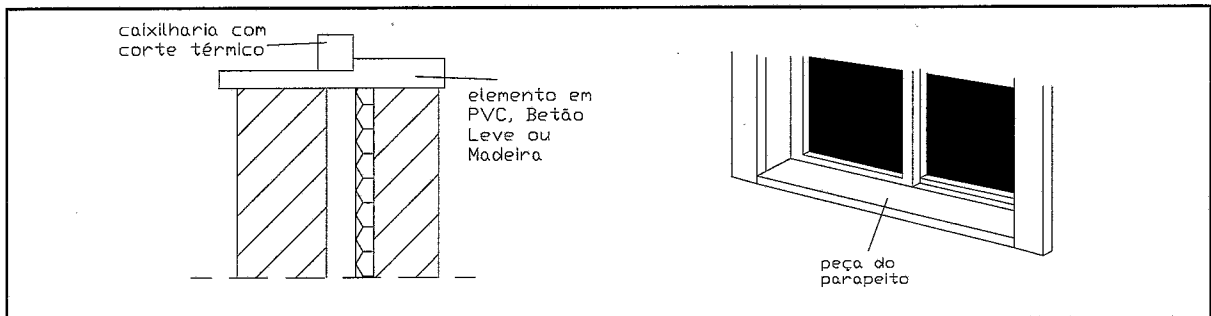


Figura 4.72 - Pormenor da correcção térmica com substituição total da pedra de parapeito

Para a execução das soluções *JB2* e *JB3* é necessário a desmontagem prévia da caixilharia e da pedra do parapeito. Parte do elemento em pedra ficará pelo lado exterior e a zona interior da ligação será substituída por um elemento em madeira ou em PVC (Figura 4.73).

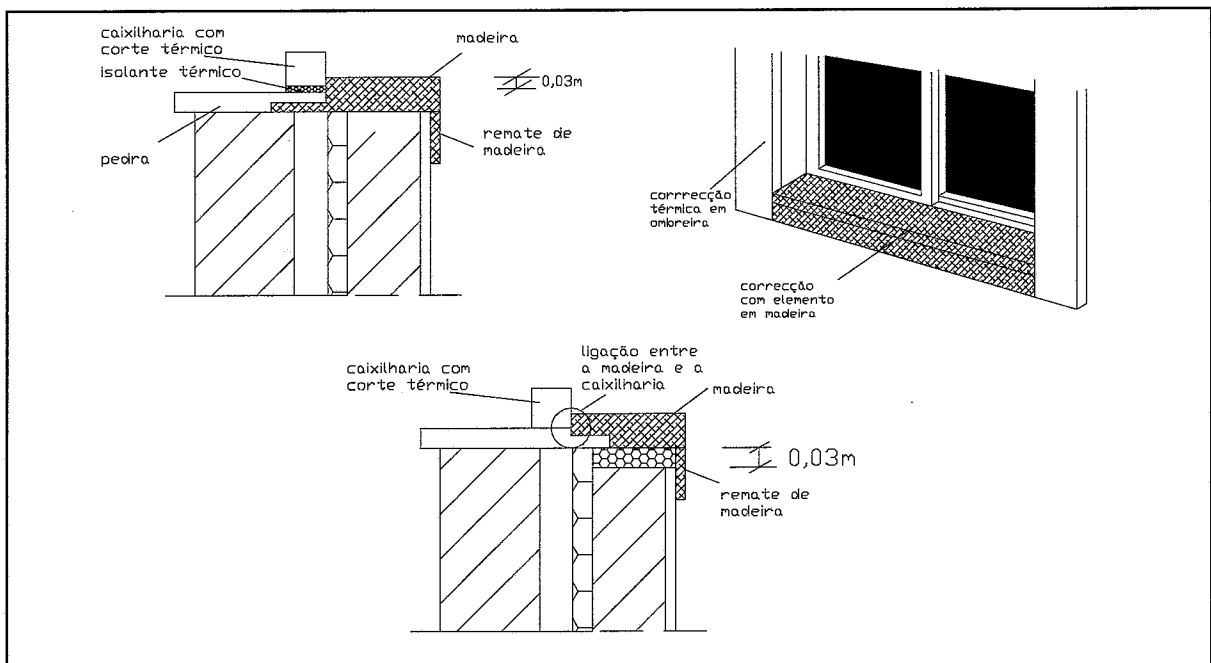


Figura 4.73 - Pormenor da correcção de ponte térmica em zona de parapeito substituição parcial da pedra de parapeito

A solução *JB3* requer um isolante térmico de reduzida compressibilidade para realizar a continuidade do isolante térmico da caixa-de-ar.

Estas intervenções devem ser sempre acompanhadas da melhoria térmica da caixilharia tal como foi referido para as ombreiras.

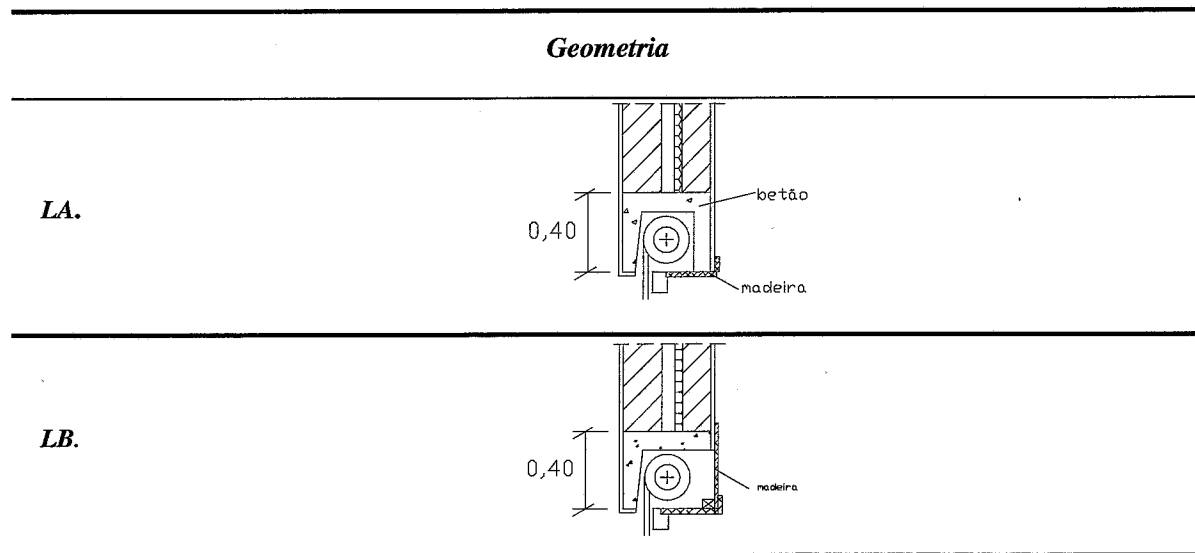
As soluções de reabilitação nesta zona necessitam de ser enquadradas de forma criativa nos espaços interiores. Entende-se que com as diversas soluções de arquitectura e decoração interior disponíveis é possível solucionar de forma harmoniosa as soluções propostas.

4.16 ZONA DA CAIXAS DE ESTORE

4.16.1 GEOMETRIAS MAIS GRAVOSAS

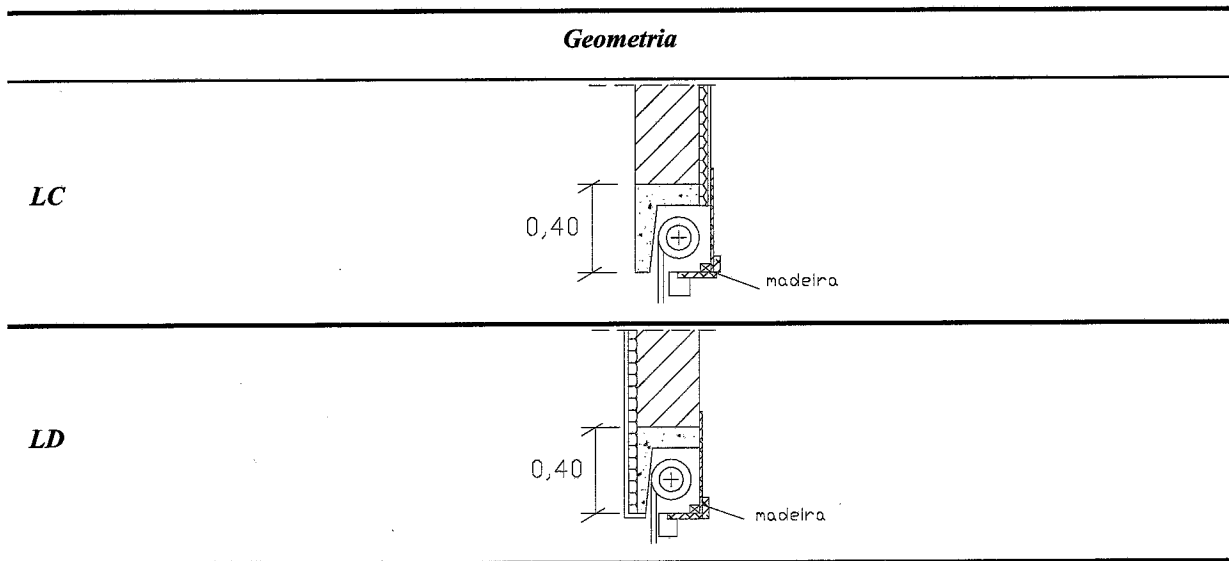
A zona da caixa de estore é uma das situações onde se verifica o aparecimento de maiores condensações e bolores em zona de parede (Quadro 4.56) porque existe uma zona de muito baixa resistência térmica na caixa de estore.

QUADRO 4.56 – Situações mais gravosas - Caixa de estore – Isolamento na caixa-de-ar [3]



As situações de isolamento pelo exterior e pelo interior apresentam-se no Quadro 4.57.

QUADRO 4.57 – Situações mais gravosas - Caixa de estore – Isolamento térmico pelo interior e exterior[3]



Mesmo com o isolamento pelo exterior existe sempre uma zona de ponte térmica acentuada devido à existência da caixa aberta para o exterior.

4.16.2 ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO TÉRMICA PARA AS GEOMETRIAS *LA, LB, LC E LD*

Apresentam-se seguidamente algumas soluções de reabilitação para melhorar o comportamento térmico na zona das caixas de estore (Quadro 4.58; 4.59 e 4.60).

Estas soluções procuram:

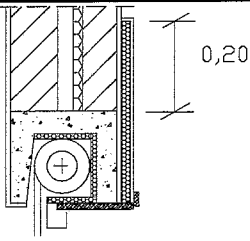
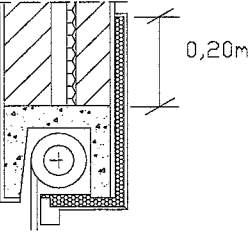
- Aumentar pontualmente a resistência térmica na zona do elemento da caixa de estore;
- Aumentar os percursos do fluxo de calor;
- Fazer a ligação do isolante térmico da zona corrente de parede à caixilharia.

A espessura de isolante térmico a aplicar nas correcções não necessita de ser muito elevada para não criar ainda mais heterogeneidade na resistências térmicas em relação à caixilharia.

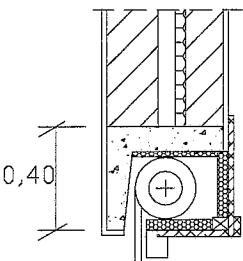
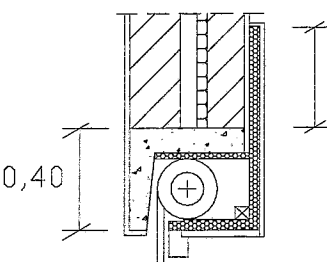
Estas intervenções devem ser acompanhadas de melhoria significativa da resistência térmica da caixilharia (λ igual ou inferior a $0,12 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$).

O isolante térmico da correcção deve contactar totalmente com a parte superior da caixilharia.

QUADRO 4.58 – Soluções de reabilitação térmica - Soluções para a Geometria LA

<i>Representação esquemática da solução</i>	<i>Espessura de correcção (m)</i>
<p>LA1</p> 	<p>0,02 Interior da caixa – espessura conforme espaço disponível</p>
<p>LA2</p> 	<p>0,03</p>

QUADRO 4.59 - Soluções de reabilitação térmica - Soluções para a Geometria LB

<i>Representação esquemática da solução</i>	<i>Espessura de correcção (m)</i>
<p>LB1</p> 	<p>Espessura conforme o espaço disponível</p>
<p>LB2</p> 	<p>0,03 Interior da caixa – espessura conforme espaço disponível</p>

A reabilitação deve prolongar-se na horizontal para além da caixa de estore para cobrir a influência horizontal da ponte térmica (Figura 4.74).

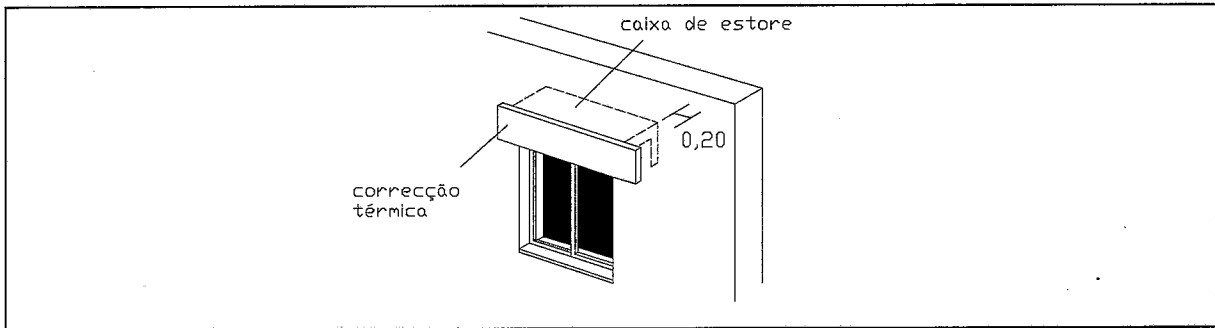


Figura 4.74 – Pormenor de prolongamento da correção térmica pelo interior em zona de caixa de estore

QUADRO 4.60 – Soluções de reabilitação térmica - Soluções para a Geometria LC

Representação esquemática da solução	Espessura de correção (m)
<p>LC1</p>	Espessura conforme o espaço disponível
<p>LD1</p>	Espessura conforme o espaço disponível

4.16.4 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES LA1 E LA2

A utilização de um isolamento térmico pelo interior com revestimento em gesso cartonado é uma solução bastante funcional e de fácil execução.

Na solução LA1 também há necessidade de proceder à introdução, dentro da caixa, de uma camada de isolante térmico colada à superfície interior da caixa, tal como mostra a Figura 4.75.

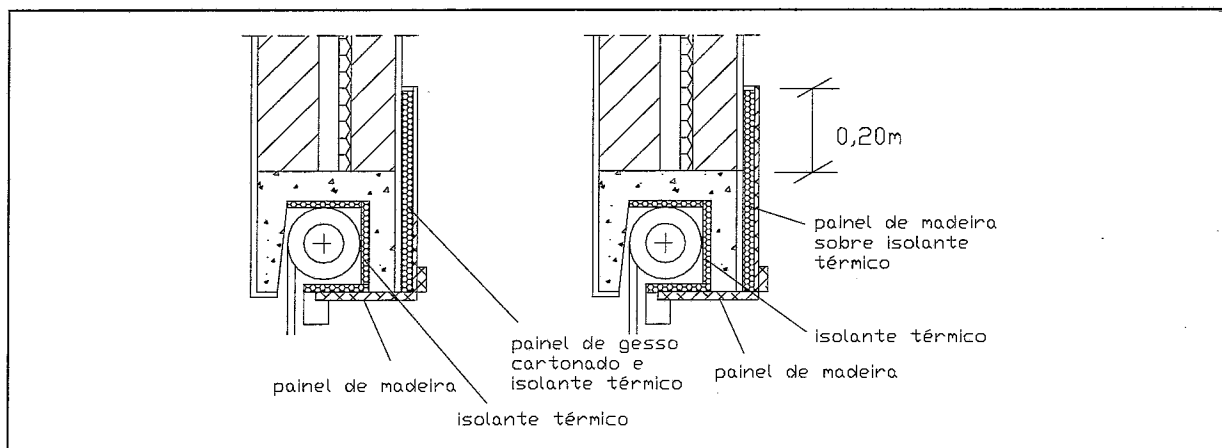


Figura 4.75- Pormenor de correcção térmica na caixa de estore com introdução de isolante pelo interior e dentro da caixa de ar

A solução LA2 também pode ser um recurso quando não existe espaço na caixa-de-ar. Contudo a espessura de isolante térmico a colocar sob caixa fica limitada ao espaço existente (Figura 4.76). Caso seja se pretenda colocar uma espessura maior haverá necessidade de modificar a cota superior da caixilharia, o que pode ser viável se houver necessidade de modificar a caixilharia existente.

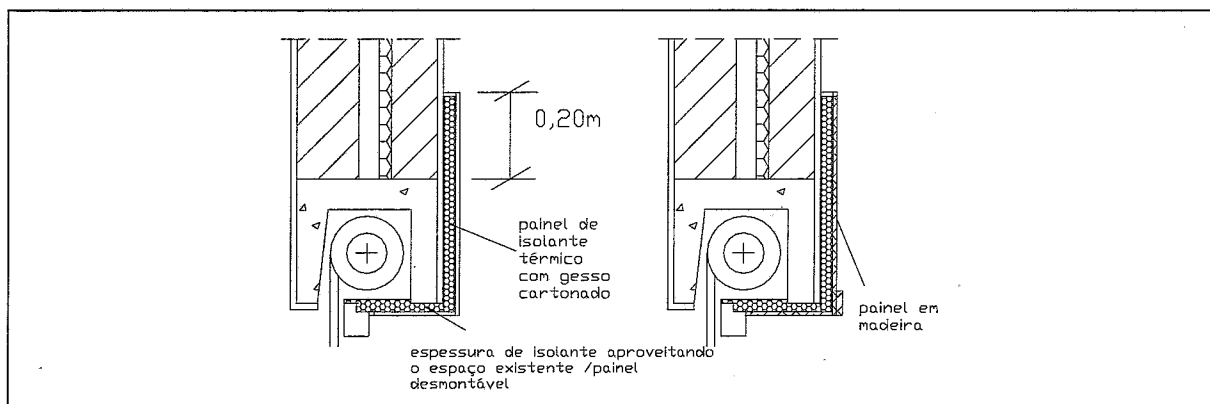


Figura 4.76 - Pormenor de correcção térmica na caixa de estore com isolante térmico pelo interior

4.16.5 RESOLUÇÃO TECNOLÓGICA E ESTÉTICA DAS SOLUÇÕES LBI, LB2, LCI E LDI

A solução LBI apenas necessita que seja aberta caixa de estore e aplicado, por colagem ou mecanicamente, o isolante térmico nas superfícies interiores da caixa.

A solução *LB2* requer a retirada da estrutura da caixa existente e a realização de outra estrutura para aplicação de um painel de gesso cartonado com isolante térmico ou de um revestimento em madeira sobre o isolante térmico, tal como mostra a Figura 4.77.

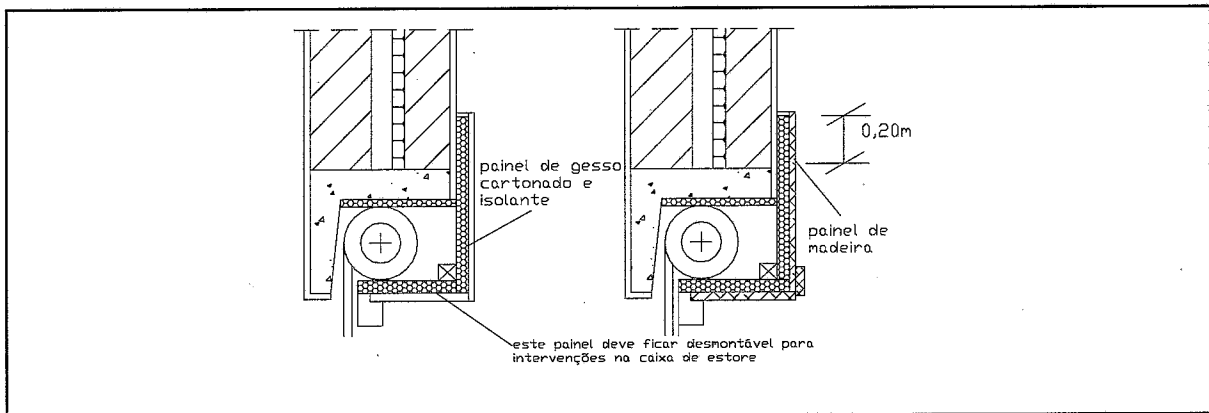


Figura 4.77 – Pormenor de correcção térmica com substituição da estrutura existente por outra com isolante térmico

A solução *LC1* apenas requer o prolongamento do isolante térmico já existente e a reformulação da estrutura de madeira de protecção da caixa de estore. O isolante a colocar deverá ser colado na face exterior do painel de madeira (Figura 4.78).

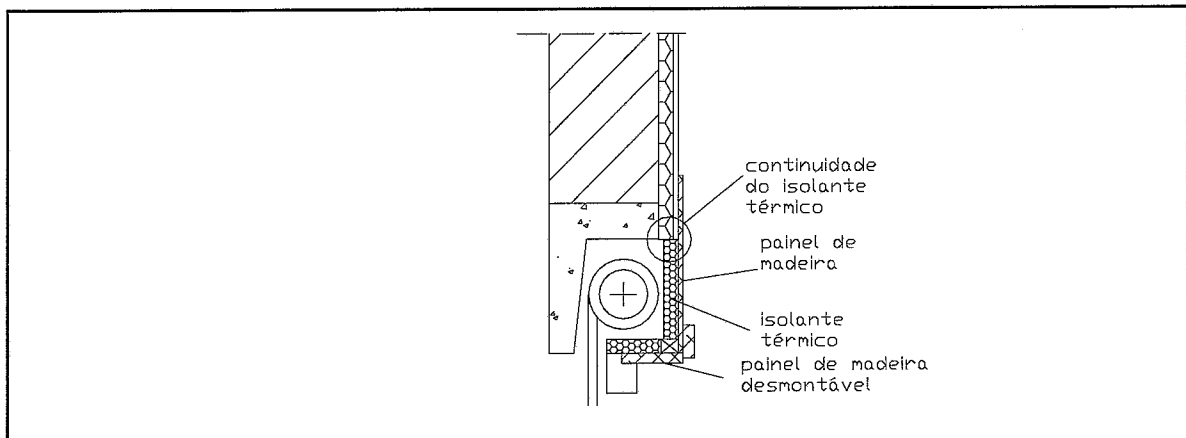


Figura 4.78 - Pormenor de correcção térmica em caixa de estore com prolongamento do isolante térmico pelo interior

A solução *LD1* exige os mesmos procedimentos que a solução *LC1* e ainda a introdução de isolante na face superior da caixa de estore. A espessura de isolante térmico depende do espaço disponível dentro da caixa.

Na Figura 4.79 podem-se visualizar de uma forma simples o efeito visual da conjugação das várias intervenções de reabilitação possíveis em ombreiras, parapeitos e caixas de estore.

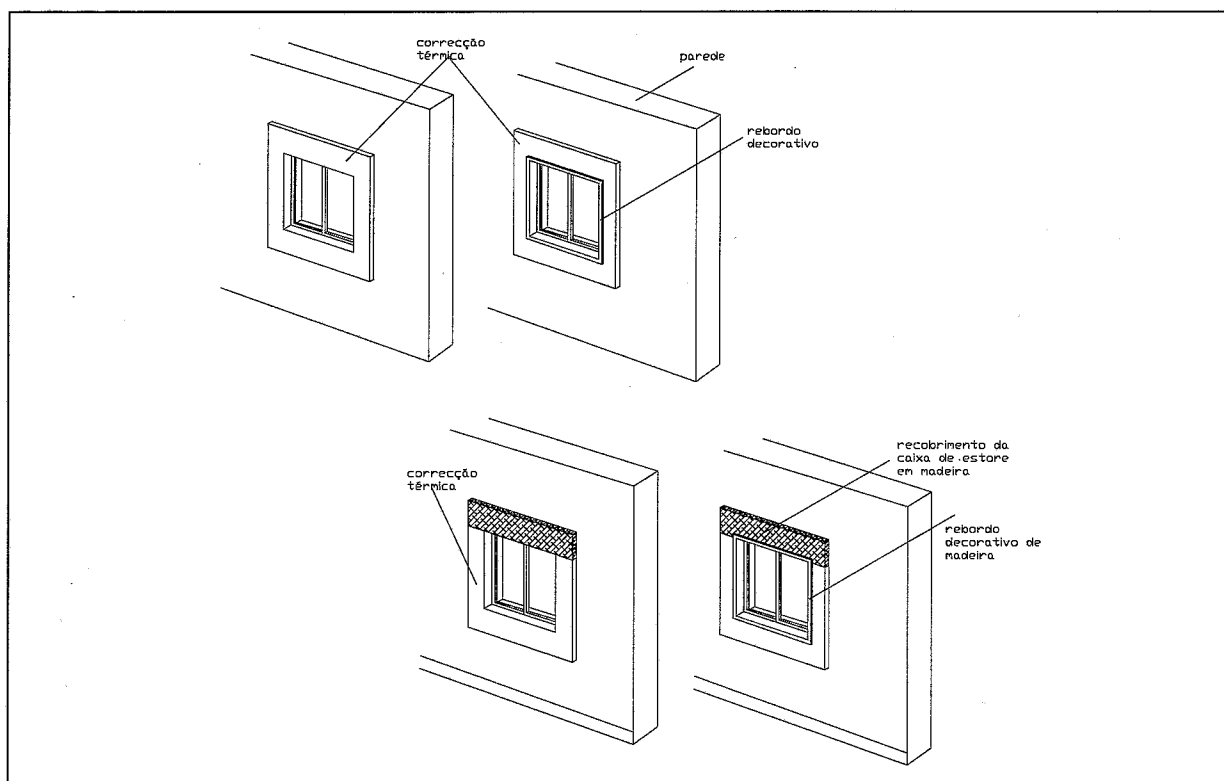


Figura 4.79 - Perspectiva da correcção integrada de parapeito, ombreira e caixa de estore pelo exterior ou interior

CAPÍTULO 5

REABILITAÇÃO CONSTRUTIVA EM ZONAS DE PONTE TÉRMICA

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

J. Mendes da Silva em [2] refere o tipo de patologias que ocorrem nas zonas de ponte térmica como sendo a 4ª geração de patologias associada a uma quarta fase de evolução tecnológica das alvenarias. Como já se referiu, as patologias mais frequentes nas zonas de ponte térmica, são a fissuração, os empolamentos e os desprendimentos e instabilidade. As causas destas patologias têm origem nas acções mecânicas actuantes na própria parede ou resultantes do deficiente desempenho dos elementos estruturais de suporte e de confinamento. Na maior parte das situações, não é possível estabelecer uma relação biunívoca entre causa e patologia, pois uma dada anomalia resulta de uma combinação de vários factores. Sendo assim, pode depreender-se que a discussão exaustiva de todos os problemas relacionadas com estas anomalias implica uma análise muito complexa e ampla de vários fenómenos e matérias.

Com base na definição referida em [2] de patologias não estruturais em paredes, que se definem como aquelas que dizem respeito a paredes que não contribuem para a estabilidade de outros elementos construtivos, pode afirmar-se que a patologias em estudo, neste trabalho, se encaixam neste grupo. Quando estão em causa problemas estruturais, as acções de reabilitação podem ser muito complexas e requerer uma análise no âmbito estrutural. Em função da zona de ponte térmica em causa, do tipo de patologia e das suas possíveis causas, tentar-se-á com base em recomendações construtivas propor estratégias de reabilitação, sempre apoiadas em técnicas conhecidas, umas mais correntes e generalizadas e outras menos.

5.2 ESTRATÉGIAS GERAIS DE REABILITAÇÃO CONSTRUTIVA DAS ZONAS DE PONTE TÉRMICA

De referir que podem existir, desde logo, duas abordagens distintas para as estratégias a seguir:

QUADRO 5.1 - Técnicas de estabilização de paredes [38]

<i>Técnicas</i>	<i>Comentários</i>
Reforço localizado dos apoios com peças metálicas fixas mecanicamente	<i>Nas situações de semi-apoio dos panos é inevitável a utilização de um apoio adicional. Podem existir problemas na fixação desse apoio aos elementos estruturais.</i>
Escoramento oblíquo, no plano perpendicular à parede	<i>Podem não ser possível de realizar em reabilitação por impossibilidade de alteração dos elementos da arquitectura da fachada. É uma técnica de alguma complexidade na sua execução.</i>
Grampeamento das paredes a outros panos e/ou aos elementos estruturais	<i>É imprescindível quando são adoptadas juntas de dessolidarização e com a introdução de apoios suplementares.</i>
Reabertura de juntas para colocação de armaduras	<i>A colocação de armaduras é mais aconselhável como acção preventiva.</i>
Confinamento com cintas e montantes de betão armado	<i>Requer uma reabilitação profunda e onerosa e altera o aspecto da fachada</i>
Demolição parcial e reconstrução de cunhais, com armaduras de canto ou criação de juntas de dessolidarização	

De notar, que estas técnicas são de alguma complexidade e requerem sempre a execução cuidada.

Quanto à fissuração, é necessário verificar, por sondagem, se a fissuração afecta não só os revestimentos bem como o suporte. Existem diversas estratégias para reabilitação de fissuras, é da adopção isolada de cada uma delas ou da sua combinação que resultam possíveis acções de reabilitação. As estratégias são materializadas através de diversas técnicas cuja escolha depende das causas, da distribuição das fissuras, do seu grau de estabilização, das consequências da fissuração e do tipo de sistema de parede.

Apresentam-se no Quadro 5.2 as seguintes estratégias:

QUADRO 5.2 – Estratégias de reabilitação da fissuração, suas condicionantes e tipos de intervenção [2]

<i>Estratégias</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Comentários</i>
Eliminação das anomalias	- Criação de rebaixos sobre a fissura; - Reabilitação de fissuras em ponte; - Colocação de revestimento armado.	<i>Pode não ser eficaz para fissuras não estáveis. É uma solução barata e de execução pouco complexa.</i>
Substituição de materiais e elementos	- Demolição total ou parcial dos panos de parede; - Demolição de cunhais não travados; - Remoção de peitoris e outros acessórios fissurados; - Reconstrução das zonas demolidas e substituição de acessórios removidos.	<i>É necessária quando o estado da fissuração é pronunciado e as fissuras são muito abertas. Em paredes de tijolo à vista é frequentemente necessária.</i>
Ocultação das anomalias	- Aplicação de revestimentos não aderentes à alvenaria; - Aplicação de cobrejuntas ou elementos decorativos de ocultação.	<i>Pode ser uma solução eficaz se permanecer garantido o desempenho funcional da parede.</i>
Protecção contra os agentes agressivos	- Colocação de isolante térmico; - Aplicação de revestimentos estanques; - Criação de juntas de dessolidarização.	<i>É uma estratégia que garante a protecção e simultaneamente pode ser a base para uma reabilitação térmica da ponte térmica.</i>
Eliminação das causas das anomalias	As técnicas a utilizar dependem das causas da fissuração	<i>No caso da fissuração esta acção pode ser complicada e economicamente inviável, embora seja a mais recomendável. É preciso analisar o custo-benefício da solução.</i>
Reforço das características funcionais	- Aplicação de armaduras nas juntas horizontais, nos casos de reconstrução de panos de parede; - Grampeamento dos panos construídos;	<i>J.Silva [2] considera que esta estratégia é mais adequada na prevenção.</i>

A técnica de reparação pontual da fissuração (eliminação da patologias) a utilizar em cada situação depende da origem dessas fissuras e do tipo de parede em questão. Silva em [2] apresenta de forma clara as várias opções.

As estratégias de actuação quando existem variações de temperatura ou humidade são apresentadas no Quadro 5.3:

QUADRO 5.3 – Estratégias de reabilitação em situações de variações de temperatura e humidade nas alvenarias [2]

<i>Estratégias</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Comentários</i>
Diminuição da variação de temperaturas pela protecção das zonas das acções térmicas	-Aplicação de isolamento térmico pelo exterior em fachada e em coberturas -Aplicação de pinturas claras -Criação de sombreamentos	<i>Implica a modificação total ou parcial da arquitectura de fachada ou de revestimentos. Em paredes de tijolo de face à vista não é interessante.</i>
Redução dos teores de humidade na construção	- Aplicação de revestimentos independentes e descontínuos	
Aumentar o grau de liberdade dos elementos construtivos reduzindo as tensões por restrição das deformações	-Criação de juntas flexíveis de dessolidarização nas ligações entre alvenaria e estrutura - Criação de juntas flexíveis entre alvenaria e laje de cobertura -Criar juntas de dilatação/contração	<i>Pode haver problemas de estanquidade e de durabilidade das soluções Exige a introdução de acessórios de reforço da estabilidade dos panos de parede às acções horizontais</i>
Aumentar a resistência mecânica dos materiais e ligações para que suportem as tensões instaladas	-Introdução de ligadores entre alvenaria e estrutura -Introdução de grampos entre o pano exterior e interior -Colocação de armaduras nas juntas horizontais da alvenaria - Aplicar revestimentos armados com reforço nas ligações entre alvenaria e estrutura e zona de vãos.	<i>Necessitam de demolição de parte da alvenaria e reconstrução posterior</i>

A primeira estratégia protege os elementos de fachada dos efeitos das acções climáticas principalmente através aplicação de isolamento térmico pelo exterior e pinturas claras. A segunda estratégia materializa-se através de juntas flexíveis nas ligações entre alvenaria e elementos estruturais que possuiu vantagens relativamente ao princípio de funcionamento mas possui um série de condicionantes. A terceira estratégia recorre à introdução de elementos adicionais metálicos de reforço mecânico na ligação ou de armaduras [2].

Os sistemas de revestimentos que apresentam um bom desempenho funcional na adopção das estratégias de substituição de elementos, ocultação das anomalias ou protecção contra agentes agressivos são:

- Revestimentos descontínuos e independentes;

- Revestimentos delgados ou espessos armados, fixados directamente ao suporte;
- Pinturas ou massas plásticas de elevada elasticidade, armadas ou não.

O primeiro tipo garante independência entre a alvenaria e o revestimento. O segundo e terceiro tipo, pela introdução de armaduras, absorvem grande parte das tensões concentradas nessas zonas. Estes revestimentos vêm, normalmente, associados a um isolante térmico, o que pode constituir uma solução conjunta de reabilitação térmica.

5.3 PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM ALVENARIAS EXTERIORES COM ANOMALIAS CONSTRUTIVAS

5.3.1 QUANDO EXISTE INSUFICIÊNCIA DE APOIO DO PANO EXTERIOR DE PAREDE

Quanto à estabilidade, o DTU 20.1 define como obrigatório que o apoio do pano exterior seja no mínimo de 2/3 da espessura desse pano.

Se o pano exterior se apresenta instável por insuficiência de apoio ou já sofreu colapso é necessário proceder às acções necessárias para garantir essa estabilidade e seguidamente proceder à reabilitação das restantes patologias. Para garantir a estabilização é necessário dar o suporte suficiente ao pano instável, o que requer a introdução de elementos que confirmam essa sustentação. Esta acção pode implicar a demolição total ou parcial do pano de parede. Quando a fissuração é generalizada e pronunciada e existe ondulação do pano, empolamento e/ou desprendimento dos elementos da forra cerâmica e/ou dos elementos adjacentes, a demolição total ou parcial e a reconstrução do pano de parede parece ser a solução mais sensata.

Uma das técnicas para criar apoio suplementar dos panos consiste em fixar acessórios metálicos ao elemento estrutural para suprir a falta de apoio. Os acessórios conhecidos fazem parte de sistemas integrados para fachadas cortina em tijolo de face à vista e servem para apoio total do pano exterior. Nos acessórios existe um universo de tipos possíveis desde os fixos até aos ajustáveis nas três dimensões. Os acessórios fixos são colocados através de aparafusamento e são constituídos por cantoneiras metálicas contínuas fixadas directamente ao suporte. Os acessórios reguláveis são constituídos por:

- Peças metálicas fixas ao suporte sobre as quais assenta uma peça contínua;
- Peças metálicas individuais que servem de apoio a cada tijolo.

De notar que os sistemas reguláveis funcionam assentes em calhas embebidas ou fixas no elemento estrutural. A Figura 5.3 mostra alguns tipos de acessórios encontrados.

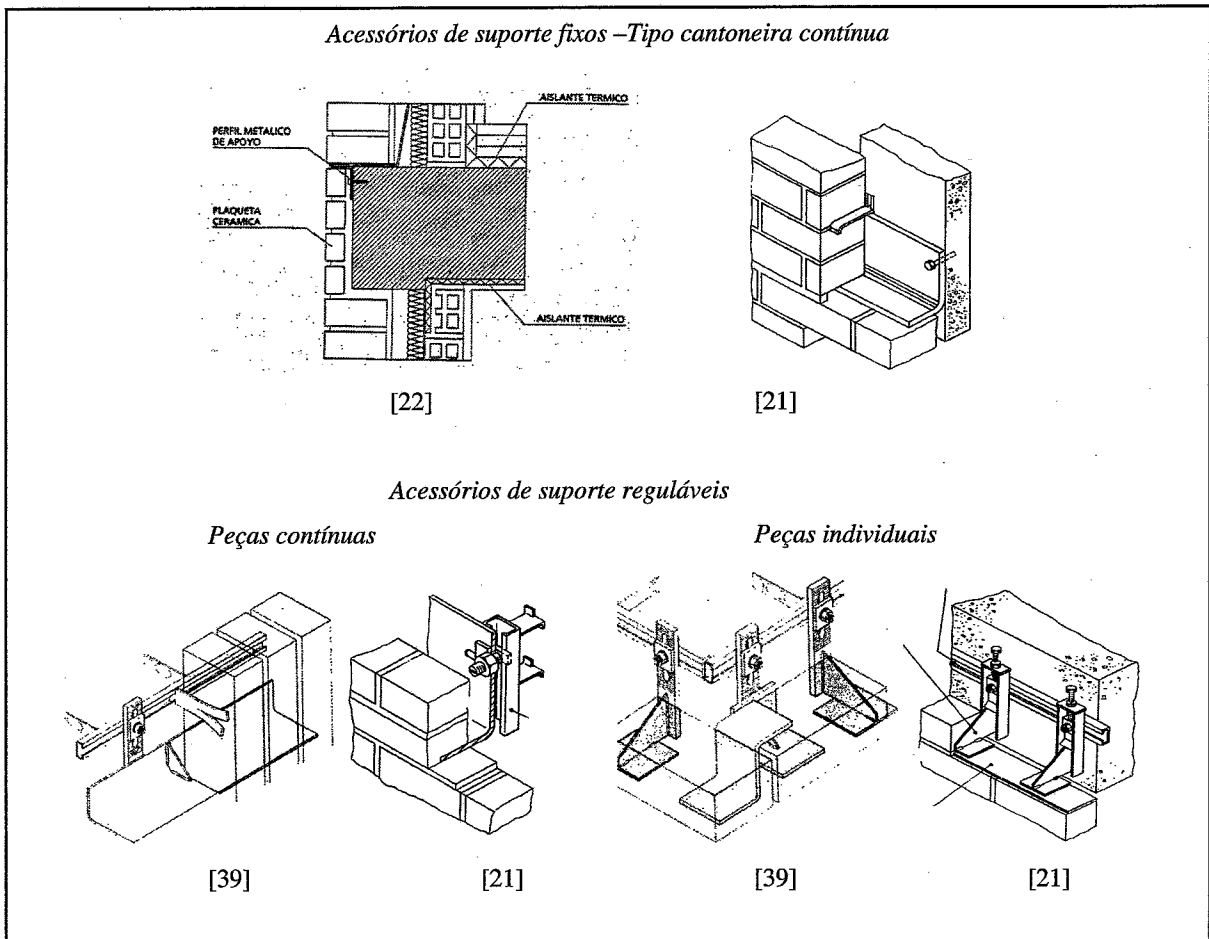


Figura 5.3 - Acessórios constituintes de sistemas para suporte de panos de alvenaria exterior em fachadas cortina

No entanto, na situação de pano semi-apoiado no elemento estrutural com forra cerâmica exterior a sua aplicação será difícil porque o acessório ficaria a sustentar apenas a forra. No processo de reabilitação de panos para retoma da estabilidade parece ser vantajosa, segundo [6], a introdução de um acessório metálico, tipo cantoneira, fixo na zona superior do topo da laje que possibilita o apoio total do pano de parede virado para baixo, tal como mostra a Figura 5.4. A justificação para este posicionamento prende-se primeiramente com o facto de se colocar o apoio directamente sob o pano de parede e em segundo lugar com os resultados da experiência noutros países, em que se verificou que, desta forma, se minimiza a cedência desse apoio com o tempo. Vicente em [5] confirmou através de ensaios experimentais que este apoio complementar é eficaz

relativamente à capacidade resistente, embora afirme que esta técnica mereça estudos mais detalhados, já que têm sido frequentes as anomalias com ela relacionada.

Este acessório deve possuir rigidez e resistência suficiente para suportar parte do peso próprio do pano exterior e esforços resultantes da acção dinâmica do vento. O aparafusamento deve ser realizado com parafusos e buchas metálicas dimensionadas em função das cargas em causa.

Verificou-se em situações concretas que revestir o elemento metálico origina uma fissura contínua pelo que o acabamento na zona extrema deste apoio deve ser um acabamento de junta flexível. A realização de juntas elásticas deve ser muito cuidada para que não levante problemas de estanquidade.

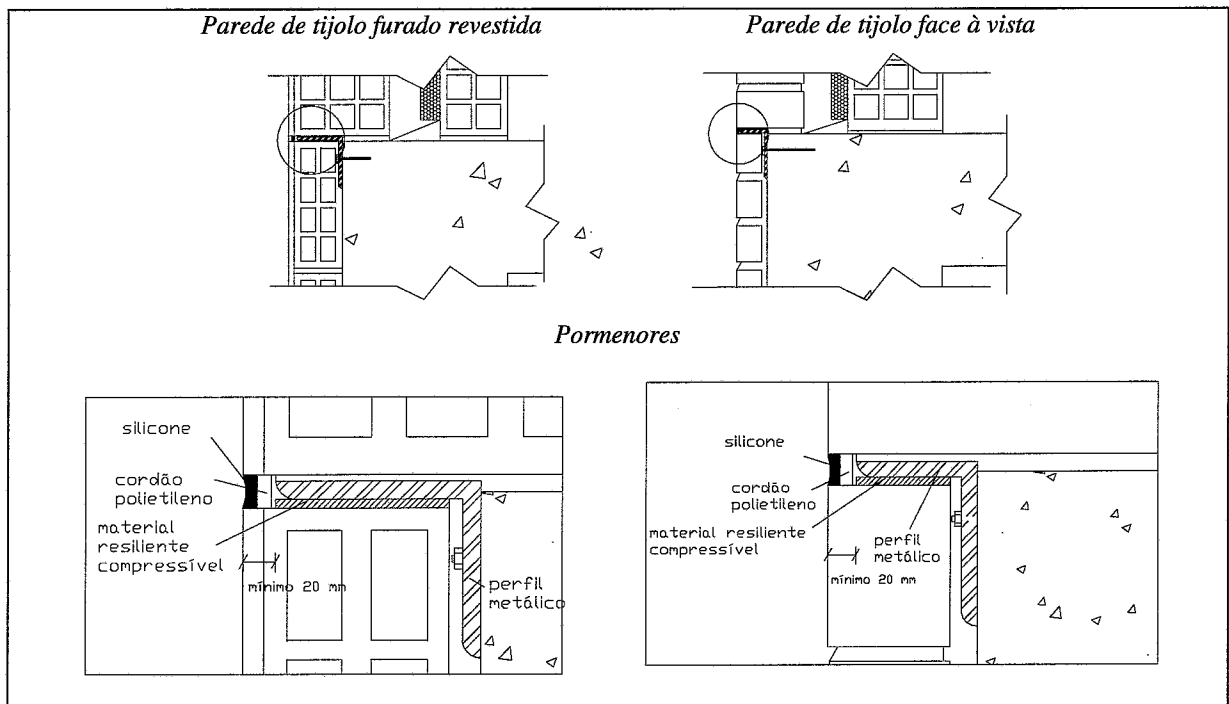


Figura 5.4 - Pormenor de colocação de apoio metálico em zona de topo de laje para suprir a insuficiência de apoio

O elemento metálico deve ter protecção contra a corrosão como garantia da sua durabilidade. A utilização de técnicas de fixação mecânica do elemento metálico requer cuidados na sua execução, já que os acessórios vêm muitas vezes dificultada a sua fixação no elemento estrutural devido à existência de armaduras. Estes acessórios devem garantir a durabilidade adequada.

A par com a introdução do apoio é recomendável realizar o grampeamento do pano exterior ao pano interior para reforçar a estabilidade do pano (Ponto 5.3.5.2) e proceder ao tratamento das forras cerâmicas exteriores (Ponto 5.3.5.3).

Se tiver havido colapso do pano de parede terá que se proceder à reconstrução. Nesta situação poderá questionar-se realização de uma alvenaria armada com introdução de armaduras nas juntas horizontais da alvenaria para lhe conferir maior capacidade de resistência ao corte e auto sustentação (Ponto 5.3.5.4).

Outra técnica para estabilizar os panos de parede exteriores não confinados proposta por V. Freitas em [40] e por Araújo em [17] será realizar o seu confinamento através da realização de uma estrutura de betão armado de pilares na alvenaria.

5.3.2 QUANDO EXISTEM DEFORMAÇÕES DA ESTRUTURA DE SUPORTE

5.3.2.1 DEFORMAÇÕES DAS LAJES E VIGAS

Em panos confinados será necessário reforçar as ligações e as zonas de vãos com armadura nos revestimentos ou realizar um revestimento armado geral.

A DTU 20.1 [8] recomenda que, nas ligações entre a estrutura de betão armado e as alvenarias, o revestimento seja armado de acordo com as regras da Figura 5.5. Outras publicações recomendam também um mínimo de 15cm de prolongamento da armadura para além do limite do elemento estrutural [42].

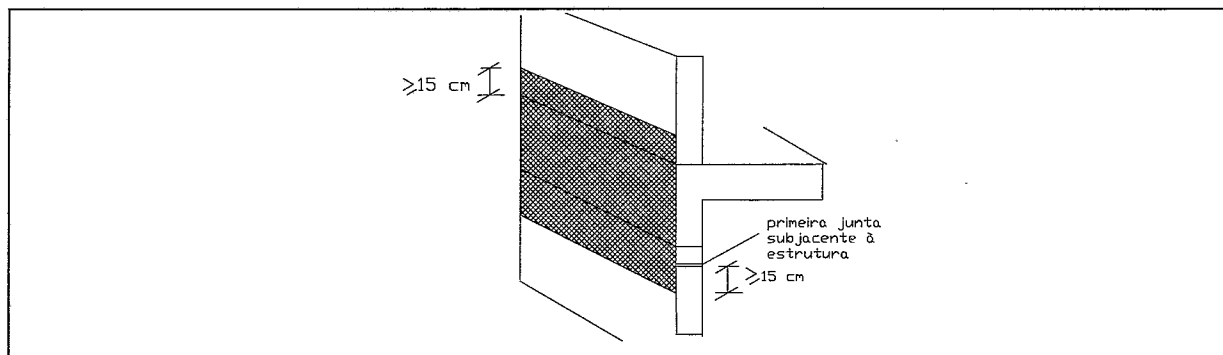


Figura 5.5 - Largura da armadura de reforço do reboco exterior em zona de ligação [8]

A obrigatoriedade da armadura de reforço aplica-se aos dois últimos pisos do edifício [8]. Estas redes podem ser metálicas ou de fibra de vidro. As primeiras deverão ser protegidas contra a corrosão e o DTU 26.1 [41] recomenda para revestimentos exteriores uma malha de 20 x 20 mm, de metal galvanizado, com fios de 0,7 mm de diâmetro. As segundas são mais frequentes e deverão ser tratadas contra os álcalis. O DTU recomenda para rebocos exteriores uma malha de 10 mm, com uma resistência à tracção de pelo menos 35 N/mm.

Em panos exteriores não confinados com forras cerâmicas, as deformações vêm agravar os efeitos de outras acções, por exemplo, quando as condições de apoio do pano são deficientes, o que pode originar a instabilidade dos panos. A deformação da laje tende a provocar a rotação do seu topo ou da viga adjacente na zona de apoio do pano exterior exercendo sobre o pano, já por si excentricamente apoiado, uma força também aplicada excentricamente. A deformação por flexão das vigas também exerce uma força sobre o pano exterior. Caso a deformação dos elementos seja importante e em situações de parede de tijolo à vista pode-se realizar uma junta elástica horizontal no topo do pano de parede para permitir alguma deformação dos elementos e libertar os panos das tensões geradas. Esta junta deve ser calculada de forma que acomode essa deformação. A adopção desta medida necessita de realização de outras intervenções para estabilização dos panos referidas no ponto 5.3.3. O revestimento exterior deve ser armado.

Em situações de reconstrução dos panos podem armar-se as juntas horizontais de assentamento o que introduz maior ductilidade ao pano e maior capacidade de se auto sustentação (Ponto 5.3.5.4)

5.3.2.2 DEFORMAÇÃO DE LAJES EM CONSOLA

Quando as deformações das lajes são importantes pode recorrer-se a soluções com recurso a tirantes entre cada laje em consola para limitar a deformações, se a arquitectura de fachada e a estrutura o permitirem [17].

As consequências desta deformação são agravadas em panos semi-apoiados e não confinados. Em paredes de tijolo de face à vista e quando as deformações consideráveis, a realização de uma junta flexível na zona superior da parede em ligação com a laje é uma solução possível. A realização da junta deve ser acompanhada de intervenções para estabilização dos panos referidas no ponto 5.3.3.

Quando exista revestimento exterior e as deformações sejam reduzidas será mais vantajoso reforçar com uma armadura de rede de fibra de vidro (150 g/m^2) as ligações parede/laje de betão e as zonas de vãos (Figura 5.6) ou realizar um revestimento armado geral de ligantes sintéticos. Segundo Araújo [17] uma medida vantajosa será realizar o isolamento térmico pelo exterior das paredes com revestimentos armados ou descontínuos e independentes que limitam a ocorrência da fissuração.

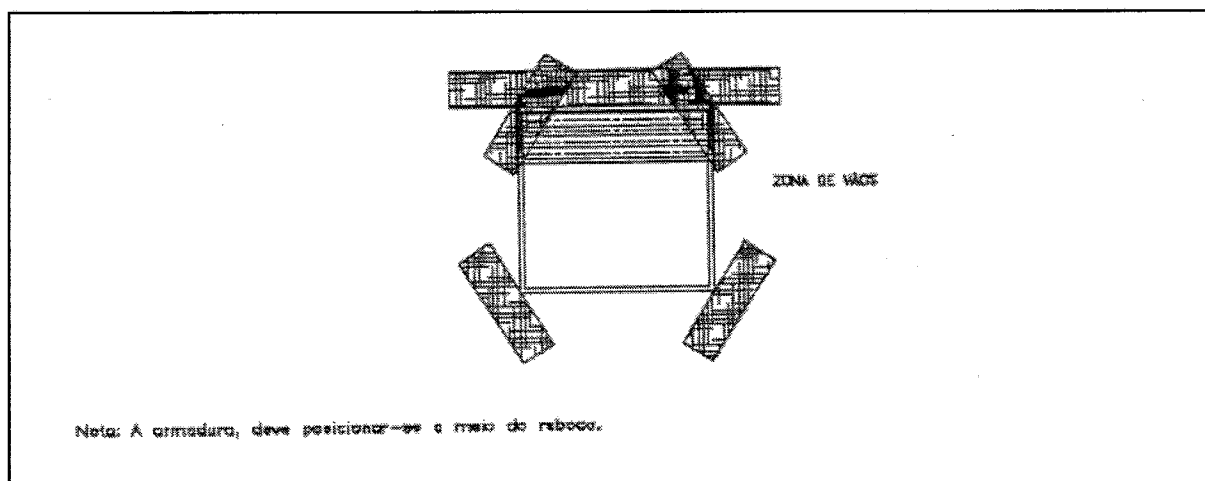


Figura 5.6 - Reforço dos revestimentos com armadura nas ligações em zona de vãos [17]

5.3.3 QUANDO EXISTEM DEFORMAÇÕES DA PAREDE POR VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E DE HUMIDADE

Em panos revestidos uma intervenção sem dúvida aconselhada nestas situações e que reduz em muito o problema é realizar isolamento térmico pelo exterior com o recurso a revestimentos aderentes ou descontínuos e independentes. A utilização destes últimos favorece com eficácia a protecção das paredes em relação à variação de humidade. Esta solução encontra uma aceitação plena para paredes de tijolo furado mas as alvenarias de tijolo de face à vista não comportam um revestimento. Aliás, são estas últimas as mais susceptíveis às variações da temperatura e principalmente da humidade.

Em panos confinados, revestidos e em tijolo furado ocorre uma restrição aos movimentos de expansão e são as retracções que provocam as maiores anomalias. É preciso limitar as tensões

em pontos particulares da fachada, principalmente nas ligações entre a alvenaria e os elementos estruturais e nos ângulos das aberturas. Poderá ser utilizado o procedimento já referido mas também podem ser tratadas apenas as zonas frágeis com uma armadura de revestimento. Quando as deformações são mais reduzidas ou apenas se verificam no revestimento pode-se separar o revestimento do suporte nas zonas de ligação criando uma ponte. Este procedimento consiste em aplicar uma tira de feltro de polietileno com a largura do elemento da estrutura acrescida de 50 mm e aplicar um revestimento armado, não retráctil e preferencialmente de ligantes sintéticos [18] (Figura 5.7).

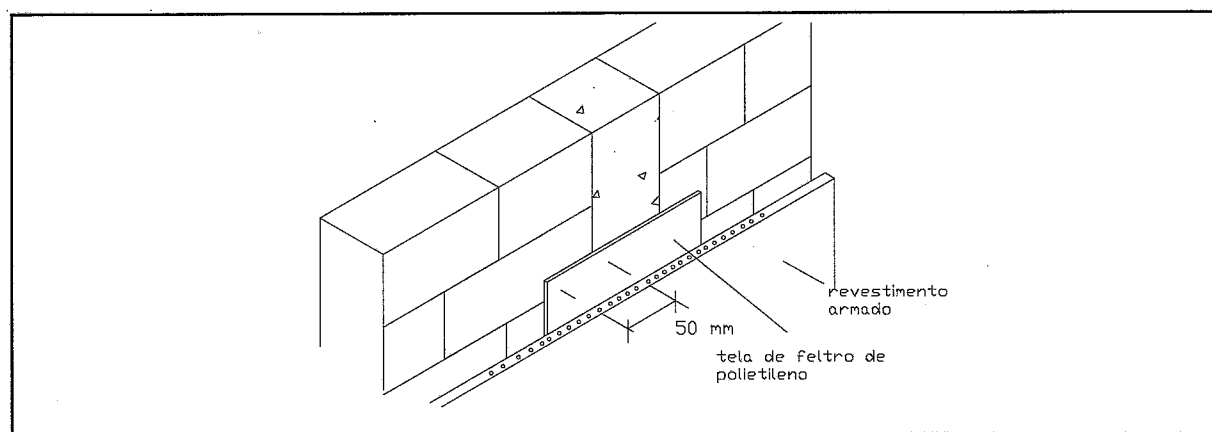


Figura 5.7 – Pormenor da separação dos revestimentos do seu suporte em zona de ligação [43]

Em paredes não confinadas as consequências destas deformações podem ser mais graves. Uma das estratégias mais recomendadas é dar-lhe um confinamento. Pode ser utilizada a solução, já referida, de travamento dos panos de parede realizando uma estrutura de pilares e cintas em betão armado e acabamento com um revestimento de argamassa armado (Ponto 5.3.1).

Em paredes de tijolo de face à vista a realização de uma estrutura de confinamento é incompatível com aparência desejada para estas paredes. Outra estratégia para este tipo de panos é a de criar juntas de dessolidarização entre a estrutura e os panos exteriores de alvenaria [21]. A criação de uma junta horizontal de dessolidarização, no topo do pano, coincidindo com a última junta de assentamento de cada pano e atravessando a totalidade do pano exterior de parede também é recomendada pela *Norma Britânica BS 5823* [21] para paredes não confinadas. Esta solução permite que seja dada alguma liberdade de movimento a cada um dos panos de alvenaria, quando estes sofrem os referidos processos de deformação e desta forma reduzir as tensões nas ligações (Figura 5.8). A adopção de juntas horizontais tem melhor enquadramento e facilidade de execução em paredes de tijolo à vista do que em paredes de tijolo furado.

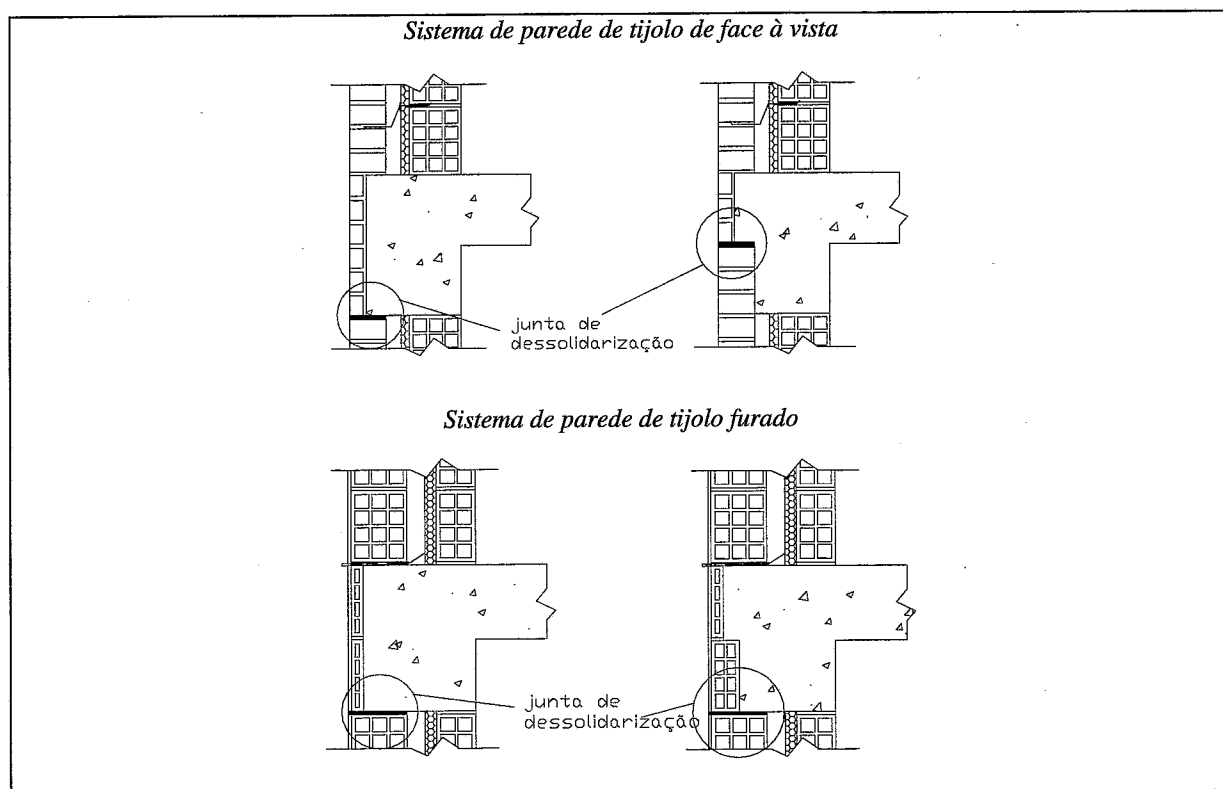


Figura 5.8 - Pormenor da junta de dessolidarização em zona de ligação entre parede e laje/viga em panos com forras cerâmicas

A junta deve ser tratada como junta flexível preenchida com material compressível (ex. poliestireno expandido) e obturada com cordão de elástico e acabamento em silicone (Figura 5.9). A profundidade da selagem da junta deve ser no mínimo de 10 mm sendo recomendado o valor de 20 mm [21].

A norma BS 5823 refere para largura desta junta o valor da ordem de grandeza de 10 mm para panos de tijolo de face à vista. Em [43] são realizadas uma série de considerações sobre o cálculo da largura desta junta em paredes de tijolo de face à vista e que apontam para valores desta ordem de grandeza. O cálculo deve ser realizado com base numa análise conjunta das deformações verificadas no pano de parede e na estrutura que o suporta. A largura da junta deve acomodar a deformação estimada, o que depende do desempenho do material de preenchimento da mesma (ponto 5.3.5.1).

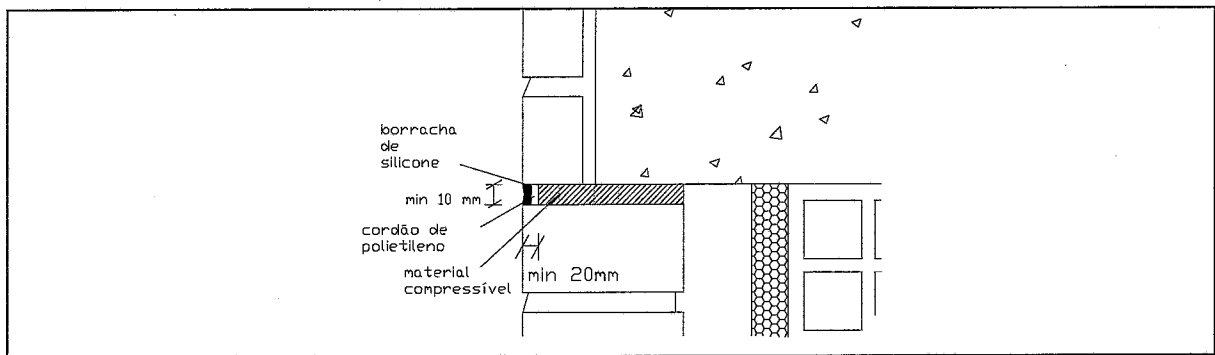


Figura 5.9 - Pormenor de junta de dessolidarização em topo de pano de parede

A problemática da estanquidade conduz a algumas preocupações. A utilização de um rufo de protecção, fixado mecanicamente à estrutura, pode obviar este problema (Figura 5.10).

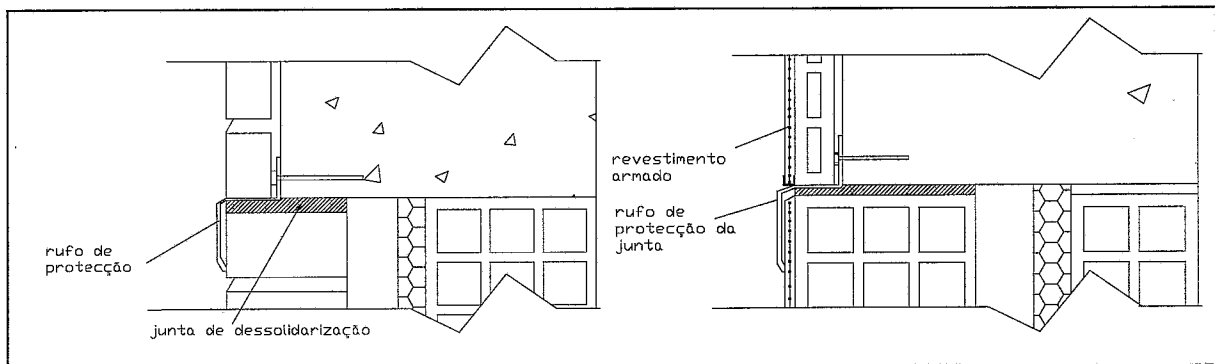


Figura 5.10 - Pormenor do rufo de protecção da junta horizontal de dessolidarização

A garantia de estanquidade e durabilidade da junta pode ser contornada executando revestimentos não aderentes ao suporte. Este problema pode ficar obviado quando utilizadas algumas das soluções apresentadas no capítulo da reabilitação térmica. Para realização destas juntas há necessidade de refazer as últimas fiadas do pano.

Em panos confinados horizontalmente e longos (comprimento superior a 15m para panos de tijolo de face à vista) devem ser previstas juntas de dilatação/contractão verticais ao longo das paredes e nos cunhais (Figura 5.11). Quanto à caracterização das juntas de referir o ponto 5.3.5.1.

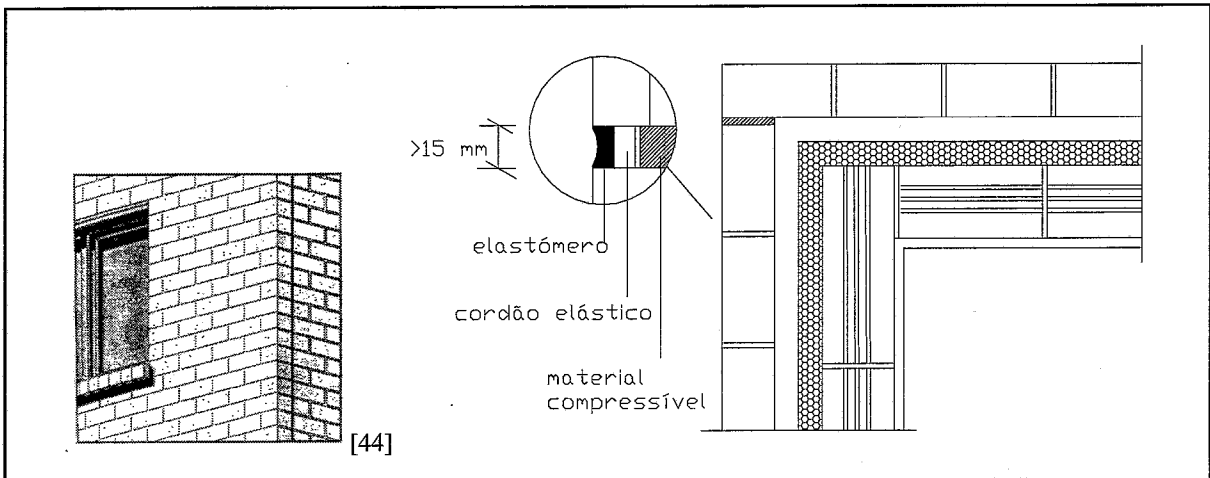


Figura 5.11 - Junta de cumbral em panos confinados horizontalmente

Em panos com forras cerâmicas pelo exterior a utilização de juntas verticais pode ser importante em situações de deformação importante dos panos (Figura 5.12).

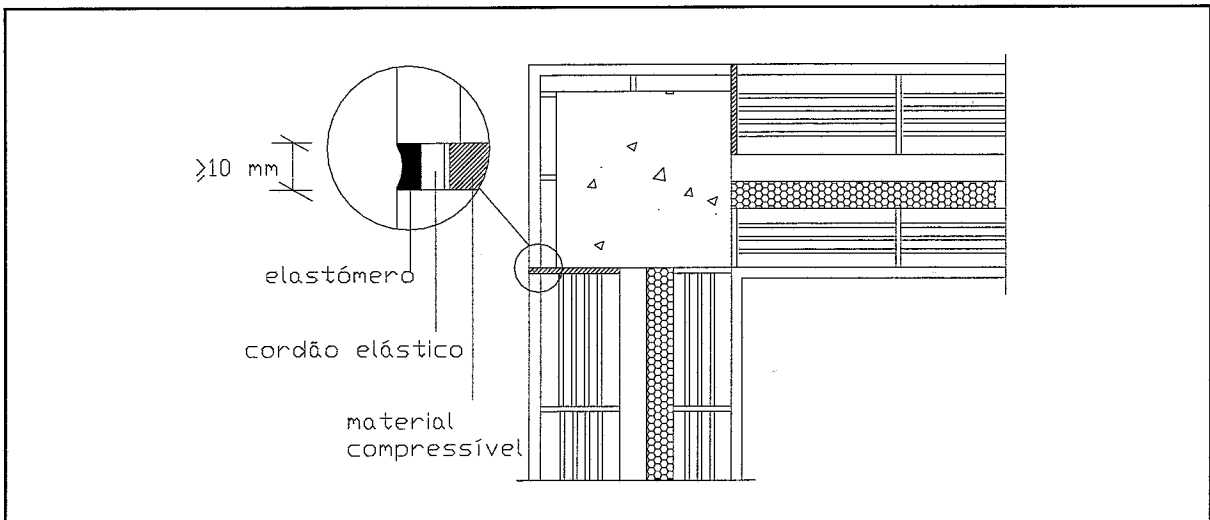


Figura 5.12 – Pormenor da junta vertical de dessolidarização em zona de ligação a pilar

Com a criação das juntas de dessolidarização é necessário fazer o travamento do pano para garantir a sua estabilidade e a resistência às acções horizontais, nomeadamente, ao vento. Este travamento pode fazer-se ao pano interior da parede, através do recurso ao grampeamento. Junto às juntas verticais é necessário grampeamento adicional espaçado no mínimo de 300 mm na vertical e com características flexibilidade (Ponto 5.3.5.2).

Quando as deformações não são muito elevadas outra estratégia de reabilitação aposta na ligação rígida das mesmas à estrutura. *S. Alves* [42] considera que se as vigas das estruturas tiverem

pouca deformabilidade, é preferível fazer ligação rígida das alvenarias a essas vigas em vez de realizar as juntas de dessolidarização que possuem algumas condicionantes. Aliás, muitas publicações aconselham este reforço mecânico da ligação entre alvenaria e estrutura principalmente aos elementos verticais para fazer face aos efeitos da variação da temperatura e humidade.

Para realizar uma ligação rígida, utilizam-se ligadores metálicos fixados a esta última e embebidos nas juntas de alvenaria. Nesta situação, as superfícies das estruturas em contacto com a alvenaria devem ser rugosas para facilitar a aderência. Nas zonas de contacto horizontal, não é necessário uma ligação rígida, embora existam sistemas que prevêem ligadores horizontais específicos para estas zonas (Figura 5.13). Em reabilitação apenas são adequados os ligadores que são fixados ao elemento estrutural.

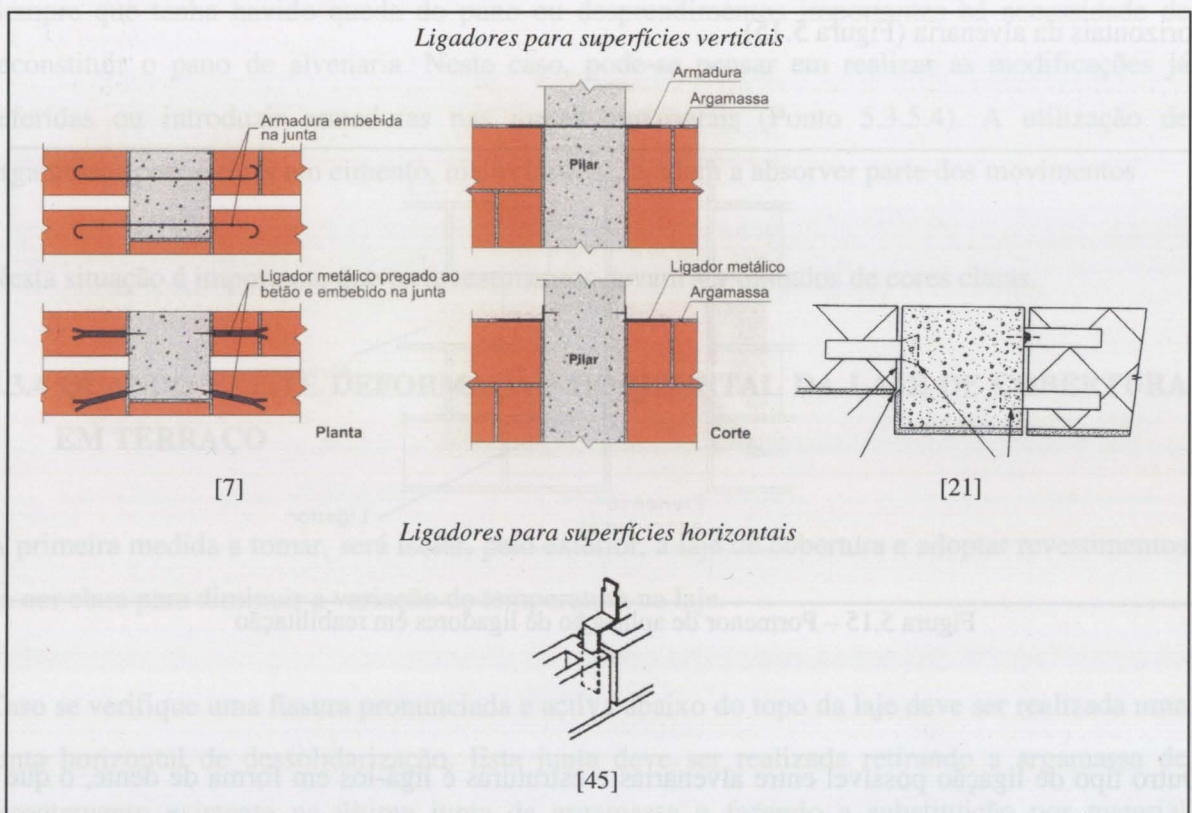


Figura 5.13 - Ligadores metálicos para realizar a ligação entre alvenaria e elementos de estrutura

Existem outros tipos de ligadores mais flexíveis (Figura 5.14).

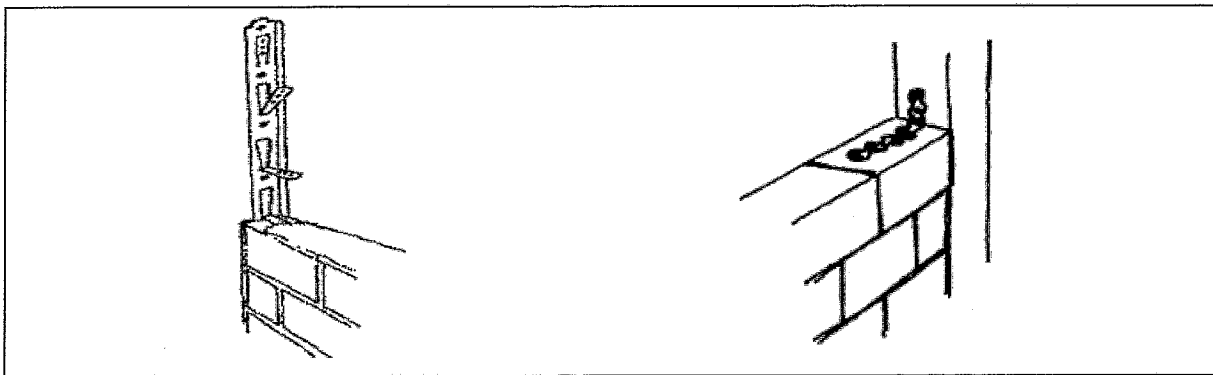


Figura 5.14 – Pormenor de dois tipos de perfis para ligações verticais [33]

O travamento à estrutura necessita que sejam retirados alguns elementos da alvenaria na zona junto à estrutura para fixação de ligadores aos elementos estruturais para depois fazer a reposição dos tijolos de forma que uma das extremidades dos ligadores fique embebida nas juntas horizontais da alvenaria (Figura 5.15).

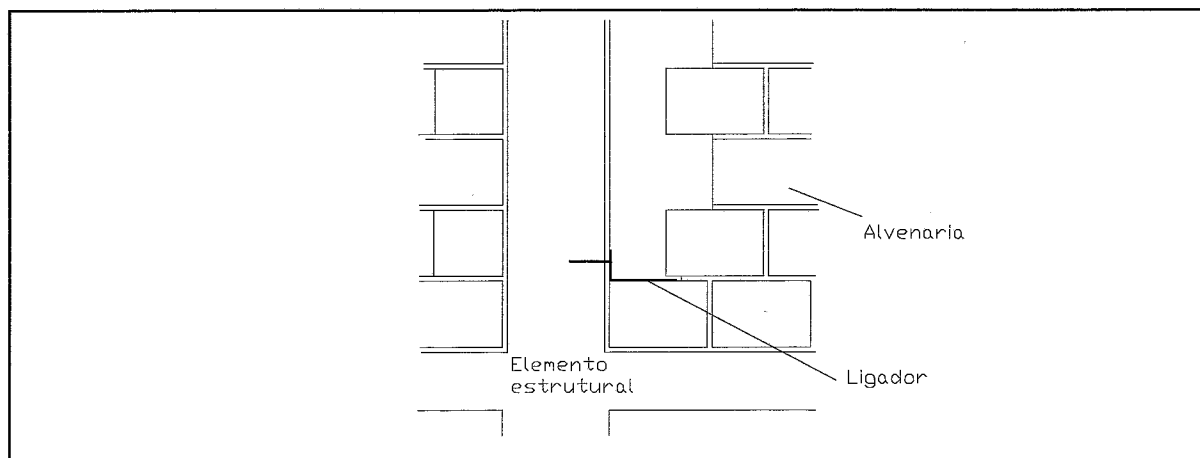


Figura 5.15 – Pormenor de aplicação de ligadores em reabilitação

Outro tipo de ligação possível entre alvenarias e estruturas é ligá-los em forma de dente, o que em reabilitação é possível quando se pretendem realizar montantes (Figura 5.16).

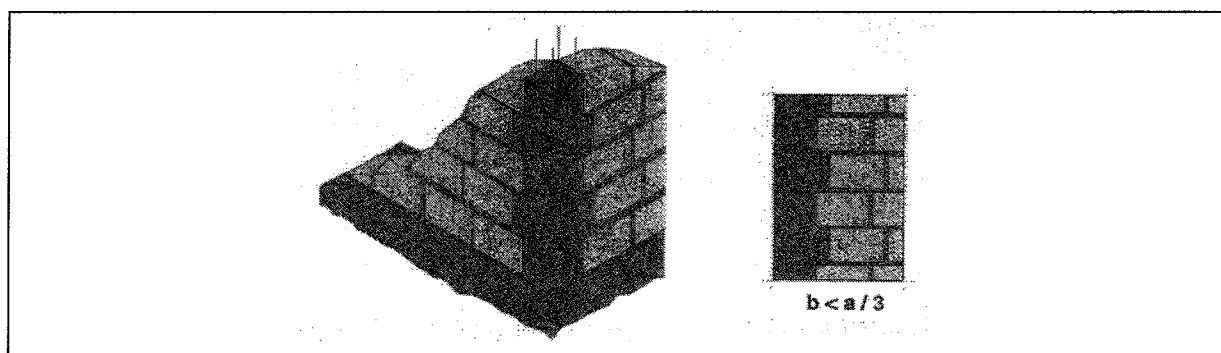


Figura 5.16 - Ligação de montantes à alvenaria em forma de “dente” [42]

Quanto às forras cerâmicas pelo exterior caso se pretenda mantê-las com os mesmos materiais deverão obedecer às recomendações expostas no ponto 5.3.5.3. Outra solução a considerar será eliminá-las e substituir por outros materiais mais eficientes termicamente (Capítulo 4).

Sempre que tenha havido queda do pano ou desprendimentos importantes há necessidade de reconstituir o pano de alvenaria. Neste caso, pode-se pensar em realizar as modificações já referidas ou introduzir armaduras nas juntas horizontais (Ponto 5.3.5.4). A utilização de argamassas pouco ricas em cimento, mais elásticas, ajudam a absorver parte dos movimentos

Nesta situação é importante que os revestimentos devam ser pintados de cores claras.

5.3.4 QUANDO EXISTE DEFORMAÇÃO HORIZONTAL DA LAJE DE COBERTURA EM TERRAÇO

A primeira medida a tomar, será isolar, pelo exterior, a laje de cobertura e adotar revestimentos de cor clara para diminuir a variação de temperatura na laje.

Caso se verifique uma fissura pronunciada e activa abaixo do topo da laje deve ser realizada uma junta horizontal de dessolidarização. Esta junta deve ser realizada retirando a argamassa de assentamento existente na última junta de argamassa e fazendo a substituição por material compressível. Esta junta pode resolver vários problemas:

- A deformação horizontal e vertical da laje;
- A deformação do pano de parede;
- A dessolidarização da forra cerâmica.

Nesta zona a protecção da junta pode ser resolvida de uma forma bem enquadrada na arquitectura de fachada através de revestimentos independentes e descontínuos aplicados nessa zona.

Querendo manter a forra cerâmica de correcção, a mesma deverá sofrer tratamento adequado. Deverá assim ser grampeada à platibanda para que se torne estável e dessolidarizada do pano de alvenaria. A distribuição do grampeamento é referida no ponto 5.3.5.3 (Figura 5.17).

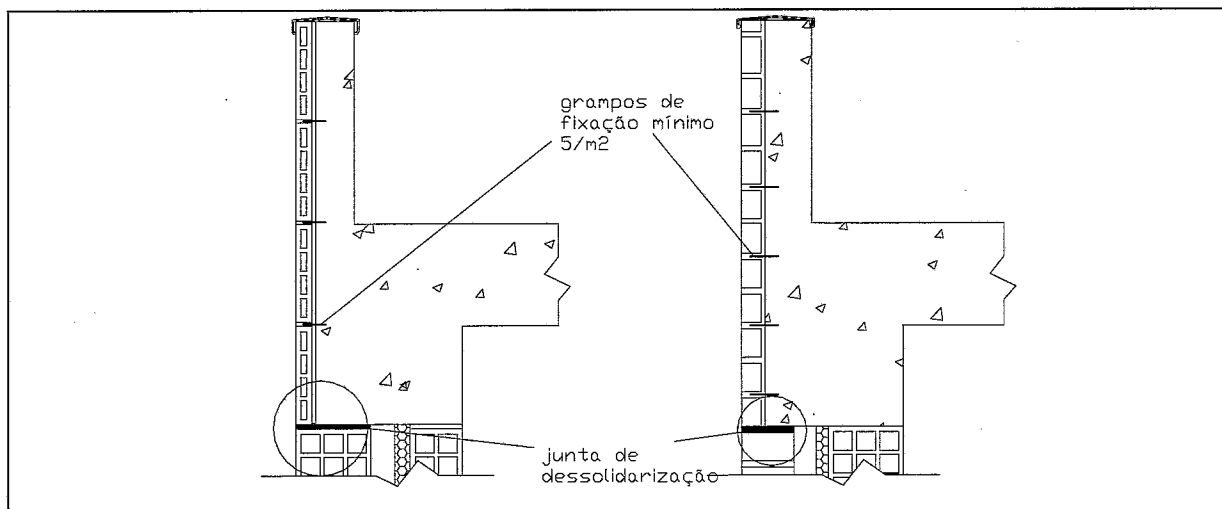


Figura 5.17 - Pormenor de ligação entre laje de cobertura e parede exterior

Querendo substituir a forra cerâmica, a mesma poderá ser retirada e substituída por elementos mais resistentes termicamente (Capítulo 4).

5.3.5 RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS

5.3.5.1 JUNTAS DE DILATAÇÃO/CONTRACÇÃO

As juntas de dilatação podem ser fundamentais para o correcto funcionamento de uma parede. Quanto a juntas de dilatação/contracção a DTU 20.1 prevê para alvenarias de preenchimento que estas juntas devem estar espaçadas no máximo de 20 a 35 m em regiões secas ou com fortes variações de temperatura e de 30 a 35 m em regiões temperadas e húmidas. Em alvenarias confinadas recomenda a realização de juntas distanciadas entre si de 8 a 15 m, consoante a concepção e exposição da fachada. Para alvenarias de tijolo de face à vista são recomendadas em

fachadas a Norte, entre 12 e 14 m, a Oeste, entre 7 e 8 m, Este entre 10 e 12 m e Sul entre 8 e 9m [46]. As juntas de cunhal são fundamentais em panos extensos e cunhais virados a Sul/Ponte.

A BS 5628 [21] recomenda distâncias máximas entre juntas dilatação/contracção verticais em parede de alvenaria de tijolo de face à vista inferiores a 15m. Quando os movimentos não sejam restringidos e as deformações se aproximem do 1 mm por metro de comprimento de parede espaçamentos mais apertados podem ser necessários. Em alvenarias armadas os espaçamentos podem ser maiores. Também *Timperman* [47] refere os espaçamentos para paredes e armadas e não armadas (Quadro 5.4).

QUADRO 5.4 – Distâncias máximas entre juntas de dilatação em alvenarias de tijolo de face à vista [47]

<i>Características das alvenarias</i>	<i>Distâncias entre juntas de dilatação (m)</i>		
	<i>Alvenaria não armada</i>	<i>Alvenaria armada Cada 450 mm</i>	<i>Alvenaria armada Cada 225 mm</i>
Contracções ou dilatações inferiores a 0,1mm/m	15	20	20

Outras recomendações, para alvenarias de tijolo face à vista, são referidas por *Alves* [42] e estão descritas no Quadro 5.5.

QUADRO 5.5 – Distâncias máximas entre juntas de dilatação em alvenarias de tijolo à vista [42]

<i>Características das alvenarias</i>	<i>Distâncias entre juntas de dilatação (m)</i>	
	<i>Paredes com espessura inferior a 14 cm</i>	<i>Paredes com espessura superior a 14 cm</i>
Contracções ou dilatações inferiores a 0,1mm/m	30	30
Contracções ou dilatações entre 0,1mm/m e 0,4 mm/m	2, sem aberturas 6, com aberturas	8
Contracções ou dilatações entre 0,4mm/m e 0,6 mm/m	8	6

A norma BS 5628 [21] recomenda a que se tomem em consideração os seguintes locais nas alvenarias para colocação de juntas elásticas de dilatação/contracção:

- Intersecção com outras paredes e com pilares;



- Intersecção com portas e janelas;
- Mudança de altura ou espessura das paredes;
- Nas juntas de dilatação das estruturas.

A introdução destas juntas altera as condições de ligação dos panos e são necessárias formas alternativas de suporte.

Como orientação geral, a *Norma BS 5823* aponta uma forma simplificada de calcular a largura destas juntas para paredes sem restrições e em tijolo de face à vista. A largura é calculada em milímetros e deve ser 30% maior que as distâncias entre juntas, em metros [21].

Em [43] refere-se que para paredes de tijolo de face à vista e para 15 m de distância entre juntas as deformações devidas as variações de temperatura e humidade podem atingir os 13 mm. A largura da junta deve ser de 20 mm, com um mínimo de 15 mm, para acomodar estas deformações. A largura deve ser estabelecida consoante as deformações em causa e consoante a capacidade de deformação do material compressível de preenchimento utilizado. Em [21] são referidos diversos tipos de junta flexível e materiais a utilizar na mesma.

O preenchimento da junta deve ser realizado com cordão elástico introduzido com uma profundidade mínima de 20 mm e revestida com cordão de protecção em silicone. As juntas podem seguir o caminho das juntas de assentamento ou cortar os elementos. (Figura 5.18)

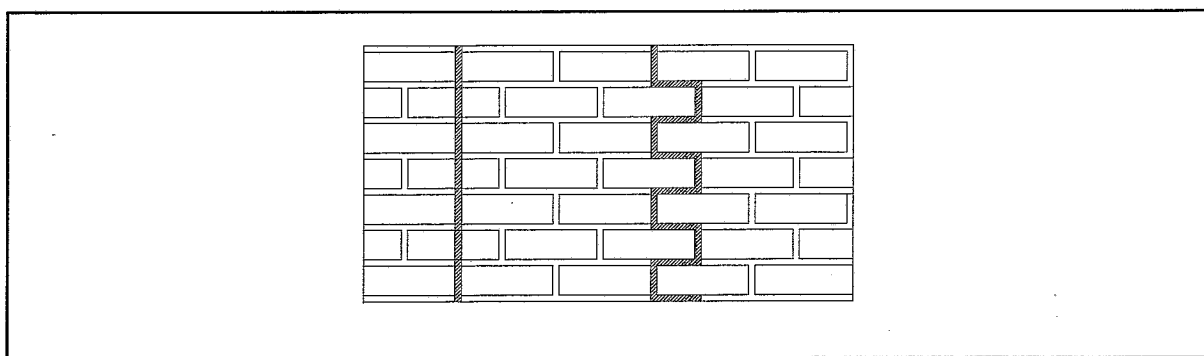


Figura 5.18 – Pormenor do seguimento da junta vertical flexível de dilatação/contracção em alvenaria de tijolo de face à vista

5.3.5.2 LIGAÇÃO ENTRE PANOS CONSTRUÍDOS

Em [23] é referida a obrigatoriedade da utilização de grampeamento quando:

- As esbeltezas dos panos são elevadas;
- As condições de apoio e as ligações de contorno não garantam a estabilidade dos panos de parede.

A fixação também funciona como medida de prevenção para aumento da resistência mecânica às variações de temperatura e humidade dos panos de parede.

Existem um sem número de tipos diferentes, cada um com um funcionamento específico e classificados em rígidos, semi-rígidos, flexíveis e elásticos [48].

Quanto à substituição ou à colocação de grampos em panos já construídos estão documentadas várias técnicas, dependendo do tipo de suporte atrás desses panos. Grampos com buchas de expansão, podem ser utilizados para materiais mais densos e grampos de arame com pontas onduladas inseridas em furos preenchidos com argamassas especiais ou resinas, em materiais mais leves ou furos interiores (Figura 5.19).

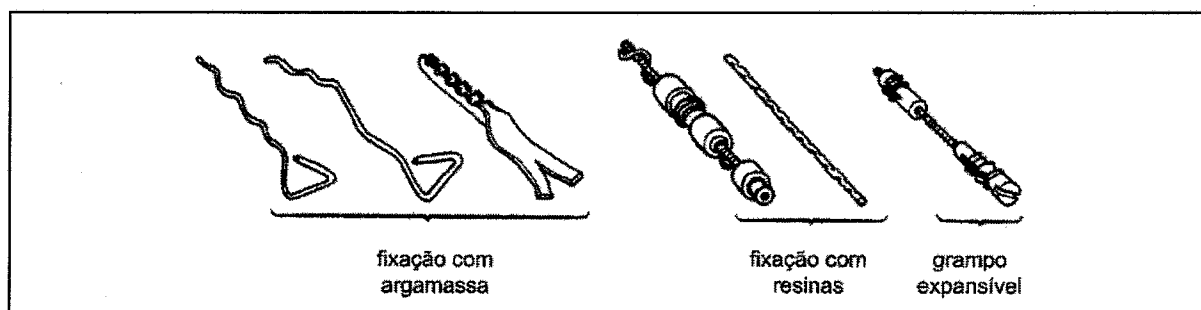


Figura 5.19 - Grampos para realizar o grampeamento de panos exteriores aos panos interiores numa obra de reabilitação ou reforço [49]

O grampeamento ao pano interior, em construção existente, é possível, embora necessite da utilização de grampos e de procedimentos específicos. A fixação destes grampos ao pano interior é realizada através da introdução de uma das extremidades em furos preenchidos com argamassas ou resinas ou através de pontas mecânicas expansíveis e da outra extremidade nas juntas do pano exterior. O tipo de grampo utilizado e a técnica de instalação dependem do tipo de alvenaria do pano interior. Em [50] recomenda-se que os grampos expansíveis se utilizem em materiais densos e os grampos metálicos com pontas onduladas em materiais menos densos ou com orifícios. Como a solução mais correntemente utilizada no pano interior das paredes é de tijolo furado, serão mais adequados os primeiros e segundos. A realização destes furos em tijolo furado requer muito cuidado na sua execução para não danificar o tijolo. Em [51] recomenda-se

que para este tipo de paredes o grampo seja introduzido na junta horizontal de assentamento e posteriormente selado. A Figura 5.20 apresenta pormenor dos grampos aplicados nos panos.

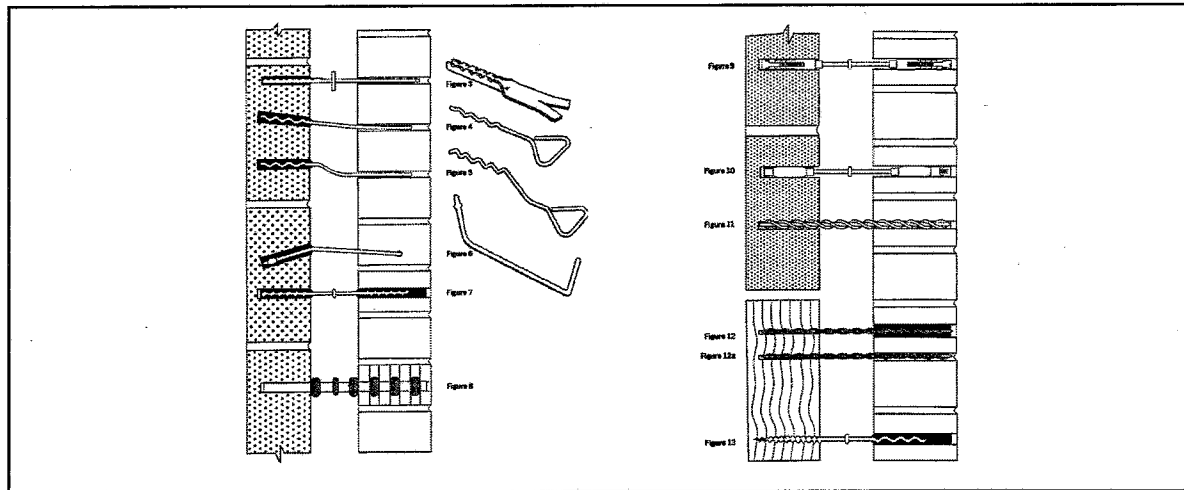


Figura 5.20 – Grampos de ponta ondulada introduzidos em furos e grampos de pontas mecânicas expansíveis utilizados em reabilitação [53]

Em [48] é referido o desempenho requerido para os grampos:

- Os grampos utilizados em panos com forras cerâmicas a envolver a estrutura devem possuir tolerância moderada para o movimento diferencial e alguma possibilidade de ajuste na vertical no momento de instalação para permitir a coordenação entre a estrutura e pano de parede;
- Os grampos utilizados em panos confinados pela estrutura devem permitir deformação horizontal e vertical.

O *Eurocódigo 6* refere que os ligadores de parede devem permitir movimentos diferenciais entre panos ou entre panos e a estrutura, sem danos. Sempre que for realizada uma junta de dessolidarização no pano de alvenaria é vantajoso utilizar grampeamento flexível, para que seja conferida alguma liberdade de deformação ao pano exterior de parede. Os grampos de arame (primeiro tipo da Figura 5.17) são adequados mas noutras publicações faz-se referência a outro tipo de grampos que permitem movimentos nas duas direcções do plano de parede (Figura 5.21).

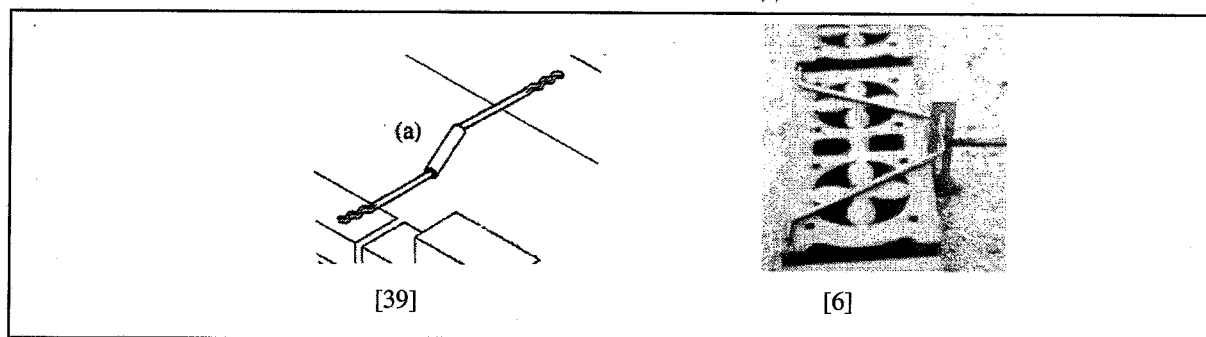


Figura 5.21 - Grampos com liberdade de movimentos nas duas direcções do plano de parede

Para a colocação dos grampos é necessário seguir alguns procedimentos para realizar a colocação dos grampos em paredes construídas. São os seguintes [54]:

- Retirar um tijolo do pano exterior;
- Realizar um furo na junta horizontal do pano interior;
- Introduzir o grampo no furo e fazer o enchimento com argamassa;
- Posicionar o grampo na junta horizontal do pano exterior;
- Reintroduzir o tijolo retirado.

Caso o pano exterior tenha que ser reconstruído apenas é necessário realizar os furos no pano interior e a operação torna-se mais fácil. Os grampos devem ficar inseridos na junta pelo menos 50 mm e devem ficar com ligeira inclinação para o exterior ou possuir uma pingadeira.

Quanto ao espaçamento entre grampos existem diversas recomendações. O *Eurocódigo 6* apresenta um método de cálculo do número mínimo por m^2 de ligadores para paredes duplas não estruturais sujeitas às acções laterais do vento. Este método entra em conta com:

- A acção horizontal do vento por unidade de área, calculada pela *ENV 1991*;
- A resistência à tracção ou compressão do ligador;
- Um coeficiente parcial de segurança igual a 2,5.

Estabelece como mínimo o valor de 2 ligadores por m^2 .

Em [7] é referido um número de 2 a 4 ligadores

A *BS 5628* [21] e o *Good Building Guide 41* [51] referem o espaçamento entre grampos, em zona corrente de parede de tijolo de face à vista, o apresentado no Quadro 5.6

QUADRO 5.6 - Espaçamento entre grampos [21, 51]

Espessura dos panos (mm)	Espessura da caixa de ar (mm)	Número de grampos mínimo por m ²	Espaçamento máximo dos grampos (mm)			
			Zona corrente		Junto a aberturas ou juntas	
			Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
65-90	50-75	4,9	450	450	225	300
Maior que 90	50-150	2,5	900	450	225	300

A Figura 5.22 ilustra as regras que se apresentam no Quadro 5.6.

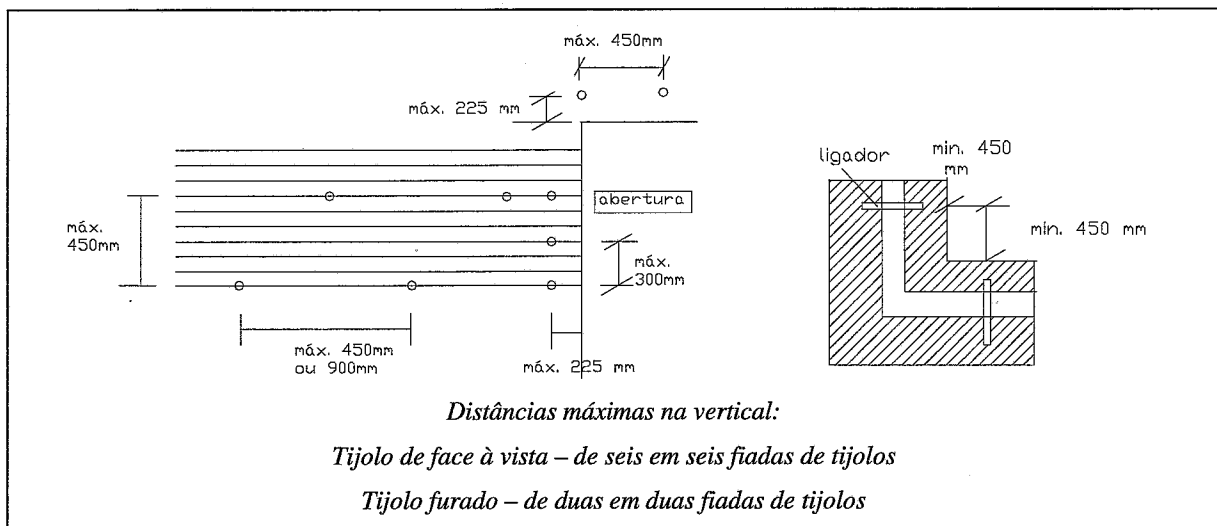


Figura 5.22 - Pormenor do espaçamento entre grampos em zona corrente, junto a aberturas e em cumhal entre paredes

Espessuras de caixa-de-ar grandes e paredes mais esbeltas requerem espaçamentos menores entre grampos. O grampo deve ser inserido no mínimo de 50 mm no interior do pano. O comprimento do grampo deve ser adequado em função da espessura da caixa-de-ar.

Em [23] recomenda-se, para paredes tijolo de face à vista, o mínimo de:

- Dois grampos/m² para alturas de parede inferiores a 3m;
- Três grampos/m² para alturas superiores a 3 m.

Em [52] recomenda-se para panos com espessuras superiores a 90 mm e espessuras da caixa-de-ar entre 50 mm e 75 mm e entre 76 e 100mm e em condições de apoio regulares (2/3 da largura

do pano), a utilização de um número mínimo de 2,5 grampos por m² e 3 grampos por m², respectivamente.

5.3.5.3 TRATAMENTO DAS FORRAS CERÂMICAS

No caso de se pretender corrigir anomalias construtivas mantendo a forra cerâmica e simultaneamente corrigir a ponte térmica, torna-se vantajoso proceder de três formas distintas:

- Manter a forra cerâmica reabilitando-a e corrigir a ponte térmica pelo interior;
- Alterar a solução inicial de forra cerâmica de correcção e substituir por um isolante térmico e um revestimento independente e descontínuo fixado ao suporte;
- Realizar o isolamento térmico sobre a forra cerâmica.

Caso se pretenda manter o aspecto inicial da fachada é fundamental introduzir algumas modificações funcionais. A segunda solução elimina alguns problemas na forra cerâmica eliminando-a e corrige a ponte térmica. A terceira corrige da mesma forma o problema da ponte térmica e protege a zona das acções climáticas exteriores. A segunda e terceiras são analisadas no capítulo 4.

A DTU 20.1 [8] denomina-as de “habillages” e têm a finalidade de tornar o suporte do revestimento mais homogéneo. Sublinhe-se mais uma vez, tal como foi referido no capítulo 4, que este tipo de técnica não traz uma melhoria significativa do comportamento térmico das ligações e introduz, com muita frequência, patologias adicionais. A DTU 20.1 [8] recomenda que as “habillages” devem ser do mesmo material que o material da alvenaria e quando isto não aconteça, o revestimento deve ser obrigatoriamente armado na zona de ligação. De realçar que as heterogeneidades acentuadas do suporte do reboco (como por exemplo as resultantes da colocação de um isolante térmico localizado), não são permitidas. A utilização de materiais de diferentes coeficientes de dilatação térmica também não é aconselhada. A colocação de um isolante sob um revestimento ou forra de espessura inferior a 10 cm também não é aconselhada. Recomenda também que o elemento cerâmico da forra deve ser colocado previamente nas cofragens antes da betonagem dos elementos estruturais, o que só parece ser realizável em vigas e topos de lajes.

Face às possíveis deformações das alvenarias e das estruturas que as envolvem as forras de cerâmicas devem estar isoladas dos panos de parede através de juntas de dessolidarização [25]. A norma BS5628 [21] também recomenda que deve existir uma junta horizontal de dessolidarização entre a forra cerâmica e o restante pano para fazer face aos diferentes movimentos entre os dois elementos construtivos. Esta junta deve localizar-se entre a primeira fiada da forra cerâmica e a última fiada de tijolo do pano corrente (a junta está pormenorizada na figura 5.8). Refere também que devem existir juntas verticais elásticas espaçadas menos que o espaçamento recomendado para a zona corrente e posicionadas na ligação com o pano corrente, nas zonas de pilar. A largura dessas juntas deve ser no mínimo de 10 mm. Em [44] refere-se que nas forras devem existir juntas de dilatação distanciadas entre si, na vertical, de 2 pisos e, na horizontal, até 12 m.

A fixação da forra ao elemento estrutural que a mesma envolve é fundamental para que esta não se desprenda e funcione solidarizada ao topo das lajes. A mesma norma refere que as forras devem ser fixadas à estrutura através de argamassas de forte aderência à base de resinas epoxy ou de resinas de poliéster, sobre as quais é dada informação detalhada. Refere também que quando as forras possuírem mais que duas fiadas, estas devem ser fixadas, mecanicamente, ao elemento estrutural, como suplemento às argamassas. Para realizar a fixação deve recorrer-se em simultâneo:

- A argamassas de alta aderência, por exemplo, à base de resinas epoxy ou resinas de poliéster;
- A um sistema de fixação por ligadores ou grampos, embebidos nas juntas horizontais dos elementos cerâmicos e aparafusados ou pregados ao elemento estrutural.

A Figura 5.23 mostra alguns ligadores com características adequadas para realização deste tipo fixação. Os primeiros são semi-rígidos e os restantes permitem movimentos na vertical e na horizontal. São aparafusados ou selados ao elemento estrutural.

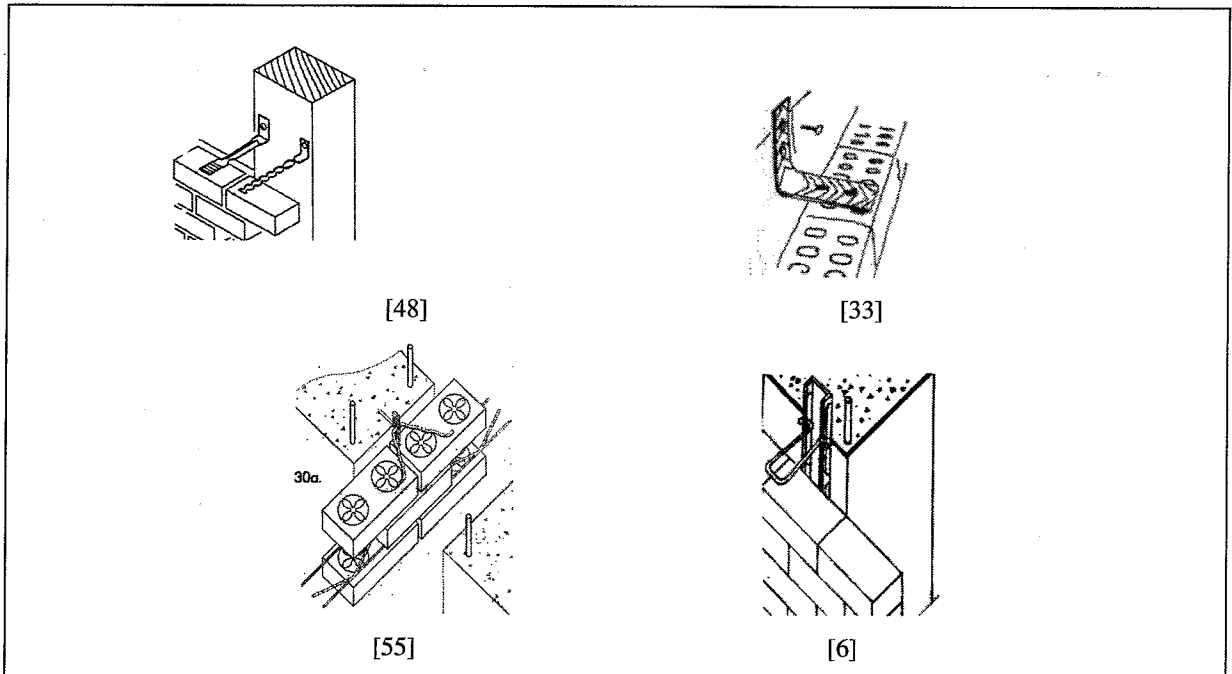


Figura 5.23 - Ligadores para fazer a fixação da forra cerâmica à estrutura

Estes ligadores são fixados:

- Mediante a realização de furos nos elementos estruturais, onde são introduzidos e seguidamente selados com argamassas de cimento ou resinas;
- Através de fixações mecânicas que fazem parte integrante do próprio grampo.

A superfície do elemento estrutural que vai ficar em contacto com a forra deve ser tornada rugosa.

Em [44] refere-se que o peso de uma forra de tijolo cerâmico de pouca espessura (cerca de 3cm a 7cm) é suficientemente grande para que a união por aderência com argamassa ao suporte seja inadequada. Cada dois pisos deve haver um apoio fixo, ao suporte e deve fazer-se o grampeamento no mínimo com cinco grampos por m^2 com diâmetro de 3 mm, onde nas zonas com bordos livres (cunhais, juntas e vãos) se devem adicionar três grampos por m^2 .

Nas forras cerâmicas em topo de lajes propõe-se a colocação de ligadores em todas as juntas horizontais da forra e distanciados no máximo de 450 mm na horizontal (Figura 5.24).

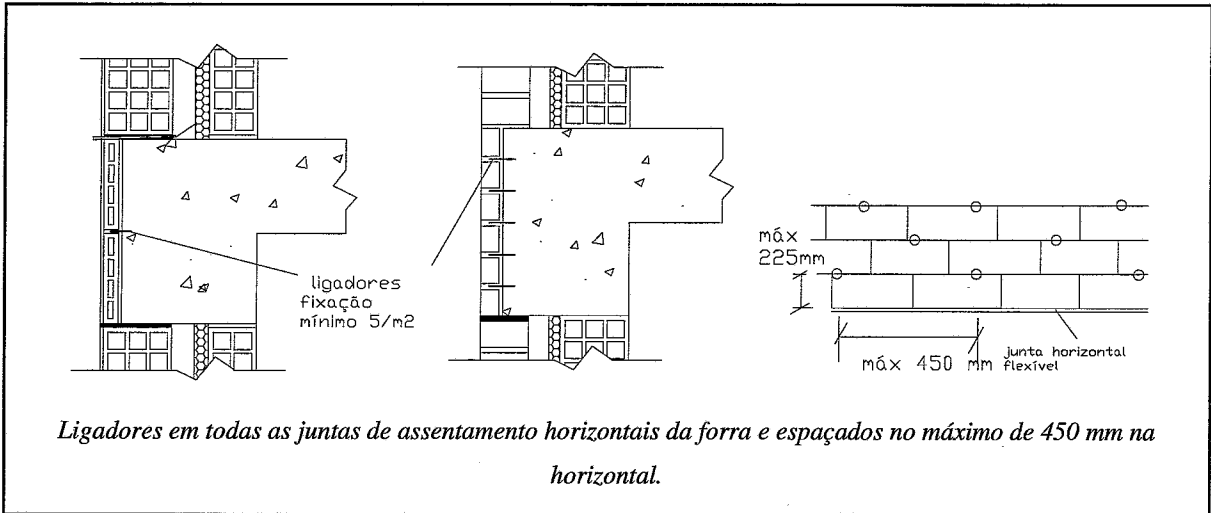


Figura 5.24 - Pormenor da fixação da forra cerâmica exterior em zona de viga com a colocação de grampos nas juntas horizontais

Em forras cerâmicas de pilar ou parede resistente e em platibandas recomendam-se ligadores distanciados no máximo de 450 mm na horizontal e na vertical (Figura 5.25).

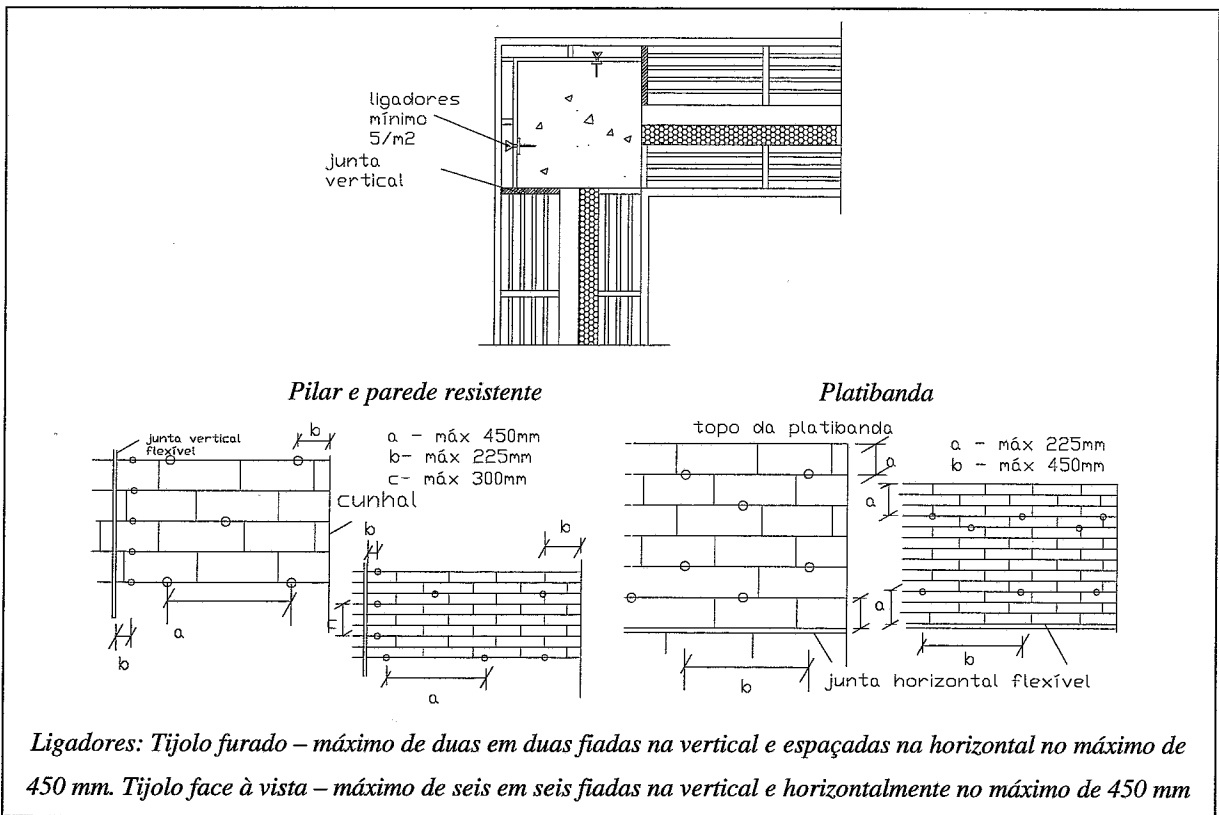


Figura 5.25- Pormenor da fixação da forra cerâmica exterior em zona de pilar, parede ou platibanda com a colocação de grampos nas juntas horizontais

Schild [44] refere que deve existir um elemento de apoio adicional da forra em cada dois pisos. Poderá ser dada continuidade ao apoio metálico do tipo cantoneira utilizado para fazer suporte de panos exteriores referido no ponto 5.3.1.

Existem sistemas integrados de alvenarias armadas que possuem disposições particulares para todas as zonas particulares da fachada, incluindo para zonas de forras cerâmica a envolver os elementos estruturais. A Figura 5.26 mostra as disposições de armaduras para resolução das zonas de forra cerâmica em tijolo de face à vista inseridas num sistema integrado de alvenaria armada.

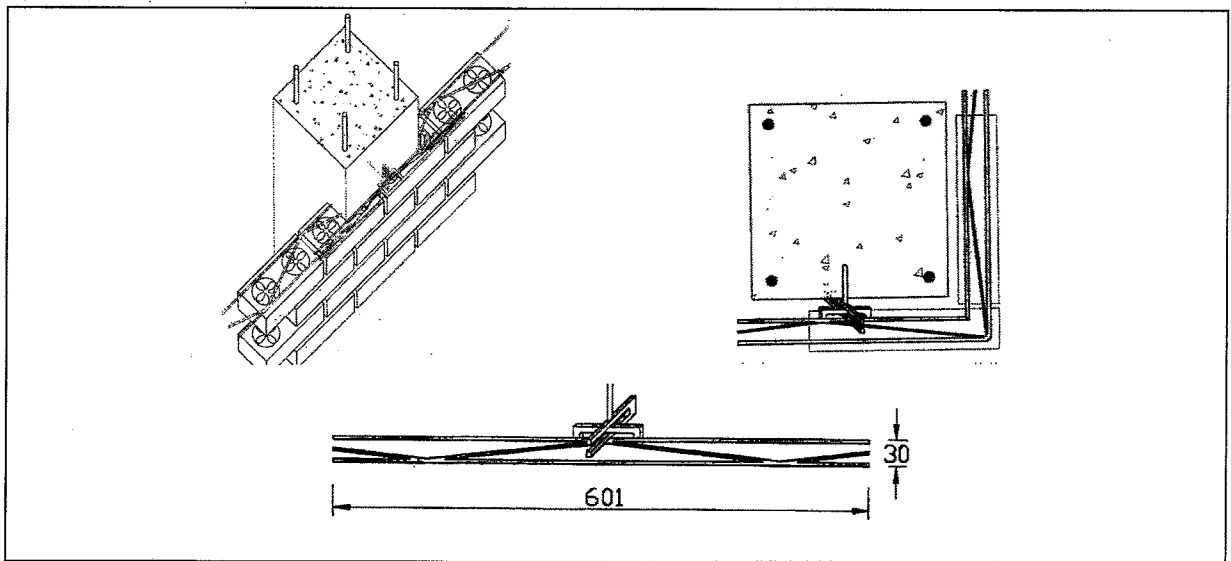


Figura 5.26 – Armadura de juntas horizontais em zona de forra cerâmica [55]

A introdução de armaduras na forra e no restante pano também poderá ser equacionada caso se reconstrua o pano com armaduras nas juntas horizontais.

5.3.5.4 ARMADURAS NAS JUNTAS HORIZONTAIS DE ALVENARIA

Baio Dias [56] refere o conceito de *alvenaria não-estrutural pouco armada* como a alvenaria com armaduras em zonas da parede onde a sua colocação se traduz num maior benefício para o funcionamento da parede. A introdução de armaduras nas juntas horizontais permite um controlo das tensões distribuindo-as pela alvenaria. Permite dar às alvenarias maior resistência mecânica à flexão, tracção e ao corte e aumentar a ductilidade. Esta medida também é recomendada para aumentar a resistência às variações de temperatura e humidade, aumentando a distância mínima

entre juntas de dilatação. A introdução de armaduras nas juntas de assentamento contribui para a redução das fissuras inclinadas e das que se desenvolvem junto às aberturas de portas e janelas devidas à deformação do suporte [2].

O projecto de alvenaria não-estrutural armada deve basear-se num controlo de fissuração e numa obtenção de ductilidade. O Eurocódigo 6 refere a cláusula aplicável para o cálculo da armadura nas juntas horizontais para controlo da fissuração “ a área de armadura não deve ser inferior a 0,03% da área bruta da secção transversal de parede, em condições normais, o espaçamento vertical não deve exceder 600mm”.

Quando existem deformações da estrutura, a armadura na base da parede deve ser dimensionada admitindo a flexão da parede entre apoios como uma viga ou viga parede, em função da relação vão/altura. A concentração de armaduras deve ser maioritária na base da parede [57].

Em função acções estão em causa estão disponíveis métodos de cálculo das armaduras [57, 44]. As armaduras devem ser reforçadas nas zonas particulares do pano de parede principalmente nos cunhais, nas zonas de apoio de cargas pontuais, nas padieiras e na base de paredes sobre suportes deformáveis. Em deformações por variação de temperatura e humidade as armaduras devem ser dispostas uniformemente ao longo do pano de parede.

As armaduras são comercializadas em varões isolados, em treliça, escada ou em rede, com diâmetros variando entre os 4 e os 5 mm (Figura 5.27). As preferenciais são aquelas em que os varões transversais estejam no mesmo plano que os varões longitudinais, para uma correcta introdução nas juntas.

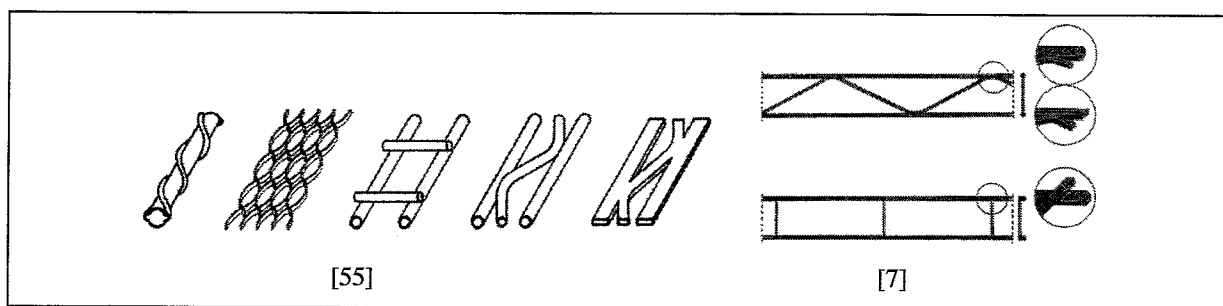


Figura 5.27 - Tipos de armaduras para juntas horizontais de alvenarias

Os acessórios metálicos devem ter a resistência mecânica necessária e devem ser protegidos contra a corrosão, cumprindo a norma europeia EN 845-3. Quando são em ferro necessitam de galvanização ou protecção com resinas epoxi, se são em aço inox não necessitam de qualquer protecção. O cobre e o alumínio também podem ser utilizados, sendo de salientar que o alumínio necessita de protecção com pinturas betuminosas ou cromato de zinco, pois pode vir a ser corroído pelas argamassas e betões frescos. A BS 5628 [21] refere as características a dar à protecção dos acessórios metálicos.

5.4 SOLUÇÕES SIMULTÂNEAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA E CONSTRUTIVA NAS ZONAS DE PONTE TÉRMICA

Nas zonas de ponte térmica podem e devem-se conciliar as soluções de reabilitação térmica e construtiva, principalmente quando a primeira é realizada pelo exterior.

Os sistemas de revestimentos tipo independentes e descontínuos são os mais recomendados, porque permitem certas disposições construtivas (como juntas flexíveis) e protegem-nas e permitem ocultação de fissuras activas. A Figura 5.28 mostra um exemplo.

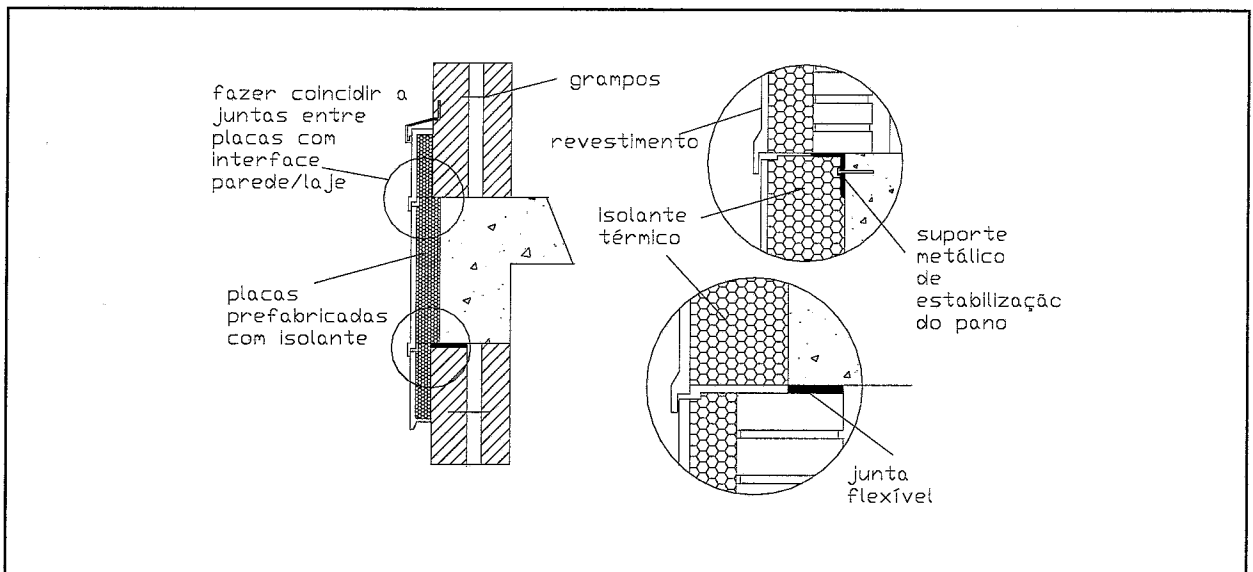


Figura 5.28- Pormenor de reabilitação térmica e reabilitação construtiva de zona de piso intermédio e laje de cobertura

Uma zona onde este princípio pode funcionar de forma plena é a zona de ligação de parede à laje de cobertura (Figura 5.29).

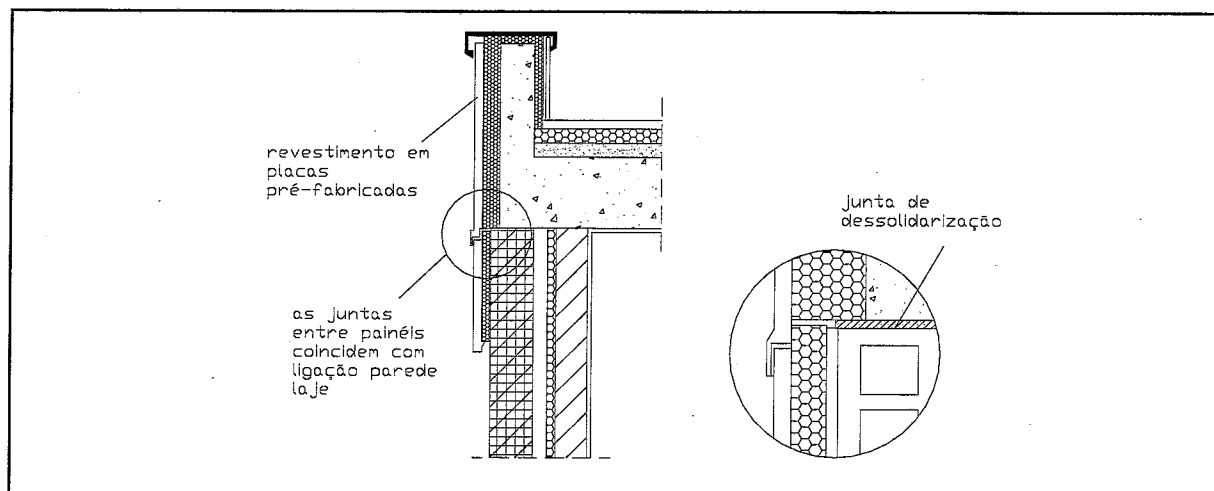


Figura 5.29 – Pormenor de reabilitação térmica e reabilitação construtiva de zona de piso intermédio e laje de cobertura

A necessidade de uma junta na zona onde se coloca um apoio metálico e a existência de uma junta de dessolidarização abaixo da laje é perfeitamente assegurada pela interface entre placas de isolante térmico e protegida pelo sistema de placas prefabricadas ou revestimentos independentes.

Também se pode conciliar juntas verticais de dessolidarização com sistemas deste género aplicados pontualmente nessas zonas (Figura 5.30).

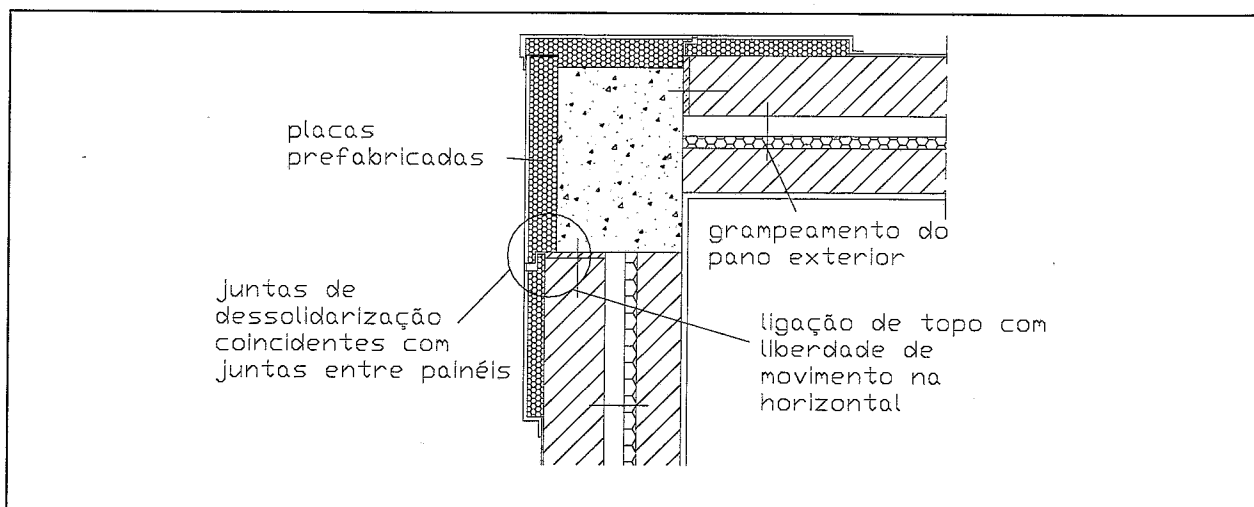


Figura 5.30 - Pormenor de reabilitação térmica e reabilitação construtiva de zona de cunhal

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES GERAIS DOS TEMAS TRATADOS NESTE TRABALHO

Apresentam-se de seguida as conclusões referentes à globalidade do estudo efectuado. Sublinhe-se que ao longo do trabalho foram sendo apresentados comentários e recomendações para situações específicas que constituem, igualmente, conclusões a retirar da análise efectuada, que seria fastidioso repetir aqui.

A motivação para a execução deste trabalho prendeu-se com a necessidade de encontrar soluções de reabilitação para o problema das pontes térmicas, infelizmente, muito frequente nas construções portuguesas. Não só para a vertente térmica, em si, mas também para os problemas construtivos inerentes às soluções utilizadas nessas zonas da envolvente. À primeira chamou-se reabilitação térmica e à segunda reabilitação construtiva. Quanto à reabilitação térmica, definiu-se como objectivo principal provar que é possível encontrar soluções construtivas e evitar as patologias resultantes. Quanto à reabilitação construtiva, definiu-se como objectivo principal encontrar soluções de reabilitação para as patologias, com base em conhecimentos técnicos já existentes.

Primeiramente, fez-se uma recolha e análise das patologias nessas zonas e a identificação do universo das possíveis causas e dos mecanismos de desenvolvimento, com vista a perceber os fenómenos em causa. Pode concluir-se, nesta etapa, que:

- As consequências do fenómeno de ponte térmica afectam a habitabilidade dos espaços interiores e contribuem para a degradação dos materiais de revestimento interiores;
- As zonas de ponte térmica são pontos frágeis de ligação entre elementos construtivos e mudança de geometria, onde existe uma propensão para a concentração de tensões;

- Múltiplas causas podem estar na origem de uma só patologia construtiva, o que não torna possível em muitas situações criar um relação biunívoca causa-efeito;
- As soluções construtivas de fachada utilizadas actualmente, principalmente as utilizadas nos pontos particulares, não são adequadas para fazer face às concentrações de tensões nesses pontos;
- As soluções de forra cerâmica pelo exterior têm desencadeado problemas de instabilidade dos panos de alvenaria e dos elementos da forra cerâmica.
- As consequências das deformações do suporte das paredes exteriores e das deformações das próprias paredes são agravadas pela realização de panos semi-apoiados pelo efeito da excentricidade na aplicação das cargas e esforços;
- Os panos de parede confinados têm apresentado menos problemas do que os que o não são;
- A concepção das forras cerâmicas pelo exterior, as vulgares correcções térmicas, é inadequada face às solicitações a que normalmente estão sujeitas.

Para cumprir os objectivos propostos no campo da reabilitação térmica e confirmar a eficácia das soluções propostas, foi necessário recorrer à simulação numérica, com recurso a dois programas informáticos, limitados a pontes bidimensionais.

Dadas as numerosas possibilidades de geometrias existentes, identificaram-se as geometrias mais gravosas da envolvente, pois apenas para estas se torna primordial e vantajosa uma intervenção.

Escolheram-se as soluções construtivas mais representativas, pois a simulação das inúmeras soluções construtivas existentes seria impossível no âmbito temporal deste trabalho. De facto, a obtenção de resultados para os casos mais graves permite tirar conclusões relativamente a outros de menor gravidade.

Pode-se, assim, concluir que:

- As soluções de correcção cerâmica que têm vindo a ser utilizadas nestas zonas não têm trazido melhorias no comportamento térmico das zonas de ponte térmica;
- O incremento pontual da resistência térmica nas zonas em estudo proporcionou em todas as soluções simuladas melhoria do seu comportamento;

- A modificação da geometria da superfície interior de uma ponte térmica, de forma a acompanhar o trajecto das linhas isotérmicas, também originou bons resultados, não sendo aplicável a todos os casos por questões de estética interior;
- É fundamental para o sucesso da reabilitação que a intervenção não se limite ao elemento de descontinuidade mas se prolongue numa extensão mínima para além da ponte térmica, em zona corrente de parede;
- As intervenções de correcção realizadas pelo exterior necessitam de espessuras do material ou do elemento de correcção térmica mais elevadas do que as intervenções pelo interior, para além de implicarem modificações mais radicais no aspecto da fachada;
- As intervenções pelo interior são de mais fácil enquadramento e execução e podem ser levadas a cabo individualmente por cada um dos proprietários dos espaços;
- A utilização de materiais e soluções construtivas de isolamento térmico perspectivam um bom desempenho térmico com reduzida perda de área útil;
- Os sistemas de isolamento térmico existentes no mercado poderão ter que ser desenvolvidos e adaptados para materializarem melhor as soluções de reabilitação térmica preconizadas;
- É possível, em muitos casos, inserir as soluções de uma forma harmoniosa no conjunto arquitectónico da fachada e na decoração do interior dos edifícios;
- A reabilitação térmica de ombreiras, parapeitos e caixas de estore é a intervenção que necessita de acções mais radicais para se obterem resultados satisfatórios.

A reabilitação construtiva é uma área muito vasta pela multiplicidade de causas e mecanismos envolvidos. O estudo deste campo teve como suporte fundamental múltiplos e diferentes tipos de recomendações encontradas nas publicações da especialidade, ainda que nem todos sejam específicos para intervenções em reabilitação. Com base na análise dessas recomendações enumeram-se seguidamente princípios que devem orientar as acções a realizar:

- Sempre que exista um problema térmico e um problema construtivo a solução de reabilitação deve ser pensada para conjugar a reabilitação térmica e a construtiva, simultaneamente, o que introduz vantagens na intervenção;

- Em muitas situações a solução encontrada, com o objectivo de reabilitar termicamente a ponte térmica, vem resolver satisfatoriamente certas patologias construtivas;
- A retoma da estabilidade dos panos de parede deve ser a intervenção fundamental, o que implica, quase sempre, a introdução de acessórios adicionais;
- Quando os panos sofrem roturas consideráveis não existe outra alternativa senão proceder à demolição e à reconstrução com as alterações necessárias;
- Verifica-se que existem vantagens na substituição das forras cerâmicas por outros materiais ou elementos construtivos, salvaguardando sempre a estabilidade dos panos de parede, e podendo melhorar em simultâneo o problema térmico, implicando no entanto a modificação no aspecto das fachadas;
- Mantendo as forras cerâmicas pelo exterior, recomenda-se que sejam fixadas mecanicamente à estrutura através de grampeamento e de argamassas de alta aderência e dessolidarizadas dos panos correntes mediante juntas elásticas estanques horizontais e verticais;
- As soluções construtivas que implicam a introdução de juntas flexíveis podem introduzir problemas de estanquidade nas fachadas pelo que é preciso que sejam bem concebidas e executadas;
- Os panos exteriores semi-apoiados e não confinados devem ser sempre ligados mecanicamente ao pano interior ou à estrutura;
- No caso de se proceder à reconstrução dos panos, a utilização de uma alvenaria armada pode trazer inúmeros benefícios.

Pode-se adiantar, à partida, que com a intervenção de reabilitação é difícil conseguir resultados tão satisfatórios como os que uma concepção inicial em projecto proporcionaria. A reabilitação para melhorar o comportamento térmico das zonas de ponte térmica pode ser realizada com intervenções menos complicadas do que a reabilitação para restabelecer um comportamento mecânico adequado. Foi possível provar que é possível realizar a reabilitação térmica e foram apresentados alguns princípios de reabilitação. A reabilitação de patologias construtivas implica o tratamento de fenómenos complexos e requer intervenções mais radicais.

Os sistemas de revestimento descontínuo e independente parecem ser os mais adequados para intervir nas soluções de reabilitação em pontes térmicas.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Após realização deste trabalho e mediante as conclusões dele retiradas ressaltam uma série de possíveis áreas de investigação em aberto. No campo da reabilitação térmica, poderá ser de grande interesse a realização de trabalhos com vista a:

- Estudar e desenvolver soluções de reabilitação para problemas de ponte térmica existentes em sistemas de fachada não tradicionais;
- Desenvolver os sistemas de isolamento térmico existentes, principalmente os que utilizam revestimentos descontínuos e independentes, para intervenções pontuais de reabilitação pelo exterior;
- Explorar mais profundamente soluções de reabilitação térmica em zonas de ombreiras, peitoris e caixas de estore, dada a sua especificidade e as numerosas geometrias possíveis.

No campo da reabilitação construtiva, será vantajoso aprofundar o estudo de forma a:

- Investigar sistemas eficientes de suporte complementar para panos exteriores de parede semi-apoiados e não confinados, vocacionados para intervenções de reabilitação;
- Apurar tecnologias de grampeamento em intervenções de reabilitação de panos exteriores de parede em tijolo vazado e tijolo de face à vista;
- Desenvolver métodos de cálculo e sistemas para reforço mecânico dos panos de parede com a utilização de armaduras nas juntas horizontais para intervenções de construção e reconstrução em alvenaria de tijolo furado;
- Conceber e implementar sistemas integrados de execução de paredes de alvenaria, com particular incidência para o desenvolvimento dos elementos cerâmicos para zonas singulares da envolvente.



REFERÊNCIAS

- 1) CORVACHO, Maria Helena, **Catálogo de Pontes Térmicas**, Nota de Informação Técnica – NIT 003, LFC, 1999;
- 2) SILVA, José António Raimundo Mendes, **Fissuração das Alvenarias**, Estudo do Comportamento das Alvenarias sob Acções Térmicas, Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1998;
- 3) CORVACHO, Maria Helena Póvoas, **Pontes Térmicas, Análise do Fenómeno e Proposta de Soluções**; Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996;
- 4) MASCARENHAS, Jorge, **Sistemas de Construção, II – Paredes: paredes exteriores (1º parte), Descrição Ilustrada e Detalhada de Processos Construtivos Utilizados Correntemente em Portugal**, Livros horizonte, Lisboa, 2002;
- 5) VICENTE, Romeu da Silva; **Patologia das Paredes de Fachada, Estudo do Comportamento Mecânico das Paredes de Fachada com Correção Exterior das Pontes Térmicas**, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Ciências da Construção, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Maio de 2002;
- 6) ARGILÉS, Josep M^a Adell, **Arquitectura Sin Fisuras**, Arquitectura e Tecnologia, Tomo 2, Munilla-Iería, Madrid, 2000;
- 7) CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO e DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA FCTUC, **Manual de Alvenaria de Tijolo**, Associação Portuguesa de Cerâmica, Coimbra, 2000;
- 8) C.S.T.B., **Parois et Murs en Maçonnerie de Petits Éléments - DTU 20.1**, Cahier de Clauses Techniques, Paris, França, 1993;

- 9) WOUTERS, P., Schietecat, J., Standaert, P., **Practical Guide for the Hygrothermal Evaluation of Thermal Bridges**, Save-Kopractice-Project Document, 2003;
- 10) BRESCU, **Minimising Thermal Bridging When Upgrading Existing Housing, A Detailed Guide for Architects and Building Designers**, Good Practice Guide 174, Best Practice Programme Energy Efficiency, Department of Environment, 1996;
- 11) BRECSU, **Minimising Thermal Bridging in New Dwellings, A detailed Guide for Architects and Building Designers**, Good Practice Guide 183, Best Practice Programme Energy Efficiency, Department of Environment, 1996;
- 12) GREAT BRITAIN DEPARTMENT FOR TRANSPORT LOCAL GOVERNMENT AND THE REGIONS GREAT BRITAIN DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS, **Limiting Thermal Bridging and Air Leakage – Robust Construction Details for Dwellings and Similar Buildings**; The Stationery Office; 2001;
- 13) WARD, Tim, **Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings**, IP 17/01, BRE, 2001;
- 14) UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, **Tratado de Rehabilitación, Patología y Técnicas de Intervención. Fachadas y Cubiertas**, , Tomo 4, , Ediciones Munilla-lería, Madrid, 1999;
- 15) UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, **Tratado de Rehabilitación. Patología y Técnicas de Intervención. Las Instalaciones**, Tomo 5, Ediciones Munilla-lería, Madrid, 1999;
- 16) GONZÁLEZ, F. Javier Neila; FRUTOS, César Bedoya **Técnicas Arquitectónicas y Constructivas de Acondicionamiento Ambiental**, Ediciones Munilla-lería, Madrid, 1991;

- 17) ARAÚJO, Álvaro, ALMEIDA, M. Guedes, **Anomalias em Fachadas Devidas a Deformações dos Elementos Estruturais**, Construção 2001 – Por uma Construção Sustentável, Encontro Nacional da Construção, Volume I, Lisboa, Dezembro 2001;
- 18) ARAÚJO, Álvaro, ALMEIDA, M. Guedes, **Acções Higrotérmicas em Fachadas**, Construção 2001 – Por uma Construção Sustentável, Encontro Nacional da Construção, Volume I, Lisboa, Dezembro 2001;
- 19) FREITAS, Vasco Peixoto de; PINTO, P. S., **Influência da Expansão do Barro Vermelho pela Acção da Humidade na Degradação de Alvenarias de Tijolo Vazado**, Construção 2001 – Por uma Construção Sustentável, Encontro Nacional da Construção, Volume I, Lisboa, Dezembro 2001;
- 20) CEN, **Eurocode 6 – Design of Masonry Structures**, Part 1.1, General Rules for Buildings. CEN, prENV 1996-1-1, 1994;
- 21) BS, BS 5628: Part 3: 1985 - **British Standard Code of Practice for Use of Masonry- Part 3. Materials and Components Design and Workmanship**, BSI Standards;
- 22) SECCIÓN DE LADRILHO CARA VISTA DE HISPALYT, **Manual de Ejecución de Fachadas com Ladrilho Cara Vista**, Hispalyt, Madrid, 1998;
- 23) CENTRE TECHNIQUE DES TUILES ET BRIQUES, **Tuiles et Briques en Terre Cuite** Mémento Technique, 1998;
- 24) BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **Cavity External Walls: Cold Bridges Around Windows And Doors**, Defects Action Sheet 77, Garston, 1986;
- 25) BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **Reinforced-Concrete Framed Flats: Repair of Disrupted Brick Cladding**, Defect Action Sheet 2, BRE, Garston, 1982;
- 26) CARRIO, Juan Monjo, **Patologia de Cerramientos y Acabados Arquitectónicos**, Munilla-Iería, 2000;

- 27) FREITAS, Vasco Peixoto de; PINTO, Paulo da Silva. **Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção – Condensações Internas**. Nota de Informação Técnica – NIT 002 – LFC 1998, LFC-FEUP, Porto, 1998;
- 28) GONZÁLEZ, José Luis; CASALS, Albert; FALCONES, Alejandro, **Claves del Construir Arquitectónico Elementos del Exterior, la Estructura y la Compartimentación**, Tomo I, Los Principios, Gustavo Gili, 1998;
- 29) EICHLER, Friedrich, **Patologia de la Construcción – Detalhes Constructivos**, Biblioteca Técnica de la Construction, Por Adrián Margarit Et José Fabregat, Editorial Blume, Barcelona, 1973;
- 30) BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **External Walls – Dry Lining: Avoiding Cold Bridges**, Defect Action Sheet 78, BRE, Garston, 1986;
- 31) GÉRARD, R.; LAECKE, W. Van, **Isolation Thermique des Murs Extérieurs des Bâtiments**, CSTC, Revue n^o34, Julho-Dezembro 1986;
- 32) SANTOS, C.A. Pina dos; PAIVA, J.A. Vasconcelos de, **Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios**, LNEC, ITE 12, Lisboa, 1986;
- 33) MASCARENHAS, Jorge, **Sistemas de Construção, III – Paredes (2^o parte) e Materiais Básicos (1^o parte), Descrição Ilustrada e Detalhada de Processos Construtivos Utilizados Correntemente em Portugal**, Livros horizonte, Lisboa, 2003;
- 34) **Decoração**, Especial Nova Gente, Nova, Impala, Número 36, Ano 5, Sintra, Fevereiro 2002;
- 35) **Pladur um sistema um estilo, manual básico**, Episa Portugal, 1986;
- 36) **El Mueble**, RBA REVISTAS S.A., Ano XXXVIII, N^o 480 e N^o482, Barcelona, 2002;

- 37) **Nuevo Estilo**, Grupo Axel Springer, Nº 286, Madrid, 2002;
- 38) SILVA, José António Raimundo Mendes, **Alvenarias não Estruturais, Patologias e Estratégias de Reabilitação**, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Editado por P. Lourenço & H. de Sousa, Porto, 24 de Outubro de 2002;
- 39) MASCARENHAS, Jorge, **Sistemas de Construção, III – Paredes (2º parte) e Materiais Básicos (1º parte), Descrição Ilustrada e Detalhada de Processos Construtivos Utilizados Correntemente em Portugal**, Livros horizonte, Lisboa, 2003;
- 40) FREITAS, Vasco Peixoto de, **Patologia na Construção, Comunicações das 7ºas Jornadas de Construções Civas - Inovação e Desenvolvimento na Construção de Edifícios**, Porto, 16 de Dezembro 1999;
- 41) C.S.T.B., **Enduits aux Mortiers de Ciments, de Chaux et de Mélange Plâtre et Chaux Aériennes – D.T.U. 26.1, Cahier de Clauses Techniques**, Paris, França, 1993;
- 42) ALVES, Sérgio; SOUSA, Hipólito de, **Paredes Exteriores de Edifícios em Pano Simples**, LIDEL, Lisboa, 2003;
- 43) BONSHOR, RB; BONSHOR, LL, **Cracking in Buildings**, Construction Research Communications Ltd, London, 1996;
- 44) SCHILD, Erich; OSWALD, Rainier; ROGIER, Dietmar; SCWEIKERT, Hans; SCHNAPAUFF, Volker, **Estanquidad e Impermeabilization en la Edification – Prevencion de Defectos en Muros y Ceramientos**, Tomo II, Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1978;
- 45) PARÍCIO, Ignácio, **La Fachada de Ladrillo**, Bisagra, Barcelona, 2000;
- 46) CAMAREIRO, L., **A importância da Pormenorização no Comportamento das Alvenarias**, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Editado por P. Lourenço & H. de Sousa, Porto, 24 de Outubro de 2002;

- 47) TIMPERMAN, P., **The Market for Murfor, Reinforced Masonry in Europe**, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Edição de P.B. Lourenço & H. Sousa, Porto, 24 de Outubro 2002;
- 48) VEKEY, RC de; **Ties for Masonry Walls: a Decade of Development**, IP 11/00, BRE, 2000;
- 49) BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **External Masonry Cavity Walls: Wall Tie Replacement**, Defect Action Sheet 21, BRE, Garston, 1983;
- 50) HER MAGESTY'S STATIONERY OFFICE, **Defects in Buildings**, Department of Environment, HMSO, London, 1989;
- 51) BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **Installing Wall Ties**, Good Building Guide 41, BRE, Garston, 2000;
- 52) BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **External Masonry Cavity Walls: Wall Tie - Installation**, Defect Action Sheet 20, BRE, Garston, 1983;
- 53) VEKEY, RC de, **Installing Wall Ties in Existing Construction**, Digest 329, BRE, 2000;
- 54) BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **Replacing Masonry Wall Ties**, Good Repair Guide 4, BRE, Garston, 1996;
- 55) ARGILÉS, Josep M^a Adell, **La fábrica Armada, Arquitectura y Tecnologia**, Tomo 3, Munilla-Iería, Madrid, 2000;
- 56) DIAS, António Baio, **Construção em Tijolo Cerâmico: Das Exigências Normativas do Produto à Prática de Aplicação**; Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Editado por P. Lourenço & H. de Sousa, Porto, 24 de Outubro de 2002;
- 57) LOURENÇO, Paulo. B., **Concepção e Projecto para Alvenaria**, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Editado por P. Lourenço & H. de Sousa, Porto, 24 de Outubro de 2002.

BIBLIOGRAFIA

BAGLONI, A., GUARNERIO, G., **La Rehabilitación de Edificios Urbanos - Tecnologías para la Recuperación**, Colección Arquitectura/Perspectivas, Gustavo Gili, Barcelona, 1990;

BERNSTEIN, Daniel; VIDAL, Thierry; SIMON-ADAM, Cristine; CHAMPETIER, Jean Pierre, **Anatomie de l' Enveloppe des Bâtiments**, Editions du Moniteur, 1997;

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **External Masonry Cavity Walls: Vertical Joints for Thermal and Moisture Movements**, Defect Action Sheet 18, BRE, Garston, 1983;

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **External Masonry Cavity Walls: Wall Ties – Selection and Specification**, Defect Action Sheet 19, BRE, Garston, 1983;

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **External Masonry Cavity Walls: Wall Ties – Selection and Specification**, Defect Action Sheet 19, BRE, Garston, 1983;

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **Thermal Insulation: Avoiding Risks**, BR 262, CRC Ltd, BRE, Garston, 1994;

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, **Treating Condensation in Houses**, Good Repair Guide 7, BRE, Garston, 1997;

CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO e DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA FCTUC, **Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos**, Associação Portuguesa de Cerâmica, Coimbra, 2003;

DECRETOS-LEI, **Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios**, Decreto-Lei nº 40/90, 6 de Fevereiro 1990;

FREITAS, Vasco Peixoto de; PINTO, Manuel. **Metodologia para a Definição Exigencial de Isolantes Térmicos**. Nota de Informação Técnica – NIT 001 – LFC 1997, LFC-FEUP, Porto, 1997.

GONZÁLEZ, José Luis; CASALS, Albert; FALCONES, Alejandro, **Claves del Construir Arquitectónico Elementos del Exterior, la Estructura y la Compartimentación**, Tomo II, Elementos de las Instalaciones y la Envolvente, Gustavo Gili, 1999;

NATIONAL HOUSE-BUILDING COUNCIL, **Thermal Insulation and Ventilation**, Good Practice Guide, Energy Efficiency, Department of Environment, BRECSU, BRE, 1991;

PETRIGNANI, Achille, **Tecnologia dell'Architettura**, Serie Görlich, Instituto Geográfico de Agostini, Novara, 1990;

PIZZI, Emílio, **Le Chiusure Verticali con Blochi**, Guida Alla Progettazione, Be-ma Editrice, Itália, 1990;

SILVA, José Mendes da; ABRANTES, Vitor; VICENTE, Romeu S., **Degradação Precoce de Paredes de Fachada com Correção Exterior das Pontes Térmicas. Casos de Estudo**, Construção 2001 – Por uma Construção Sustentável, Encontro Nacional da Construção, Volume I, Lisboa, Dezembro 2001;

SOUSA, Hipólito de, **Alvenarias em Portugal, Situação Actual e Perspectivas Futuras**, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Edição de P.B. Lourenço & H. Sousa, Porto, 24 de Outubro 2002;

STIRLING, Charles, **Insulated External Cladding Systems**, GBG 31, BRE, 1999;

STIRLING, Charles, **Insulating Masonry Cavity Walls: Part 1 – Techniques and Materials Part 2 – Principal Risks and Guidance**, Good Building Guide 44, BRE, 2001;

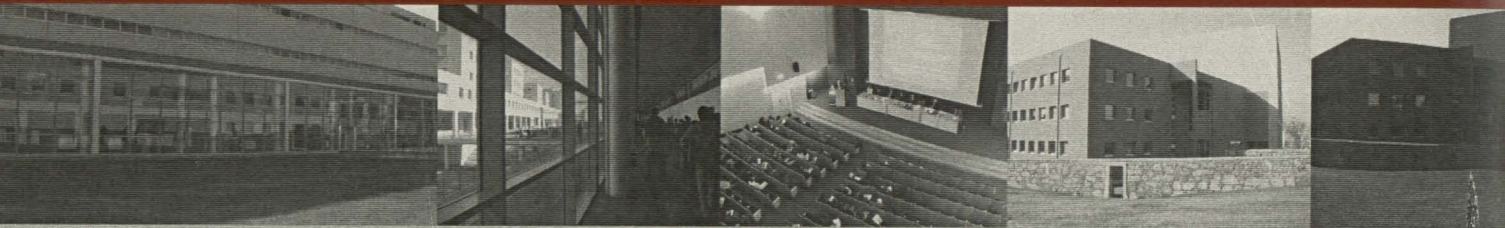
STIRLING, Charles, **Insulating Masonry Cavity Walls: Part 1 – Techniques and Materials Part 1 – Techniques and Materials**, Good Building Guide 44, BRE, 2001;

THE BRICK DEVELOPMENT ASSOCIATION, **The Repair and Maintenance of Brickwork**; Building Technical File, Number 20, January 1988;

WEKA, Modèles De Cctp Préétablis Avec Bibliothèque Descriptifs, Rénovation Et Réhabilitation, Edition Weka, 1997;

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, Building Without Cold Spots, Good Building Guide 35, BRE, 1999

STIRLING, Charles, Level External Thresholds: Reducing Moisture Penetration and Thermal Bridging, Good Building Guide 47, BRE, 2001;



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO BIBLIOTECA



000078467