



Bruno Miguel Sobral Moita **Reforço e Reabilitação Sísmica de
Construções da Baixa Pombalina**

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Construção Civil, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Cristina Oliveira da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal e co-orientação do Professor Doutor Mário Lopes do Instituto Superior Técnico.

Dissertação de Mestrado em Construção Civil

Fevereiro 2013



**Escola Superior de Tecnologia do Barreiro
INSTITUTO POLITÉCNICO DE SETÚBAL**

**Dissertação de Mestrado
Reforço e Reabilitação Sísmica de Construções
da Baixa Pombalina**

MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Bruno Miguel Sobral Moita

Trabalho realizado sob a orientação da Professora Doutora Cristina
Oliveira e do Professor Doutor Mário Lopes

Fevereiro 2013

Agradecimentos

À Professora Cristina Oliveira pela sua orientação, dedicação e amizade.

Ao Professor Mário Lopes pela amizade e partilha da sua sabedoria e conhecimento.

Agradecimentos especiais a todos os profissionais do setor da construção civil que partilharam o seu conhecimento ao longo da minha vida profissional enquanto técnico, contribuindo em termos práticos para uma melhor compreensão dos problemas referidos neste trabalho.

À minha família pelas longas horas de ausência dedicadas à elaboração deste trabalho.

RESUMO

Muitas das intervenções que ocorreram nos edifícios antigos, nomeadamente nos edifícios pombalinos, que foram construídos após o sismo de 1755, foram efetuadas desrespeitando os princípios anti-sísmicos utilizados na época pombalina e sem recurso a qualquer preocupação no que diz respeito à proteção sísmica, adulterando com frequência pormenores de grande importância e comprometendo o comportamento estrutural dessas construções.

Em primeiro lugar, faz-se uma breve referência aos sismos, sendo depois descritos aspetos relacionados com a tipologia e identificação dos edifícios antigos. De seguida são indicadas as patologias mais frequentemente encontradas nos edifícios antigos, procurando posteriormente apresentar as melhores soluções de intervenção que mantenham os aspetos originais da construção pombalina.

São realçados aspetos importantes de reforço estrutural anti-sísmico com recurso a pormenores importantes quer de ligação entre os vários elementos estruturais do edifício, quer nos diversos pormenores de reforço estrutural aplicáveis a estes tipos de estruturas, de modo a melhorar o desempenho estrutural dos edifícios antigos, contribuindo deste modo para o principal objetivo da engenharia sísmica, a preservação da vida humana, mas também para a minimização de danos. Este trabalho não substitui em caso algum o dimensionamento estrutural de edifícios antigos, procurando apenas minimizar o impacto que uma eventual ocorrência de um sismo possa provocar nas edificações sujeitas a intervenções sem recurso a projetos de estabilidade.

Procurou-se criar um documento prático, de simples utilização, podendo ser consultado não só por técnicos mas também pelos empreiteiros e donos de obra, garantindo deste modo a sensibilização destes para a realidade do sismo no nosso país, principalmente na zona da baixa de Lisboa.

Palavras-Chave: Edifícios pombalinos, reabilitação e reforço estrutural, critérios de recuperação.

ABSTRACT

Many of the structural interventions conducted in old buildings, particularly in pombaline buildings that were built after the earthquake of 1755, were made in disregard of the principles used in pombaline anti-seismic period and without any concern regarding earthquakes, adulterating important details and compromising the structural behavior of these constructions.

Firstly, a brief reference to earthquakes is made, and aspects related to the type and identification of old buildings are subsequently described. Then, the most frequent pathologies found in old buildings are listed, seeking the best solutions to intervene in order to maintain the unique aspects of the pombaline construction.

Important aspects of anti-seismic retrofitting are highlighted, with reference to the important connection details between the different structural elements of the buildings or to several detailed structural reinforcements, with the objective of improving structural performance and ensuring the primary goal of anti-seismic engineering, the preservation of human life.

This document does not replace in any case the structural design of buildings, seeking only to minimize the impact that a possible occurrence of an earthquake could result in buildings subjected to interventions without stability project.

A practical and simple document was sought, which could be consulted not only by technicians but also by contractors and developers, thereby ensuring their awareness regarding earthquakes in our country, particularly for Lisbon downtown area.

Keywords: Pombalino buildings; rehabilitation and strengthening of structures; recuperation criteria.

ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – O FENÓMENO SÍSMICO	5
2.1 – AÇÃO SÍSMICA.....	13
2.2 – RECOLHA E REGISTO DE INFORMAÇÃO DOS SISMOS OCORRIDOS.....	14
3 – CARACTERIZAÇÃO E TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO ANTIGA	15
3.1 – ARQUITETURA/ TIPO DE CONSTRUÇÃO	17
3.1.1 – EDIFÍCIOS PRÉ-POMBALINOS	18
3.1.2 – EDIFÍCIOS POMBALINOS.....	18
3.1.3 – EDIFÍCIOS GAIOLEIROS	23
3.2 – ESTRUTURA	28
3.2.1 – FUNDAÇÕES.....	31
3.2.2 – PAVIMENTOS.....	32
3.2.3 – PAREDES	34
3.2.4 – COBERTURA.....	38
3.2.5 – CAIXA DE ESCADAS	42
3.2.6 – VÃOS EXTERIORES	44
3.3 – REDES DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO	46
3.4 – MATERIAIS.....	47
3.4.1 – ALVENARIAS.....	47
3.4.2 – MADEIRA	47
3.4.3 – FERRO E AÇO	53
3.4.4 – REVESTIMENTOS	53
4 – DANOS E PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES ANTIGAS	57
4.1 – IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE EDIFÍCIO.....	59
4.2 – MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO.....	60
4.3 – PATOLOGIAS NAS FUNDAÇÕES.....	62
4.4 – PATOLOGIAS NAS PAREDES DE ALVENARIA	63
4.5 – PATOLOGIAS NAS PAREDES DE MADEIRA.....	68
4.6 – PATOLOGIAS NOS PAVIMENTOS.....	70
4.7 – PATOLOGIAS NA COBERTURA	76
4.8 – PATOLOGIAS NA CAIXA DE ESCADAS	79
4.9 – PATOLOGIAS NOS REVESTIMENTOS.....	81
4.10 – PATOLOGIAS EM VÃOS EXTERIORES	81

4.11 – PATOLOGIAS NAS REDES DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO	84
5 – INTERVENÇÃO DE REFORÇO E REABILITAÇÃO.....	87
5.1 – REFORÇO DE FUNDAÇÕES.....	92
5.2 – REABILITAÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA	93
5.3 – REABILITAÇÃO DE PAREDES DE MADEIRA	106
5.4 – REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS.....	108
5.5 – REABILITAÇÃO DE COBERTURAS	117
5.6 – REABILITAÇÃO DA CAIXA DE ESCADAS.....	122
5.7 – REABILITAÇÃO DE REVESTIMENTOS.....	122
5.8 – REABILITAÇÃO DE VÃOS EXTERIORES	123
5.9 – INTERVENÇÃO NAS REDES DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO.....	123
5.10 – SISTEMAS DE PROTEÇÃO SÍSMICA	124
5.11 – MELHORIA NAS CONDIÇÕES GERAIS DOS EDIFÍCIOS ANTIGOS	127
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Falha devido à acumulação de tensões [Oliveira, C.; 2008].	10
Figura 2 – Danos devido ao sismo de Nicarágua na Catedral de Antígua, em 1972 [Oliveira, C.; 2008].	11
Figura 3 – Colapso parcial dos arcos de apoio da cobertura da sacristia de Sé de Angra do Heroísmo em 1980 [Oliveira, C.; 2008].	11
Figura 4 – Parede de caixa de escada acima do 1º piso em frontal pombalino.	19
Figura 5 – Vigamento perpendicular às fachadas principais.	20
Figura 6 – Vigamento deformado e seccionado em parede intermédia em vez de corrido em todo o comprimento do edifício.	21
Figura 7 – Paredes divisórias interiores de tabique de prancha ao alto fasquiado.	22
Figura 8 – Utilização de ligação metálica em asna de cobertura.	23
Figura 9 – Solução de pavimento em vigas de ferro e alvenaria de tijolo.	24
Figura 10 – Estrutura de tardo de varanda com recurso ao ferro sem tratamento devido, passível de corrosão.	25
Figura 11 – Arco de fundação de alvenaria.	26
Figura 12 – Arco de fundação em alvenaria onde se pode verificar o perfeito aparelhamento das pedras.	27
Figura 13 – Zona de entrega de vigas de madeira em parede deteriorada de alvenaria de pedra, onde é notória a desagregação da pedra não garantindo qualquer tipo de ligação sólida entre pavimento e parede.	27
Figura 14 – Alteração estrutural devido à introdução de redes de saneamento.	28
Figura 15 – Aumento do número de pisos, provavelmente sem recurso a dimensionamento de cargas adicionais.	29
Figura 16 – Esquema indicativo do aumento de esforços e deslocamentos a que as estruturas estão sujeitas durante os sismos devido ao aumento do nº de pisos [Monteiro, M.; Lopes, M.; 2008].	30
Figura 17 – Deslocamento de parede para fora do plano.	31
Figura 18 – Vigas de pavimento de secção circular, indicando falta de tratamento antes da aplicação.	34
Figura 19 – Pavimento de varandas em vigas de ferro e tijolo cerâmico.	34
Figura 20 – Vigas de pavimento em madeira com andar de ressalto [Appleton, J.; 2008].	35
Figura 21 – Parede de fasquiado pregado sobre tábuas dispostas verticalmente.	37
Figura 22 – Parede de cruz de Santo André.	38
Figura 23 – Parede de cruz de Santo André com preenchimento de alvenaria de pedra e abertura para vãos de portas.	38
Figura 24 – Cobertura de 2 águas com mansarda.	39
Figura 25 – Estrutura de asna simples [Branco, J.; 2007].	40
Figura 26 – Elementos metálicos utilizados para reforço de ligações das asnas [Branco, J.; 2007].	40
Figura 27 – Utilização de elementos metálicos para reforço da estrutura de uma cobertura.	41
Figura 28 – Alguns tipos de assentamento de asnas [Branco, J.; 2007].	42
Figura 29 – Escadas de um tiro com largura reduzida.	43

Figura 30 – Paredes de caixa de escadas de frontal pombalino.	44
Figura 31 – Peitoril de madeira com graves patologias e consequentes infiltrações de água para o interior da habitação.	45
Figura 32 – Arcos de descarga na padieira de um vão de janela com deformação acentuada.	45
Figura 33 – Cantarias nos contornos dos vãos demonstrando qualidade construtiva.	46
Figura 34 – Moldura efetuada em argamassa “imitando” cantarias de pedra, denunciando poupança no método construtivo.	46
Figura 35 – Corte numa secção transversal de uma árvore exógena [Branco, J.; 2007].	48
Figura 36 – Secção de barrotes mais utilizados [Branco, J.; 2007].	49
Figura 37 – Vigas e suas secções características mais usuais [Branco, J.; 2007].	49
Figura 38 – Vigotas de madeira [Branco, J.; 2007].	49
Figura 39 – Corte transversal, tangencial e diametral de um toro de madeira [Branco, J.; 2007].	51
Figura 40 – Reparação de um vigeamento de madeira através de um empalme efetuado entre uma viga existente e uma nova, reforçado com elemento metálico com proteção contra a corrosão.	52
Figura 41 – Fachada revestida a azulejo.	54
Figura 42 – Deterioração do pavimento de madeira devido a rutura do sistema de drenagem de águas residuais.	58
Figura 43 – Remoção de paredes resistentes com substituição por perfis metálicos.	58
Figura 44 – Escavação junto a fundações em arco de alvenaria de tijolo deixando a descoberto a mesma e podendo originar assentamento.	62
Figura 45 – Fenda em parede de alvenaria de tijolo devido ao assentamento da fundação.	63
Figura 46 – Fenda entre paredes convergentes.	64
Figura 47 – Abertura de fenda considerável entre paredes convergentes devido a deslocamento de uma das paredes.	64
Figura 48 – Fenda devido a deformação a meio vão do pavimento.	64
Figura 49 – Paredes exteriores com desagregação dos elementos constituintes.	65
Figura 50 – Esmagamento e deformação de parede de alvenaria de tijolo por colocação de vigas metálicas apresentando ainda estas corrosões visíveis.	66
Figura 51 – Azulejos em queda devido ao mau estado da camada de base.	67
Figura 52 – Abertura de um buraco numa parede resistente para aproveitamento de espaço.	67
Figura 53 – Degradação dos arcos de tijolo na zona da verga de um vão de janela.	68
Figura 54 – Estrutura de madeira embutida numa parede exterior com patologias devido à presença de água.	68
Figura 55 – Tubagem de grés danificada com rotura e fuga de águas.	69
Figura 56 – Patologia em parede de alvenaria por presença de água por fenómeno de capilaridade.	70
Figura 57 – Vigas de uma cobertura com deformações acentuadas por fluência.	71
Figura 58 – Deterioração de pavimento devido a rutura da rede de águas residuais domésticas.	71

Figura 59 – Pavimento degradado devido a infiltração na zona de entrega dos vigamentos de madeira.	72
Figura 60 – Deterioração progressiva das vigas de madeira.....	72
Figura 61 – Deformação acentuada do pavimento a meio vão.	73
Figura 62 – Zona de instalação sanitária onde é visível a betonagem devido à diferença de cotas.	73
Figura 63 – É visível a estrutura antiga e estrutura mais recente da cobertura, com o aumento de um piso nas águas furtadas.	74
Figura 64 – Nesta figura é possível verificar, no mesmo edifício, a colocação de novo vigamento de modo a compensar a deformação devido ao aumento da carga.	74
Figura 65 – Perfis metálico corroídos com redução da sua secção.	75
Figura 66 – Perfis metálicos corroídos com redução substancial de secção e rotura de ligações.	75
Figura 67 – Deterioração de parede devido à oxidação do elemento metálico.....	76
Figura 68 – Cobertura com infiltração junto a uma trapeira.	77
Figura 69 – Restauro de caleira e tubo de queda em zinco.	77
Figura 70 – Telhas desencaxadas com conseqüente infiltração de água devido a cedência da estrutura do telhado.	78
Figura 71 – Infiltração numa caleira obstruída de uma platibanda que originou uma infiltração para o interior do último piso do edifício em questão.	79
Figura 72 – Toda a cobertura deve ser alvo de inspeção detalhada de modo a averiguar futuras patologias.....	79
Figura 73 – Estrutura da caixa de escada a servir de apoio às vigas de pavimento.....	80
Figura 74 – Estrutura de escadas danificada, com colapso de um espelho e um cobertor.....	80
Figura 75 – Aplicação de pintura impermeável numa parede de alvenaria de pedra.....	81
Figura 76 – Degradação dos caixilhos de madeira por falta de tratamento dos mesmos.....	82
Figura 77 – Infiltração de água para o interior da habitação por insuficiente escoamento de água do caixilho.....	83
Figura 78 – Novo vão de janela de madeira aplicado com “folga” acima do aceitável.	83
Figura 79 – Peitoril com comprimento insuficiente que deu origem a infiltrações de água.....	84
Figura 80 – Rede de saneamento de águas residuais para um saguão onde é visível o grés no chão partido, provocando infiltração no piso da cave do edifício.	84
Figura 81 – Ralo de escoamento de águas pluviais enterrado no solo.....	85
Figura 82 – Rede de abastecimento de água antiga.	86
Figura 83 – Aplicação de extensores para escoramento de pavimento para posterior inspeção.....	87
Figura 84 – Exemplo de levantamento geométrico de um edifício com as respetivas áreas e cotas.....	89
Figura 85 – Deslocamento entre paredes convergentes.	90
Figura 86 – Fachada deslocada para o plano exterior.	90
Figura 87 – Figura ilustrativa da diferença que pormenores de reforço estrutural podem fazer durante um sismo [Costa, A.; 2008].	91
Figura 88 – Fenda numa parede, onde se deve efetuar a sondagem.....	94

Figura 89 – Reforço de parede através da aplicação de uma armadura, com fixação através de conetores e posterior lâmina de betão.	94
Figura 90 – Tirantes ao nível da cobertura reforçando a ligação entre paredes opostas.	95
Figura 91 – Regularização de apoio para vigamento de madeira de acordo com o esquema da figura 92.	96
Figura 92 – Esquema exemplificativo de um reforço de parede de alvenaria de modo a receber novo vigamento.	96
Figura 93 – Ligação entre parede e cobertura através de elementos metálicos.	97
Figura 94 – Esquema indicativo de outro tipo de ligação entre cobertura e paredes, em perspetiva em cima e planta em baixo [Costa, A.; 2008].	97
Figura 95 – Ligação de paredes periféricas através de cantoneiras [Costa, A.; 2008].	98
Figura 96 – Pormenor de ligação da cantoneira à parede envolvente [Costa, A.; 2008].	98
Figura 97 – Reforço de parede através de rede de aço inox distendido [Lopes, M.; 2008].	99
Figura 98 – Reforço de ligação entre paredes através da aplicação de varões metálicos.	100
Figura 99 – Ligação entre uma asna de cobertura e as paredes de alvenaria [Lopes, M.; 2008].	101
Figura 100 – Complemento de ligação entre a cobertura e a restante estrutura [Lopes, M.; 2008].	102
Figura 101 – Aplicação de malha de modo a reforçar a parede numa zona de ligação entre a cobertura e as paredes [Lopes, M.; 2008].	103
Figura 102 – Construção de nova parede com ligação à parede existente [Lopes, M.; 2008].	104
Figura 103 – Utilização de tirantes para melhor ligação entre as paredes ortogonais [Lopes, M.; 2008].	104
Figura 104 – Ligação entre tirante de pavimento e parede exterior [Lopes, M.; 2008].	105
Figura 105 – Aplicação de “gatos” numa fenda.	106
Figura 106 – Reconstrução de parede de frontal pombalino.	107
Figura 107 – Elementos de madeira em fase de tratamento anti-fungos e anti-caruncho.	108
Figura 108 – Aplicação de rede de capoeira, não é a mais indicada devido à deformação que apresenta.	108
Figura 109 – Zona de entrega do pavimento degradada devido à cedência do frechal.	109
Figura 110 – Remoção do soalho de modo a inspecionar o estado do vigamento.	109
Figura 111 – Pavimento degradado na zona de entrega das vigas de madeira e em boas condições nas restantes secções.	110
Figura 112 – Ligação entre pavimento de madeira e parede de alvenaria de pedra [Lopes, M.; 2008].	110
Figura 113 – Critério de afastamento entre vigas de madeira [Appleton, J.; 2003].	111
Figura 114 – Substituição de secção de madeira degradada com reforço através de elemento metálico na zona de entrega da viga na parede [Appleton, J.; 2003].	111
Figura 115 – Todas as vigas aplicadas devem ser conferidas e registadas.	112
Figura 116 – Pavimento de vão múltiplos com apoio no vigamento principal.	112
Figura 117 – Vigas apoiadas em frechal.	113
Figura 118 – Reparação de pavimento de vigas de madeira apoiadas em frechal [Appleton, J.; 2003].	113

Figura 119 – Reforço de ligação entre paredes e pavimentos através de elementos metálicos [Appleton, J.; 2003].	114
Figura 120 – Vigas de madeira reforçadas através da aplicação de elementos metálicos [Appleton, J.; 2003].	114
Figura 121 – Reconstituição de secção de madeira através da injeção de resina epoxy [Appleton, J.; 2003].	115
Figura 122 – Tarugamento de pavimento de madeira.....	116
Figura 123 – Ligação entre vigamentos de madeira com sobreposição lateral, efetuada através de parafusos e tarugamento.....	116
Figura 124 – Perfil metálico completamente deteriorado. É notório a redução de secção, com banzos a desaparecer. Neste caso é necessário a substituição integral do perfil.....	117
Figura 125 – Reforço de ligação entre a linha e a perna através de elementos metálicos.	118
Figura 126 – Reforços metálicos nas ligações entre os elementos das asnas.	119
Figura 127 – Falta de simetria na estrutura das asnas, nomeadamente nas pernas e deficiente ligação metálica do “pé de galinha”.	119
Figura 128 – Aplicação de subtelha de modo a proteger eventuais infiltrações.....	120
Figura 129 – Tirantes de reforço na cobertura.	120
Figura 130 – Tubo de queda de algeroz para o exterior do edifício.	121
Figura 131 – Todos os pormenores referentes ao acabamento da cobertura são de extrema importância, evitando deste modo possíveis infiltrações.....	121

1 – INTRODUÇÃO

Lisboa é, a par de muitas outras cidades europeias, um local onde os edifícios existentes têm uma idade avançada. No caso específico da zona baixa Lisboaeta, existem edifícios que alcançam idades na ordem dos 250 anos, correspondentes à reconstrução desta zona da cidade após o terramoto de 1755.

Estima-se que o Grande Terramoto de Lisboa, a 1 de Novembro de 1755, tenha sido de uma magnitude próxima de 9.0 na escala de Richter, pela devastação que causou, efeitos a larga distância e tsunami ocorrido. Este sismo alertou não só Portugal mas também todo o mundo para as consequências devastadoras que podem ocorrer após um sismo da intensidade do ocorrido, alertando também para a preocupação que se deve ter na conceção e construção de edificações de modo a que se possa minimizar essas consequências. Após o sismo de 1755, houve uma grande necessidade de reconstrução e, face ao impacto do sismo, o governo da época entendeu que se deveriam desenvolver sistemas construtivos mais adequados à ação sísmica.

O grande marco de viragem na História da engenharia sísmica em Portugal foi liderado por Sebastião José de Carvalho e Melo, Marquês de Pombal, Ministro do rei D. José, com vasta experiência devido a cargos exercidos no estrangeiro.

O Engenheiro escolhido para a tarefa difícil de reconstruir a cidade foi Manuel da Maia, um homem com muita experiência adquirida ao longo da sua vida profissional.

Foram idealizados edifícios que para além de conterem sistemas construtivos preocupados em resolver questões de salubridade e proteção contra incêndios, incluíam também processos construtivos anti-sísmicos que foram pioneiros no mundo à escala de uma cidade.

A reconstrução que foi efetuada após sismo de 1755, as técnicas e materiais utilizados aliados à idade e condições que estes edifícios têm no presente,

provam que quer os materiais utilizados quer os processos construtivos aplicados são soluções adequadas e de sucesso. Estas construções devem ser alvo de análise cuidada, de modo a preservar, reabilitar e reforçar adequadamente a estrutura, com recurso à tecnologia e conhecimento atual.

O principal objetivo deste trabalho consiste em auxiliar os intervenientes na área da reabilitação de edifícios antigos, nomeadamente os da Baixa Pombalina, realçando pormenores que, para além de serem necessários para reforçar alguns edifícios mal concebidas ou alvo de intervenções inadequadas, poderão salvar vidas em caso de ocorrência de um sismo.

A estrutura deste trabalho divide-se em 6 capítulos, nos quais se incluem as referências bibliográficas. No presente capítulo procurou-se enquadrar o tema escolhido na realidade portuguesa, e referir os objetivos que este trabalho pretende alcançar.

No capítulo 2 faz-se uma breve referência ao fenómeno do sismo, enaltecendo alguns conceitos teóricos necessários para melhor compreensão do documento. Estes conceitos não são aprofundados, não sendo esse o objetivo deste trabalho. Pretende-se apenas enquadrar o tema e todos os factos que o envolvem na área da reabilitação urbana da baixa Lisboa. A recolha e o registo dos todos os sismos que ocorreram assim como os danos que provocaram são aspetos importantes, estando referidos neste capítulo.

A caracterização e descrição dos tipos de edifícios antigos tratados neste trabalho é efetuada no capítulo 3, assim como dos seus materiais constituintes. São também referidos aspetos arquitetónicos e estruturais importantes para a avaliação estrutural dos edifícios antigos.

No capítulo 4 são referidas algumas técnicas de inspeção e diagnóstico de avaliação da estrutura dos edifícios antigos, realçando a importância da identificação temporal do edifício a analisar de modo a melhor definir o seu processo construtivo. De seguida, são referidos os danos e as patologias mais comuns, em termos gerais e não só sísmicos, encontrados nas edificações antigas, descrevendo as mais usuais nos diversos elementos estruturais e

também em elementos não estruturais mas que podem causar danos severos no comportamento estrutural dos edifícios em causa.

No capítulo 5 são indicados alguns dos processos e metodologias de intervenção tendo como objetivo minimizar os possíveis danos consequentes dos sismos, assim como reforçar as estruturas dos edifícios antigos. O capítulo 5 referencia alguns sistemas de proteção sísmica, possíveis de utilizar no reforço sísmico destas construções, pretendendo apenas divulgar a sua existência mas não sendo exaustivo na sua descrição. Neste capítulo procura-se ainda realçar aspetos que melhorem as condições de segurança e de habitabilidade dos edifícios antigos.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões finais procurando também sensibilizar os vários intervenientes no processo de reforço de estruturas antigas e a comunidade científica em geral para a necessidade de adotar uma política de prevenção na área da engenharia sísmica, evitando deste modo possíveis catástrofes nas construções antigas existentes provocadas pela ocorrência de um sismo.

Os conceitos teóricos referidos neste trabalho são meramente generalistas, necessários para o enquadramento do fenómeno sísmico na realidade da reabilitação da baixa Lisboeta, nomeadamente ao nível dos seus intervenientes. Não se pretende descrever exaustivamente estes conceitos, apenas referi-los de modo a que se compreenda melhor todo o processo que envolve este tema e providenciar a quem pretenda algumas bases bibliográficas de estudo para desenvolver os conceitos referidos.

2 – O FENÓMENO SÍSMICO

Portugal, pela historicidade sísmica que apresenta, é classificado como um país de sismicidade moderada, sendo necessário, por imposição legal, considerar a ação do sismo na conceção dos projetos de estruturas.

Foi no ano de 1755, mais precisamente na manhã de 1 de Novembro que um sismo de elevada magnitude, estima-se uma magnitude de 9.0, atingiu Portugal. O sismo foi seguido de um tsunami que atingiu não só Portugal, mas também Espanha e Marrocos, e de incêndios devido principalmente ao facto de ser feriado do dia de todos os Santos e as Igrejas estarem repletas de velas acesas [Oliveira, C.; 2012].

O terramoto de 1755, conforme é conhecido, é considerado por muitos autores como o maior terramoto conhecido, tendo sido sentido fortemente em Lisboa, Algarve, Marrocos e sul de Espanha. Foi também sentido nos Açores, Madeira e em quase toda a Europa [Oliveira, C.; 2012].

Apesar de não existirem referências em relação à ocorrência de sismos relevantes nos anos precedentes, encontram-se registos referentes a pequenos sismos a partir de 1750 [Oliveira, C.; 2012]

O Arquivo Nacional da Torre do Tombo destaca um aspeto relevante no dia anterior ao terramoto, ou seja, no dia 31 de Outubro de 1755. Este aspeto, relatado por um piloto, consistiu no atraso da maré em 2 horas, servindo de anúncio à ocorrência do sismo, tendo servido de aviso no dia 10 de Dezembro, alertando a população para a possibilidade de ocorrência de um novo terramoto, o que viria a acontecer na madrugada do dia 11 de Dezembro, com a Terra a tremer violentamente 2 vezes [Oliveira, C.; 2012].

O sismo de 1755 teve 3 fases distintas. Uma primeira fase em que, segundo relatos, se assemelhou a uma trovoada devido ao som libertado pelo solo, uma segunda fase, um minuto mais tarde e com a duração de aproximadamente dois minutos e meio e a terceira fase, passado outro minuto, com a duração de

três minutos, e que segundo consta, terá sido a mais violenta [Oliveira, C.; 2012].

Houve uma destruição massiva dos edifícios existentes que caíram sobre a população que corriam pelas ruas, levantando pó que sufocava os poucos sobreviventes [Oliveira, C.; 2012].

O que caracteriza especificamente este sismo e o destaca de todos os outros ocorridos até hoje é que, para além da sua elevada magnitude anteriormente referida, ter deflagrado um forte incêndio que durou cerca de 6 dias, agravando os danos materiais e aumentando substancialmente o número de mortos [Oliveira, C.; 2012].

Após sensivelmente 1h30 da ocorrência do terramoto de 1755, um tsunami invadiu o Terreiro de Paço com o nível da água a atingir os 5 metros de altura, três vezes, durante 15 minutos, segundo um relato de um capitão de um navio Inglês. Só na manhã de Domingo, 1 dia após a ocorrência do sismo, a maré voltou ao seu estado normal, alterando os cursos da mesma durante os seguintes 10 a 12 dias, com variações anormais entre as marés cheias e vazias [Oliveira, C.; 2012].

Toda a zona adjacente ao leito da costa ficou inundada, provocando ainda maior caos nas zonas submergidas. O tsunami atingiu também o Reino Unido, a Holanda, a costa Americana, o norte de África, o Sul de Espanha e os arquipélagos da Madeira e dos Açores [Oliveira, C.; 2012].

Por isso importa reter que os tsunamis podem originar estragos tão ou mais gravosos que o próprio sismo, como também se constatou em Dezembro de 2004 na Indonésia e em Março de 2011 no Japão.

O sismo de 1755 desencadeou vários sismos na Europa, na América, como o de 18 de Novembro em Boston e até em Marrocos, provocando sensivelmente 50 000 vítimas em Meknez [Oliveira, C.; 2012].

É comum entender-se que os sismos são catástrofes naturais, em vez de se afirmar que as catástrofes são as consequências que os sismos provocam nas construções, originando danos e colapsos que consequentemente causam

vítimas. O Professor Mário Lopes realça o facto de ser necessário separar o que dá origem a estas “catástrofes”, os sismos, do que advém posteriormente e que devemos ter a perfeita noção, de que é consequência da intervenção do Homem.

É exatamente na mitigação das consequências do sismo e na necessidade de reforço estrutural em geral das estruturas antigas, que este trabalho pretende intervir, garantindo preparação necessária antes da sua ocorrência.

Lisboa foi palco e pioneira na aplicação a nível mundial, de processos e métodos de engenharia sísmica à escala de uma cidade, na sua reconstrução após o sismo de 1755. Foi através da reconstrução da cidade, com duração de sensivelmente um século, que se aplicaram extensivamente métodos de construção anti-sísmica [Lopes, M.; 2008].

Outros aspetos de boa conceção anti-sísmica de estruturas foram introduzidos nessa época, tais como a regularidade em altura e em planta dos edifícios. Contudo, aproximadamente um século depois, com o desaparecimento de quem viveu o sismo, as preocupações foram desaparecendo, entrando-se numa nova era, onde a preocupação dá lugar ao esquecimento e à adulteração de pormenores de grande importância na reconstrução da cidade de Lisboa.

Passados mais de 250 anos e com a melhoria no conhecimento de novas técnicas para a compreensão do desempenho quer dos materiais quer das construções, continuam-se a cometer erros tão ou mais graves que aqueles que se cometeram no século XIX.

Apesar do conhecimento que se tem presentemente, o sismo é um fenómeno imprevisível que trás consequências graves, encontrando falhas nas mitigações às consequências do sismo, como o que aconteceu em Março de 2011 no Japão. Sendo este país pioneiro na fundação de instituições que se dedicaram ao estudo aprofundado destes fenómenos, nomeadamente a “sociedade de sismologia e engenharia sísmica”, a primeira no mundo, em 1880 [Delgado, R.; Lopes, M.; 2008], tendo o desenvolvimento tecnológico do mais avançado que existe no mundo, ninguém esperava a dimensão da catástrofe que ocorreu.

De forma simplificada, antes do início do século XX, já existia a noção de que o sismo podia ser modelado, pela aplicação de forças horizontais nas estruturas devido às acelerações do solo [Delgado, R.; Lopes, M.; 2008].

O conceito de coeficiente sísmico, que possibilita definir quais as forças horizontais para que se deve efetuar o dimensionamento sísmico, através da multiplicação deste coeficiente pelo peso da estrutura, foi introduzido por Toshikato Sano em 1915 e obteve bons resultados no sismo de 1 de Setembro de 1923, em Tokyo, com magnitude de 7,9, pois os edifícios projetados pelo engenheiro Tachu Naito com base neste conceito, resistiram a esse sismo, que juntamente com o incêndio que lhe seguiu provocou mais de 140 000 mortos [Delgado, R.; Lopes, M.; 2008].

Foi com base na observação dos primeiros registos sísmicos, obtidos no sismo de 1933 de Long Beach, nos Estados Unidos, que se verificou que os valores de aceleração do piso eram muito superiores aos assumidos para o dimensionamento com base na possibilidade da proporcionalidade entre as forças e os deslocamentos, e conseqüentemente nos coeficientes sísmicos então utilizados. No entanto, as estruturas resistiram e foram poucas as que colapsaram [Delgado, R.; Lopes, M.; 2008].

Esta evidência é muito importante e define outro conceito que veio também mais tarde a ser adotado nas regulamentações: além de garantir que as estruturas resistam às forças horizontais, é também necessário que tenham capacidade de acomodar os deslocamentos impostos pelo sismo [Delgado, R.; Lopes, M.; 2008].

É importante realçar que o primeiro regulamento com filosofia de projeto sismo-resistente das construções surgiu em Portugal em 1958 (Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos – RSCCS), logo, muito após a construção das estruturas denominadas pombalinas e posteriormente os “gaioleiros”, e outros posteriores onde já prevalecia o betão armado.

É necessário ter em conta que o conhecimento técnico na área do reforço das construções antigas existentes é bastante inferior em relação às construções efetuadas com recursos a materiais recentes, pois os materiais mais recentes

têm sido alvo de estudo e desenvolvimento contínuo devido à sua corrente utilização.

Torna-se assim possível, através do conhecimento de novas metodologias de estudo e investigação deste fenómeno que é o sismo, possibilitar a escolha de vários fatores que visam minimizar as consequências provocadas pelos sismos [Lopes, M.; 2008].

A teoria que ainda hoje explica a atividade sísmica do planeta consiste na oposição exercida pelo atrito ao movimento relativo dos bordos das placas, na zona das fronteiras que separam as placas tectónicas, ocorrendo o deslizamento no instante em que as tensões acumuladas são suficientes para vencerem essa resistência [Lopes, M.; 2008].

Em Portugal, existem dois tipos de atividade sísmica, uma designada por sismicidade intraplacas e outra denominada de sismicidade interplacas, em que a primeira geralmente envolve menos energia que a segunda. A sismicidade intraplacas tem origem em falhas no interior da placa europeia, ao passo que a sismicidade interplacas tem origem na zona de separação das placas europeia e africana e pode induzir sismos de maior magnitude [Azevedo, J.; 2008].

É contudo importante referir que, a sismicidade intraplacas pode originar sismos com magnitudes consideráveis, ou seja, com elevado nível de energia libertada na origem do sismo.

Existem dois tipos de ondas sísmicas de volume oriundas dos sismos que lhes dão origem, nomeadamente as ondas P, cujo movimento é na direção da propagação, com movimentos de compressão e dilatação, e as ondas S cujos movimentos são perpendiculares à direção de propagação das ondas [Fonseca, J.; 2008].

As ondas P são as mais rápidas, e por isso são as primeiras a serem registadas nas estações sismográficas [Fonseca, J.; 2008].

Existem ainda outros tipos de ondas sísmicas, tais como ondas de superfície e as ondas L (Love).

Existem basicamente dois tipos de escalas que classificam sismos, as que medem a magnitude do sismo, característica do próprio sismo e as que medem a intensidade do sismo. Estas últimas dependem da distância do local ao epicentro, do tipo de construção e do tipo de solo, pois analisa os danos que se registaram nas construções existentes.

Os sismos, ou a sua grande maioria, ocorrem devido à acumulação das tensões, referidas anteriormente, provocando a rutura da falha, conforme indica a figura 1.

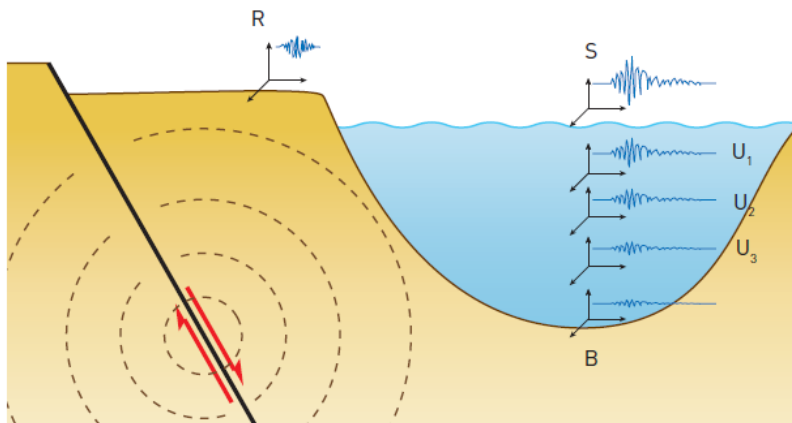


Figura 1 – Falha devido à acumulação de tensões [Oliveira, C.; 2008].

Os danos provocados por estas manifestações variam consoante a proximidade das construções às falhas bem como a conceção dessas construções no que diz respeito à resistência aos sismos.

Quando os deslocamentos oriundos da rutura da falha encontram construções no seu plano, essas construções estarão sujeitas a esses mesmos deslocamentos, podendo ocorrer o seu colapso parcial ou total, como exemplificam as figuras 2 e 3.



Figura 2 – Danos devido ao sismo de Nicarágua na Catedral de Antígua, em 1972 [Oliveira, C.; 2008].



Figura 3 – Colapso parcial dos arcos de apoio da cobertura da sacristia de Sé de Angra do Heroísmo em 1980 [Oliveira, C.; 2008].

No caso da falha se localizar no oceano, poderão ocorrer tsunamis, também designados por maremotos, sendo provocados por deslocamentos verticais relativos entre bordos de falhas no fundo dos oceanos, originados pelos sismos. Este fenómeno pode atingir vários metros de altura numa extensão proporcional à rotura da falha que originou o sismo.

A velocidade de propagação da onda varia quer com a profundidade do mar, quer com a morfologia da costa, ou seja, com a sua topografia. No mar alto têm-se ondas com menor altura e maior comprimento, alterando-se, à medida que se aproxima da costa, para ondas com maior altura e menor comprimento

de onda compensando dessa forma a diminuição da altura da coluna de água verificada em mar alto [Oliveira, C.; 2008].

Junto à costa podemos ter várias situações consoante for a sua morfologia. No caso de esta ser em falésia, a onda tem tendência a subir a elevada altura como sucedeu no sismo de 1755, podendo ter chegado aos 60 m de altura na costa de Sagres. Se for um estuário a onda tem tendência a manifestar-se como uma maré rápida, conforme sucedeu no sismo de 1755 no estuário do Tejo onde a maré oriunda do tsunami teve a duração de 15 minutos repetindo-se por 3 vezes. Se for uma zona plana, como uma praia com pouca altura, a onda tem tendência a tornar-se numa enxurrada, propagando-se sob as águas paradas e progredindo de forma violenta pelos terrenos próximos da costa arrastando tudo o que encontra pela frente, tal como referem os relatos do sucedido nos Açores, após o sismo de 1755, na inundaçãõ da zona da cidade de Angra do Heroísmo até à Praça Velha [Oliveira, C.; 2008].

Este fenómeno que pode ocorrer após sismos de grande intensidade pode provocar maior número de vítimas que o próprio sismo, principalmente se não houver preocupação de educar e alertar a população. É portanto aconselhável adotar políticas de divulgação antes da ocorrência de um sismo junto das áreas sujeitas a eventuais inundações, assim como a correta sinalização das mesmas ou indicação de caminhos para refúgio e locais seguros para onde a população se deve dirigir.

A ocorrência de incêndios é outro fator de extrema importância que pode surgir em consequência de um sismo. Existem materiais mais suscetíveis ao fogo que outros. Nos edifícios antigos, um dos elementos de maior relevância é a madeira e sendo a madeira um material combustível, deve existir especial atenção e medidas específicas para a mitigação deste fenómeno.

Estes fatores que foram referenciados e que podem ocorrer com o sismo ou após o sismo são importantes na medida em que podem ocorrer em cadeia, ou seja, uns poderão levar à ocorrência dos outros, e o facto de não nos precavermos poderá levar à incapacidade de solucionarmos estas ocorrências.

2.1 – AÇÃO SÍSMICA

A ação sísmica nas estruturas pode ser estudada através de forças equivalentes ao sismo calculadas através da massa dos edifícios e a aceleração horizontal a que são sujeitos. Estas forças são horizontais e aplicam-se ao nível dos pisos, proporcionais à massa respetiva.

Deste modo, podemos estimar a resposta da estrutura no que diz respeito ao máximo deslocamento que esta poderá suportar em relação ao solo, através da equação que seguidamente se representa [Azevedo, J.; 2008].

$$F_i + F_a + F_r = M a + C v + K d = F_{ext}$$

Em que F_i são as forças de inércia, correspondendo ao produto entre a aceleração e a massa, também conhecida pela Lei de Newton, ou seja, simplifadamente, são forças que se opõem a alterações bruscas de aceleração.

As forças representadas por F_a , F_r e F_{ext} são respetivamente forças de amortecimento, forças de restituição elástica e forças exteriores, que estando em equilíbrio entre si garantem o equilíbrio dinâmico do sistema. As forças de amortecimento são, em geral, consideradas proporcionais à velocidade v , estando orientadas sempre contra o sentido da velocidade. Por último, existe uma proporcionalidade entre as forças de restituição elástica e a rigidez do sistema (K) e o deslocamento que este sofre (d). Estas forças são basicamente as forças que fazem com que o sistema volte à posição inicial [Azevedo, J.; 2008].

Outra noção que importa reter é a de frequência própria, quer das estruturas quer dos sistemas, tentando evitar que a frequência da ação seja igual à frequência da estrutura originando o fenómeno denominado por ressonância [Azevedo, J.; 2008].

Para melhor compreender o conceito de frequência, recorre-se à análise das funções matemáticas seno e cosseno. Estas funções são caracterizadas por serem repetições da própria função, onde o espaçamento é sempre igual. Se num gráfico o eixo horizontal das abcissas for o tempo pode-se concluir que o período de tempo entre 2 pontos máximos negativos é o período da função,

usualmente identificado pela letra T. A frequência será o número de ciclos completos dessa função por unidade de tempo, no caso de tempo medido em segundos a unidade de frequência são Hertz (Hz), ciclos por segundo. A frequência é então o inverso do período [Azevedo, J.; 2008].

Através da análise de Fourier, um procedimento matemático, pode-se representar as amplitudes de cada função sinusoidal em função da respetiva frequência, obtendo o denominado espectro de amplitude [Azevedo, J.; 2008].

2.2 – RECOLHA E REGISTO DE INFORMAÇÃO DOS SISMOS OCORRIDOS

Logo após o sismo de 1755, o Marquês de Pombal decidiu efetuar um inquérito elaborado por 13 questões relacionadas com o sismo e as consequências que este trouxe ao edificado e à sociedade, sendo um documento que contribuiu para a obtenção de informação sobre o fenómeno ocorrido [Oliveira, C.; 2012].

Os danos provocados pela ocorrência de um sismo devem ser sempre analisados de forma a recolher informação para melhor adaptar soluções futuras. A informação sobre o tipo de sismo e todas as características deste devem ser registadas, tais como o seu epicentro, intensidade entre outras.

Os danos que provocaram também devem ser analisados, registando os tipos de construções afetadas, quais os danos e consequências destes.

Existem fatos fulcrais que normalmente estão associados aos danos ocorridos nos edifícios, tais como o recurso a materiais com pior qualidade, falta de projetos ou qualidade destes, falta de fiscalização e pouca qualidade na construção. Convém também referir que, nem sempre o facto da inexistência de danos implica um bom comportamento sísmico da estrutura, pode simplesmente significar que a frequência própria da estrutura esteve afastada da frequência predominante do sismo ocorrido [Lopes, M.; 2008].

3 – CARACTERIZAÇÃO E TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO ANTIGA

A base que serviu para a definição de edifícios antigos, e na qual muitos autores se baseiam, consiste em edifícios que foram construídos antes do aparecimento do betão armado como principal material estrutural, predominando materiais e processos construtivos mais tradicionais, tais como a pedra e a madeira [Appleton, J.; 2003].

Importa portanto referir os riscos a que este tipo de construções está exposta, não só devido à exposição e perigosidade anteriormente referida, mas também à falta de capacidade resistente dos edifícios antigos, quer devido às alterações de que foram alvo, quer devido à má qualidade construtiva.

No que diz respeito aos esforços a que as estruturas dos edifícios antigos estão expostas, o comportamento elástico linear é um conceito importante na medida em que, admitindo uma proporcionalidade entre deslocamentos e forças, um edifício apenas suportaria uma força que não ultrapassasse a sua força de cedência. Relativamente à ação sísmica, verificou-se uma realidade diferente, com edifícios a resistir a forças superiores à estimada força de cedência.

Este facto apenas é justificável se as estruturas não mantiverem o seu comportamento em regime elástico linear, excedendo esses limites de cedência.

Na realidade, durante o sismo as acelerações do solo não equivalem realmente a forças aplicadas às estruturas mas sim a deslocamentos impostos. Desta forma, a força correspondente ao deslocamento de cedência será uma força bastante menor que a força de cedência, o que significa que a estrutura poderá ter a capacidade de suportar um deslocamento superior ao deslocamento de cedência, sem colapsar. Assim, com forças de inércia menores e devido à sua capacidade de deformação, a estrutura alcança deslocamentos superiores [Lopes, M.; 2008].

Este tipo de comportamento, normalmente designado por “não linear”, é tido em conta através do “coeficiente de comportamento” encontrado na regulamentação técnica (η no RSA e q no EC8), calculado através do quociente entre a força de inércia, que em regime elástico se desenvolveria, e a força real após a cedência verificada na estrutura [Lopes, M.; 2008].

Outro coeficiente importante e que surge na regulamentação técnica é o “coeficiente de ductilidade” (μ), que pode ser calculado através do quociente entre o deslocamento máximo assumido em regime não linear e o deslocamento na cedência.

O conceito de ductilidade está basicamente relacionado com dois tipos distintos de comportamento estrutural, estruturas com comportamento frágil e estruturas com comportamento dúctil. O comportamento, dúctil está associado à capacidade de “deformação” que uma estrutura pode sofrer.

Em termos de resposta à ação sísmica, as estruturas com comportamento frágil tendem a não sofrer danos antes de atingirem a sua capacidade resistente, isto é, não se deformam mesmo que a sua capacidade resistente seja elevada. No entanto, após atingirem esse ponto sofrem colapsos ou danos graves.

Em contrapartida as estruturas com comportamento dúctil, normalmente dimensionadas para forças de inércia de menor intensidade, têm capacidade de se deformarem, pois como as forças para as quais foram projetadas são menores, começam a plastificar cedo e por conseguinte, a apresentar danos na presença de sismos com menor intensidade. Apesar dessa característica, após atingirem a sua capacidade resistente, continuam a deformar-se com danos que vão progredindo à medida que a ação sísmica aumenta [Lopes, M.; 2008].

Estes conceitos são extremamente importantes e serão abordados durante todo este trabalho, sendo explicado também a sua componente prática e quais os objetivos a alcançar. Estes conceitos evidenciam também as grandezas que se pretendem obter nas intervenções que se efetuam em estruturas de edifícios antigos.

O objetivo final é obter estruturas com capacidade de se deformarem, no caso da ocorrência de um sismo, mesmo após atingirem os seus limites de elasticidade, nunca esquecendo que não devem com isso perder capacidade de carga, procurando-se obter estruturas dúcteis.

Outro aspeto que se procura obter é a capacidade de “dissipação de energia”. Quanto maior for, melhor será o seu desempenho na ocorrência de sismos fortes.

Características como a rigidez ou a resistência alcançados em estruturas com elementos bem ligados são muito superiores ao obtido em estruturas com elementos com boa rigidez e resistência mas com recurso a ligações inadequadas entre esses elementos.

3.1 – ARQUITETURA/ TIPO DE CONSTRUÇÃO

As primeiras construções que surgiram na História foram edificadas com recurso aos materiais existentes nos seus locais de implantação, conduzindo a soluções diversas em diferentes regiões [Appleton, J.; 2003].

A título de exemplo e em termos de construção tradicional, os materiais utilizados na zona centro e sul de Portugal eram a alvenaria de pedra calcária; no norte, granito e xisto; no que diz respeito ao arquipélago dos Açores, o basalto [Appleton, J.; 2008].

Quanto à classificação tipológica dos edifícios antigos podemos realçar os edifícios pré-pombalinos, antes do sismo de 1755, os edifícios pombalinos, que correspondem à fase de reconstrução pós sismo de 1755 e que durou sensivelmente um século, os edifícios “gaioleiros”, característicos da última metade do século XIX e primeiro terço do século XX, correspondente à expansão urbana com uma duração de mais de 50 anos.

O betão surge com os edifícios de transição, que conforme o nome indica, transita-se da alvenaria e madeira como materiais predominantes para a introdução do betão como material estrutural, sensivelmente entre 1930 a 1950 [Appleton, J.; 2008].

3.1.1 – EDIFÍCIOS PRÉ-POMBALINOS

Existem muito poucos edifícios pré-pombalinos, anteriores ao sismo de 1755, e os que existem, na sua maioria, foram alvo de intervenções com recurso a soluções tradicionais e características da sua época. Algumas destas soluções tradicionais consistiam nos andares de resalto obtidos geralmente com o alargamento das vigas do teto e, sobre estas, crescendo posteriormente uma parede com espessura reduzida, normalmente em frontal. As fachadas sem beirado com as duas águas a correr para as empenas são também características desta época, assim como as vergas em madeira nos vãos das portas e janelas, vãos exteriores com guarnecimento de madeira, utilização de vigas, quer em pavimentos quer em coberturas, de seção circular, irregularidade nos tabiques de frontal, entre outras [Appleton, J.; 2008].

O tabique de frontal é pois uma solução que surgiu antes da reconstrução da baixa lisboeta após o sismo de 1 de Novembro de 1755.

O marco que caracteriza a época da construção pombalina em relação às paredes de frontal é a alteração em termos de cuidados nas ligações entre os vários elementos que a constituem, nomeadamente entre os prumos (elementos verticais), travessas (elementos horizontais) e as escoras (elementos diagonais), com ligações entre si através de pregagens ou samblagens [Appleton, J.; 2008].

3.1.2 – EDIFÍCIOS POMBALINOS

Os edifícios pombalinos surgem com a reconstrução da baixa de Lisboa, após o sismo de 1755. Ao contrário da construção pré-pombalina, caracterizada pela utilização de métodos artesanais e materiais provenientes da própria região de implantação das edificações, conforme referido atrás, na era pombalina inicia-se a industrialização de processos construtivos com a preocupação em termos sísmicos [Appleton, J.; 2003].

A madeira surge como material essencial na conceção da denominada parede de cruz de Santo André, uma estrutura tridimensional com um bom comportamento sísmico, hiperestática, utilizada em paredes interiores. A madeira também era utilizada em paredes exteriores e em pavimentos [Mascarenhas, J.; 2009].

O piso térreo é constituído por estruturas de alvenaria ordinária, nomeadamente as paredes, colunas, abóbadas e arcos que muitas vezes eram assentes sobre um emaranhado de toros de madeira de seção generosa, que funcionavam como vigas de encabeçamento de fundações semidirecta de estacas de madeira, ou fundadas diretamente em solo rijo [Appleton, J.; 2003].

Este processo visava a proteção em relação à humidade dos andares elevados devido à constituição dos seus materiais e assegurar na base o saneamento do edifício, uma das inovações introduzidas na época.

A constituição predominante do edifício pombalino consiste em paredes exteriores de fachada e de empena e paredes interiores em cruz de Santo André onde se realçam as da caixa de escada e do saguão, que normalmente se prolongavam até à cobertura [Appleton, J.; 2003]. Em muitos casos encontra-se nas paredes da caixa de escadas, a partir do 1º piso, a alteração para paredes de frontal, conforme ilustra a figura 4.

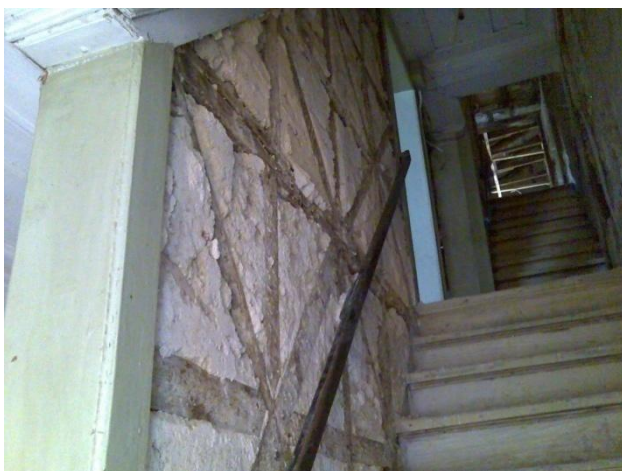


Figura 4 – Parede de caixa de escada acima do 1º piso em frontal pombalino.

A tipologia tipo de cada piso difere consoante o tamanho do lote em que está implantado o edifício, variando entre a simetria característica dos edifícios implantados em lotes maiores e a assimetria natural dos lotes menores, tendo estes últimos apenas um fogo por piso em vez do direito e esquerdo dos lotes maiores. A implantação das caixas de escadas e do saguão deixam de ter uma colocação central como nos lotes maiores.

A disposição dos vigamentos de madeira dos pavimentos é perpendicular à fachada principal na maioria dos casos, como se verifica na figura 5, sendo utilizados tarugos para um melhor comportamento estrutural. Mesmo que o maior vão fosse o vão paralelo às fachadas principais, provocando este facto um aumento no custo da construção devido à adoção desta solução, procurava-se aplicar esta regra.



Figura 5 – Vigamento perpendicular às fachadas principais.

A introdução estrutural que surgiu com os edifícios pombalinos e que lhes confere um bom desempenho sísmico consiste numa malha ortogonal formada entre as paredes de frontal com as paredes que recebem as vigas dos pisos e outras paredes que funcionam como travamento das estruturas, sendo esta uma característica típica dos pisos elevados [Mascarenhas, J.; 2009].

Outro pormenor importante consiste na ligação entre os elementos construtivos, nomeadamente, na ligação entre os pavimentos e as paredes através de pregagens dos vigamentos aos frechais e contra-frechais das paredes, embora não haja garantias da sua execução sistemática. A interligação entre frontais ortogonais é efetuada através de fixações pregadas e ensambladas e prumos comuns a duas paredes [Appleton, J.; 2008].

Existem pormenores dentro do processo construtivo que podem contribuir de forma significativa para o desempenho estrutural dos edifícios, nomeadamente no que diz respeito às vigas que compõem os pavimentos. Estas, se forem constituídas por uma única peça e desenvolvimento idêntico ao comprimento

do edifício, garantem melhores desempenhos estruturais que as que são seccionadas com apoios em paredes intermédias, como se pode observar na figura 6, ou até com emendas, em que muitas vezes as ligações não são efetuadas convenientemente [Appleton, J.; 2003].



Figura 6 – Vigamento deformado e seccionado em parede intermédia em vez de corrido em todo o comprimento do edifício.

A maior vantagem que se pode obter com o vigamento corrido a uma só peça é garantir um efeito idêntico aos tirantes, escorando os edifícios longitudinalmente.

Existem outros pormenores que distinguem, dentro da construção pombalina, a que foi efetuada logo após o terramoto de 1755 e a construção pombalina que surgiu posteriormente, denominada de pombalina tardia. A observação de edifícios referentes às duas épocas referidas, realça aspetos construtivos mais cuidados na construção pombalina logo após o sismo de 1755, apresentando uma qualidade construtiva superior de um modo geral. Em particular, refere-se a utilização de chapas em ferro forjado na ligação entre as paredes de alvenaria e as vigas de madeira, sendo estas normalmente pregadas às vigas de madeira e chumbadas nas paredes. Este tipo de ligação, com bons resultados ao nível estrutural, foi adulterado nos edifícios tardo-pombalinos, sendo efetuado através das denominadas “mãos”, que asseguravam a ligação entre as paredes de alvenaria exterior e a estrutura de madeira [Appleton, J.; 2008].

Posteriormente, e quer devido ao facto da reconstrução da baixa Lisboa se ter estendido por sensivelmente pouco mais de 100 anos, com as memórias do sismo a se dissiparem com o passar dos anos, e quer devido também ao fator económico, ou seja, no mesmo espaço temporal existirem, tal como hoje, diferentes exigências em termos de qualidade construtiva, surgiram algumas variantes estruturais com base na solução da construção pombalina genérica anteriormente descrita, definindo previamente uma orientação estrutural predominante, paralela à fachada principal, com a colocação nessa direção das paredes interiores de frontal. A exceção consistia na disposição de algumas paredes que separam os fogos e algumas paredes das caixas de escadas [Appleton, J.; 2003].

As restantes paredes interiores eram de tabique de prancha ao alto, fasquiadas, evidenciando uma notória falta de rigidez mas contribuindo para o contraventamento geral da estrutura e assim melhorando ligeiramente a resistência sísmica das edificações. A figura 7 ilustra várias paredes divisórias de tabique de prancha ao alto fasquiado.



Figura 7 – Paredes divisórias interiores de tabique de prancha ao alto fasquiado.

Outros dos materiais que foram e continuam a ser de extrema importância para o comportamento estrutural dos edifícios antigos, são o ferro e o aço, nomeadamente ao nível das ligações entre as paredes ortogonais e na ligação entre os elementos estruturais, verificando-se tanto nas soluções originais como posteriormente em soluções de reforços estruturais efetuados em

reabilitações. Na figura 8 é possível observar a utilização de um elemento metálico que contribui para a ligação de uma asna de cobertura.



Figura 8 – Utilização de ligação metálica em asna de cobertura.

3.1.3 – EDIFÍCIOS GAIOLEIROS

Com a expansão da baixa Lisboa para Norte, no final dos anos 1800, a era da construção pombalina tem o seu declínio total, nascendo uma nova era de edifícios denominada de “gaioleiros”, na segunda metade do século XIX [Appleton, J.; 2008].

A terminologia “gaioleiro” surgiu quando se começaram a classificar, de forma negativa, as edificações efetuadas por estes construtores, existindo como na era da construção pombalina, uma vasta diversidade em termos construtivos. Algumas destas construções partilham o tempo de construção quer com a construção pombalina tardia, ou seja, últimas construções da era pombalina, quer com as construções que já anteviam o betão [Appleton, J.; 2008].

A expansão para Norte, que origina a urbanização das avenidas novas, Campo de Ourique e o Bairro Camões, adota novas técnicas construtivas que vão contra as soluções adotadas na era da construção pombalina, nomeadamente ao nível de ligações entre os vários elementos construtivos, entre os quais, se destaca as paredes e os pavimentos, bem como a ausência das diagonais no que eram as anteriores paredes de frontal pombalino [Appleton, J.; 2003].

Surgem novas técnicas construtivas tais como as novas lajes constituídas por vigas em ferro e alvenarias cerâmicas, conforme ilustra a figura 9.



Figura 9 – Solução de pavimento em vigas de ferro e alvenaria de tijolo.

Aparecem também cachorros de pedra embutidos nas fachadas de modo a sustentar varandas em lajedo de pedra, paredes interiores de tabique de tábua ao alto conferindo muito pouca resistência ao nível estrutural, ao contrário das paredes de frontal pombalino [Appleton, J.; 2003].

Em termos de caracterização, quer no que diz respeito a fatores urbanísticos quer em termos arquitetónicos, a este tipo de construção primava uma altura de edifícios que podia alcançar os 5 a 6 pisos elevados, lotes com desenvolvimento em profundidade com adoção de saguões. Surgem na fachada de tardoz construções com recurso ao ferro como material predominante em colunas e vigas de lajes de varandas e marquises (figura 10), alcançando deste modo estruturas mais esbeltas e leves mas, como o ferro não era tratado, sujeitas à corrosão e, por conseguinte, sendo imprescindível a sua manutenção [Appleton, J.; 2008].



Figura 10 – Estrutura de tardoz de varanda com recurso ao ferro sem tratamento devido, passível de corrosão.

Em termos de distinção entre a construção pombalina e a construção dos edifícios “gaioleiros”, podemos referenciar algumas diferenças significativas na transição entre estas duas eras, nomeadamente na substituição das paredes de frontal por paredes de tabique de prancha ao alto e por paredes de alvenaria de tijolo, furado ou maciço (22x11x7) e o desaparecimento dos pisos térreos com abóbadas [Appleton, J.; 2008].

A solução de pavimentos de madeira nas zonas secas mantém-se, mas as vigas passam a ser na sua maioria, em pinho, com afastamentos normalmente de 0,40 m ao eixo e secções de 0,08x0,16 m. Estas reduções de secção e portanto de rigidez levaram como é natural ao surgimento de patologias ao nível da deformação e também da vibração [Appleton, J.; 2003].

Outro aspeto que convém destacar na distinção destas duas fases da construção de edifícios, pombalinos e “gaioleiros”, é exatamente na execução do processo construtivo.

No processo construtivo dos edifícios pombalinos, com a construção das fundações e do embasamento, seguia-se a execução de toda a estrutura da carpintaria entre a qual se destaca a “gaiola pombalina”, enquanto nos edifícios “gaioleiros” a construção era efetuada piso a piso, nas quais em primeiro lugar eram executadas as paredes e depois os pisos [Mascarenhas, J.; 2009].

Os edifícios “gaioleiros”, em termos de paredes exteriores, caracterizam-se por paredes de fachadas de alvenaria ordinária com espessuras variáveis, ao longo

da altura dos edifícios, sendo mais espessas na base, em que podemos encontrar espessuras entre 0,8 m até 0,6 m, e mais finas no topo do edifício em que podemos ter de 0,4 m a 0,3 m. As empenas são também de alvenaria ordinária mas sem variações de espessura ao longo do seu desenvolvimento em altura, normalmente entre os 0,4 m e os 0,3 m de espessura [Appleton, J.; 2008].

A descrição que se faz dos edifícios “gaioleiros” nem sempre corresponde a uma única solução construtiva, conforme já foi referido. Por exemplo, ao nível das paredes interiores as soluções encontradas baseiam-se predominantemente em 2 tipos, as de tabique de madeira em todo o edifício, inclusive nas paredes dos apoios aos vigamentos dos pisos e nas paredes da caixa de escadas. A outra solução consiste em paredes de alvenaria de tijolo, que podem variar entre o maciço a uma base, ou seja, com espessura no toco idêntica ao comprimento do tijolo, ao furado a meia vez e ao cutelo no topo da parede, isto é, com espessura idêntica à altura do tijolo quando se diz a meia vez, e espessura idêntica à espessura do tijolo quando se diz ao cutelo [Appleton, J.; 2008].

Muitas vezes estas soluções incluíam ainda um reticulado de madeira em prumos e travamentos, não incluindo porém nem os frechais nem as escoras diagonais.

Ao nível das fundações das paredes é usual encontrar pegões e arcos de alvenaria, ilustrados na figura 11 e 12, podendo esta técnica solucionar os problemas que surgiam em solos de fraca resistência mecânica.



Figura 11 – Arco de fundação de alvenaria.



Figura 12 – Arco de fundação em alvenaria onde se pode verificar o perfeito aparelhamento das pedras.

Na construção dos edifícios “gaioleiros” os vigamentos eram apenas apoiados nas paredes ou em espaçamentos efetuados nas zonas de entrega das paredes de alvenaria, conforme se observa na figura 13, não existindo qualquer garantia de resistência nestas ligações entre paredes e pisos, conforme acontecia em geral na construção pombalina. Estes pormenores de ligação verificam-se também em edifícios pombalinos, que foram alvo de intervenções recentes, nas quais por falta de conhecimento ou por negligência, foram esquecidos.

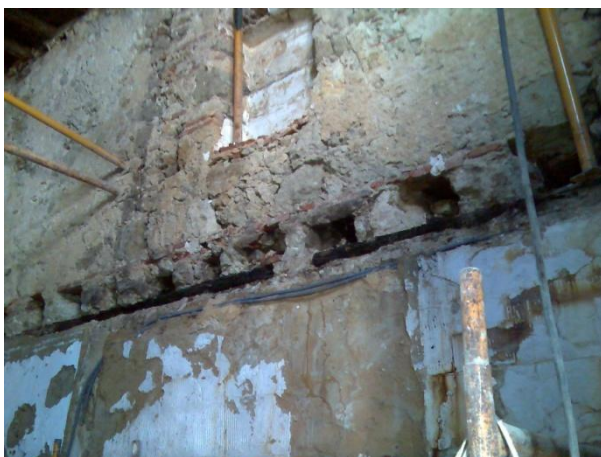


Figura 13 – Zona de entrega de vigas de madeira em parede deteriorada de alvenaria de pedra, onde é notória a desagregação da pedra não garantindo qualquer tipo de ligação sólida entre pavimento e parede.

As ligações entre os vários elementos estruturais dos edifícios “gaioleiros” são talvez, em conjunto com a incapacidade de dissipação de energia e de

ductilidade dos seus elementos, os principais fatores do mau comportamento sísmico destes edifícios.

3.2 – ESTRUTURA

A análise do comportamento estrutural dos edifícios é extremamente importante. Um dos erros comuns que se cometem é a análise considerando o edifício isolado sem interação com a sua envolvente. No entanto, esta avaliação deve ser efetuada, nomeadamente na região de Lisboa, ao nível de um quarteirão, pois estruturalmente, na zona descrita, os edifícios têm comportamentos estruturais interdependentes [Appleton, J.; 2003].

Um dos erros mais frequentes em intervenções em estruturas de edifícios antigos consiste na redução ou anulação de elementos estruturais de modo a poder introduzir novas redes, quer de abastecimento de água, quer de saneamento básico ou rede de gás, conforme ilustra a figura 14.



Figura 14 – Alteração estrutural devido à introdução de redes de saneamento.

Quando se altera a estrutura original das paredes de cruz de Santo André, as “gaiolas pombalinas”, altera-se a capacidade destas estruturas no que diz respeito não só à sua capacidade resistente, mas também à capacidade de absorção das forças de inércia horizontais induzidas pela ocorrência dos sismos, para além de adulterar quer o contraventamento que estas estruturas fazem nas fachadas de alvenaria quer na contribuição para a capacidade de dissipação de energia [Appleton, J.; 2008].

Outro fator muito importante, que se verificou em intervenções no séc. XIX e XX, foi o aumento do número de pisos em edifícios antigos sem recurso a uma análise cuidada da estrutura destes edifícios ou reforço adequado à estrutura existente [Appleton, J.; 2003]. A figura 15 ilustra o aumento de pisos visível através da observação da cimalha.

Quando não se procede ao reforço estrutural conveniente para forças horizontais, o aumento do número de pisos provoca o aumento do peso próprio da estrutura, aumentando os esforços e os deslocamentos durante a ocorrência dos sismos, conforme ilustra a figura 16, referente a aumento de esforços e deslocamentos em edifícios de betão armado. Se não existir a preocupação necessária com o aparecimento destes novos esforços e o aumento dos deslocamentos, a estrutura ficará mais vulnerável à ação do sismo [Monteiro, M.; Lopes, M.; 2008].

A preocupação que existiu na reconstrução da baixa de Lisboa, garantindo características dinâmicas semelhantes entre os edifícios, nomeadamente com execução de edifícios de alturas idênticas, o mesmo número de pisos, em geral 1 piso térreo e 3 pisos elevados, é prova que se pretendia obter massas e rigidez semelhantes entre todos os edifícios reconstruídos.

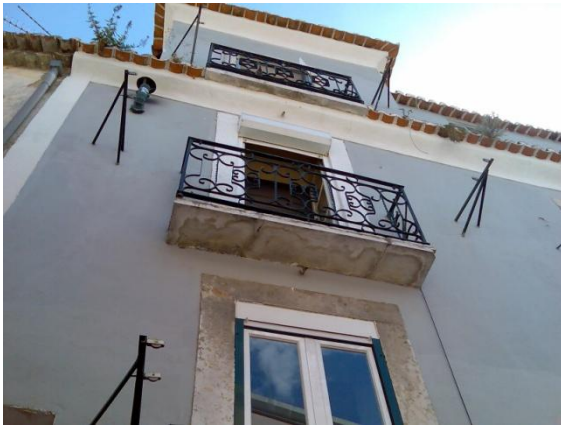


Figura 15 – Aumento do número de pisos, provavelmente sem recurso a dimensionamento de cargas adicionais.

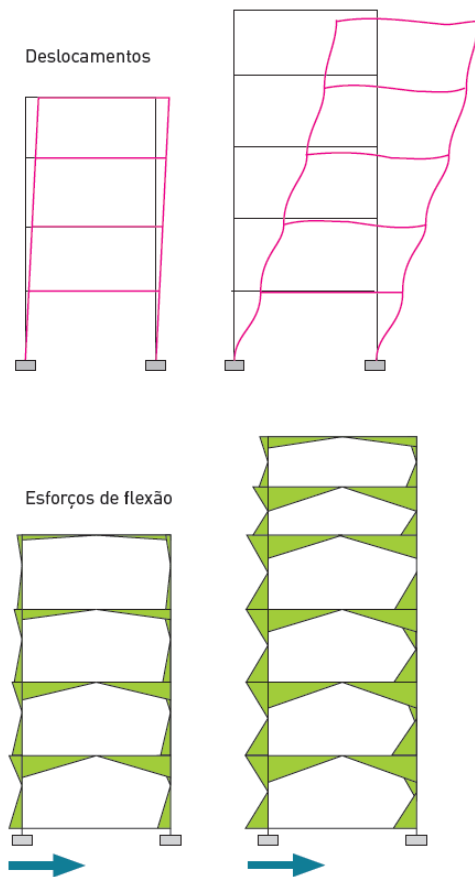


Figura 16 – Esquema indicativo do aumento de esforços e deslocamentos a que as estruturas de betão armado estão sujeitas durante os sismos devido ao aumento do nº de pisos [Monteiro, M.; Lopes, M.; 2008].

É usual verificar também que muitas das vezes, as paredes exteriores de alvenaria que constituem o aumento dos pisos, não foram devidamente contraventadas com paredes interiores perpendiculares, podendo originar a sua queda para fora do plano. Na figura 17, é perfeitamente visível o acentuado deslocamento da parede para fora do plano [Costa, A.; 2008].



Figura 17 – Deslocamento de parede para fora do plano.

3.2.1 – FUNDAÇÕES

As fundações dos edifícios antigos são basicamente de três tipos: diretas, semi-diretas e indiretas. Nas primeiras verifica-se predominantemente o prolongamento das paredes resistentes até ao solo de fundação, com a sua largura idêntica à da parede ou um pouco mais larga, consoante o tipo de terreno. As fundações semi-diretas são constituídas por arcos de alvenaria de tijolo ou pedra sobre poços de alvenaria essencialmente de pedra. A execução de fundações indiretas consistia na cravação de estacas de madeira, uma solução mais nobre, devido ao recurso a espécimes de madeira de grande dimensão, em que se procurava alcançar solos resistentes, em estratos profundos, podendo atravessar aterros ou outros solos com formação recente [Appleton, J.; 2003].

Devido ao relevo característico da cidade de Lisboa, é usual a existência de algumas caves, que acompanham a configuração do terreno e melhoram o comportamento estrutural do edifício, aprofundando desta forma as fundações de forma a alcançar solo mais resistente.

Normalmente, as fundações dos pilares são sapatas isoladas e as das paredes sapatas contínuas, em alvenaria de tijolo ou de pedra, com a sobrelargura em relação à parede que lhe está anexa. Desta forma era garantida a passagem dos esforços de compressão da parede de alvenaria, mais resistente, para o

solo de fundação, menos resistente, necessitando este de uma maior área de influência [Appleton, J.; 2003].

Outro aspeto a realçar é o material que constitui as sapatas, normalmente mais “pobre” do que o que constitui a respetiva parede, fato justificado por alguns autores por a sapata ser o elemento de passagem de um elemento mais rijo, a parede, para um mais mole, o solo de fundação [Appleton, J.; 2003].

A melhor solução passaria pela fundação da estrutura em solo mais resistente, de preferência em rochas calcárias, graníticas ou basálticas, podendo desse modo manter a mesma largura da respetiva parede com recurso a um material de fundação idêntico ao da parede.

Os arcos de alvenaria são uma solução que se justifica devido ao facto de nessa forma geométrica se conseguir compensar a falta de resistência à tração, evitando esforços de flexão.

O recurso a estacas de madeira, devido à dificuldade na sua execução, apenas se justifica em zonas inundadas ou em solos brandos de modo a facilitar a cravação, sendo nessas condições uma boa solução, conforme documentam registos que referenciam escavações efetuadas a edifícios na zona da baixa pombalina [Appleton, J.; 2003].

Sempre que possível, deve ser efetuada uma inspeção visual ao estado de conservação das fundações, sendo uma das técnicas utilizadas a abertura de poços de inspeção.

Esta operação permite em muitos casos identificar a origem de várias patologias ocorridas nas respetivas paredes, tais como fendas. Quando se pretende averiguar a ocorrência de assentamentos, a melhor solução será a de furos de sondagem até camadas inferiores à da base da sapata, com recolha do material de modo a poder analisar as suas características [Appleton, J.; 2003].

3.2.2 – PAVIMENTOS

Os edifícios antigos têm geralmente uma diferenciação entre o piso térreo e os pisos elevados no que diz respeito à sua constituição. O piso térreo

normalmente consiste numa camada em terra batida compactada ou, em outros casos, num enrocamento de pedra por vezes efetuado à mão. Sobre esta camada está aplicada a camada de revestimento, que pode variar entre tijoleiras cerâmicas, ladrilhos, lajedo de pedra ou ainda sobrados de madeira [Appleton, J.; 2003].

No que diz respeito aos pavimentos dos pisos elevados dos edifícios antigos são, maioritariamente constituídos por madeira, disposta em vigas paralelas, distanciadas entre 0,20 m a 0,40 m apoiadas em paredes resistentes de alvenaria.

Em edifícios de maior relevância na época da sua construção, as soluções de pavimento consistiam em abóbadas de alvenaria e arcos, evitando deste modo situações onde existiam humidades. Desse modo evita-se problemas com a madeira no que diz respeito a fungos de podridão húmida. Esta era uma solução frequente de edifícios pombalinos.

Outra solução, mais usual em zonas com humidade presente, consistia no preenchimento, com pedra, terra solta, ou ainda areia argilosa, da zona do arco sobre a qual se aplicava uma betonilha “bastarda” para posterior colocação da camada de desgaste, normalmente em material cerâmico ou ainda lajedos de pedra [Appleton, J.; 2003].

Nas situações onde a solução passa por arcos, com o preenchimento destes com o material descrito anteriormente, é necessário uma análise cuidada, pois existem casos em que estes foram alvo de intervenção e que o seu novo preenchimento foi efetuado com introdução de materiais não tradicionais, mais pesados e sem recurso a qualquer dimensionamento das cargas que os arcos suportam.

Nos edifícios mais antigos, as vigas de madeira são em castanho, de origem nacional na sua maioria. Também se encontra o carvalho, choupo e cedro nos mais recentes edifícios do século XX, ou ainda o pitespaine e a casquinha nas construções mais económicas. Mais tarde surge ainda a madeira de eucalipto e o pinho, sendo esta última uma das mais utilizadas devido à disponibilidade a nível nacional [Appleton, J.; 2003].

É possível encontrar em alguns casos secções circulares nas vigas de madeira dos pavimentos, indicativas da falta de tratamento ou corte na secção natural da madeira, conforme ilustra a figura 18.



Figura 18 – Vigas de pavimento de secção circular, indicando falta de tratamento antes da aplicação.

Existem ainda soluções de pisos elevados, normalmente associados a zonas húmidas ou ainda em zonas exteriores, que consistem em vigas de ferro com abóbadas de tijolo, conforme se observa na figura 19.



Figura 19 – Pavimento de varandas em vigas de ferro e tijolo cerâmico.

3.2.3 – PAREDES

Importa realçar desde já, de modo a melhorar a compreensão do tema, a que corresponde as denominadas paredes estruturais, mestras ou resistentes.

De um modo geral, todas as paredes dos edifícios antigos contribuem ativamente para o comportamento estrutural global da estrutura, quer ao nível

de cargas verticais, quer para cargas horizontais, como a ação sísmica. No entanto a parede estrutural, mestra ou resistente possui uma componente estrutural de maior importância [Appleton, J.; 2003].

Estas paredes são aquelas que suportam maior carga vertical e horizontal sendo por isso, normalmente denominadas de paredes-mestras.

As paredes resistentes das estruturas antigas na zona de Lisboa eram normalmente constituídas de alvenaria de pedra calcária, sendo este um dos materiais estruturais mais importante neste tipo de edifícios. Existem também paredes exteriores com uma estrutura interna em madeira, idêntica às paredes de frontal pombalino que serviam normalmente edifícios com andares de ressalto, conforme se pode observar na figura 20.



Figura 20 – Vigas de pavimento em madeira com andar de ressalto [Appleton, J.; 2008].

As paredes de alvenaria de pedra são caracterizadas geralmente pela sua elevada espessura originando elementos pesados e rígidos mas que em termos de esforços de tração pouco ou nada podem resistir. São caracterizadas pela boa capacidade resistente a esforços de compressão, mas menor a esforços de corte. Deste modo, é garantida uma boa estabilidade em termos de encurvadura e, devido ao seu peso, um bom equilíbrio e consequente resistência a forças horizontais [Appleton, J.; 2003].

Entre outras razões, importa destacar que a sua espessura contribui também para dificultar a passagem da água e do vento no atravessamento das paredes,

nos ciclos Inverno – Verão (Inverno, caminho de percolação do exterior para o interior; Verão, interior para o exterior). Particular atenção deverá ter este fenómeno devido ao facto de que nem sempre se processa deste modo, podendo a água ficar alojada no interior das paredes, situação a evitar.

No que diz respeito às argamassas, a sua composição não é fácil de identificar, variando, assim como as pedras constituintes das paredes, com a sua localização e disponibilidade no local de implantação do edifício.

A mais usual na região de Lisboa, talvez seja a mistura de areia e cal aérea, sendo esta uma matéria que deve sem dúvida ser alvo de estudos científicos, de modo a aprofundar o conhecimento dos materiais e o seu comportamento, contribuindo para que o seu desempenho no futuro seja substancialmente melhor [Appleton, J.; 2003].

Em termos construtivos, as paredes principais dos edifícios antigos foram, ao longo dos anos, perdendo espessura, por um lado pela evolução e conhecimento dos materiais, e por outro pela negligência dos construtores, que sem conhecimento técnico fundamentado, reduziram a quantidade de material aplicado de forma a tornar a construção mais barata [Appleton, J.; 2003].

Para além das paredes resistentes, convém realçar o papel importante das paredes divisórias dos edifícios antigos, nomeadamente nos edifícios pombalinos, designadas de tabiques de madeira, no comportamento estrutural desses edifícios, contribuindo para o travamento estrutural devido à interligação entre estas paredes divisórias, os pavimentos, a cobertura e as paredes resistentes.

Estas paredes são em geral paredes de fasquiado pregado sobre tábuas colocadas verticalmente, revestidas em ambas as faces com rebocos de argamassa de cal, conforme se pode observar na figura 21.



Figura 21 – Parede de fasquiado pregado sobre tábuas dispostas verticalmente.

O comportamento elástico associado a este tipo de paredes pode ser importante para a resistência global da estrutura, principalmente quando as restantes paredes resistentes deixam de estar em pleno funcionamento.

Apesar de terem surgido antes do período pombalino, as paredes de compartimentação tiveram uma melhoria em termos de desempenho na construção pombalina, evoluindo a sua conceção no sentido de melhores comportamentos estruturais. Surgem as denominadas paredes de cruces de Santo André. (figura 22)

A sua composição consiste numa estrutura em madeira, formada por elementos horizontais, verticais e diagonais, normalmente em casquinha ou ainda castanho, entalhadas e pregadas permitindo ainda uma perfeita ligação aos pavimentos através da ligação aos frechais que servem de apoio ao pavimento [Mascarenhas, J.; 2009].



Figura 22 – Parede de cruz de Santo André.

Eram ainda preenchidos os espaços vazios criados entre os elementos de madeira da parede de cruz de Santo André com alvenaria de pedra ou de tijolo maciço, conforme ilustra a figura 23, levando posteriormente o revestimento final.



Figura 23 – Parede de cruz de Santo André com preenchimento de alvenaria de pedra e abertura para vãos de portas.

3.2.4 – COBERTURA

Existem várias soluções de cobertura de edifícios antigos, variando entre a solução de terraço e a de cobertura inclinada. Nas soluções de terraço a utilização da madeira é inadequada devido à dificuldade em garantir estanquidade, recorrendo-se a arcos e abóbadas de pedra e tijolo como solução construtiva. Nas coberturas inclinadas a solução estrutural recorre à

madeira, nomeadamente a asnas de madeira, sendo a madeira do tipo já mencionado para os pavimentos, com configurações e inclinações variadas.

No que diz respeito a coberturas planas, em terraço, a sua estrutura é na sua maioria em abóbadas e arcos, ou em poucos casos, numa estrutura de madeira corrente com os devidos reforços, seguida da camada de enchimento e nivelamento, camadas de impermeabilização, proteção mecânica e por fim camada de acabamento ou desgaste [Appleton, J.; 2003].

Nas coberturas inclinadas, normalmente o que influencia a sua inclinação, na baixa Lisboeta, é a sua utilização, ou seja, muitas vezes a inclinação varia consoante a necessidade do maior ou menor pé-direito na zona das águas furtadas.

As coberturas inclinadas mais usuais são de duas, três ou quatro águas, variando a sua estrutura e complexidade. Existem ainda elementos que diferenciam coberturas adicionando elementos tais como as trapeiras, mansardas, lanternins, entre outras. A figura 24 ilustra um edifício de 2 águas com mansarda.



Figura 24 – Cobertura de 2 águas com mansarda.

As asnas são estruturas que suportam a cobertura através da triangulação de elementos de madeira, sendo os principais a linha, as pernas, o pendural, as diagonais, a cumeeira e as madres [Branco, J.; 2007]. Existem ainda elementos que complementam esta estrutura principal, nomeadamente as varas e as ripas que recebem o revestimento exterior. Para suporte do revestimento inferior da

estrutura da cobertura existem outros elementos que servem também para efetuar o travamento das linhas das asnas. De seguida, na figura 25, pode-se observar a estrutura de uma asna simples.

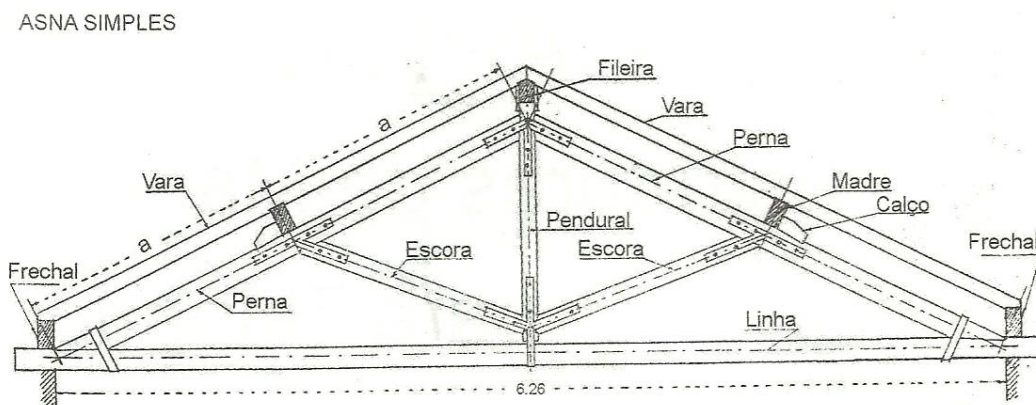


Figura 25 – Estrutura de asna simples [Branco, J.; 2007].

As ligações entre os vários elementos que constituem as asnas são essenciais no que diz respeito ao desempenho estrutural da mesma, sendo utilizados elementos metálicos que garantem essa ligação, conforme se pode constatar nas figuras 26 e 27 [Branco, J.; 2007].

AS DIVERSAS FERRAGENS DAS ASNAS

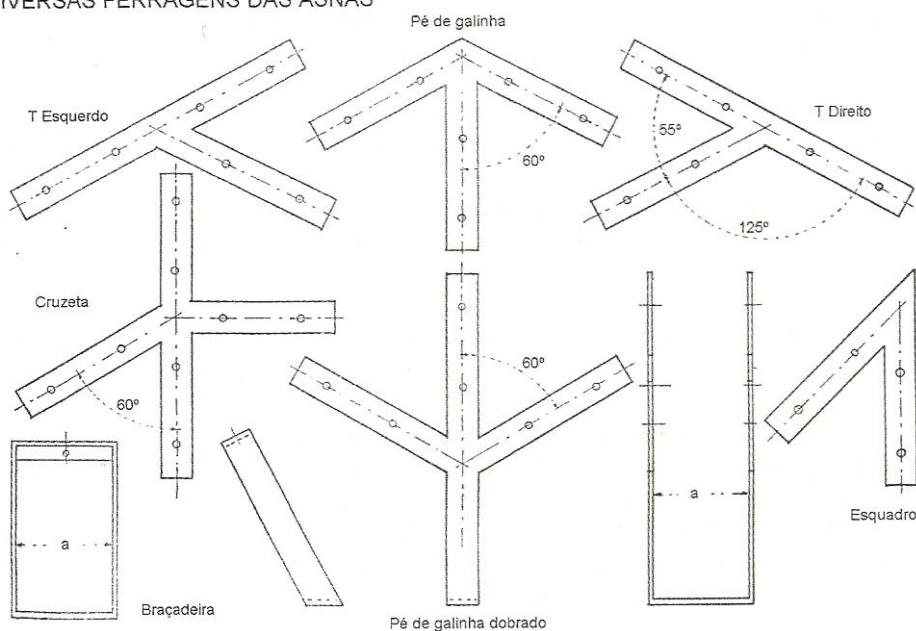


Figura 26 – Elementos metálicos utilizados para reforço de ligações das asnas [Branco, J.; 2007].



Figura 27 – Utilização de elementos metálicos para reforço da estrutura de uma cobertura.

Outro ponto essencial é a zona de ligação das asnas aos seus apoios, que podem ser em apoios específicos ou nas paredes de alvenaria exteriores. Estas ligações devem ser efetuadas com recurso a ligações metálicas impregnadas nas paredes e pregadas ou aparafusadas às linhas das asnas.

A figura 28 ilustra alguns exemplos destes apoios, procurando também exemplificar vários tipos de soluções de acabamento da cobertura [Branco, J.; 2007].

ASSENTAMENTO DE ASNAS

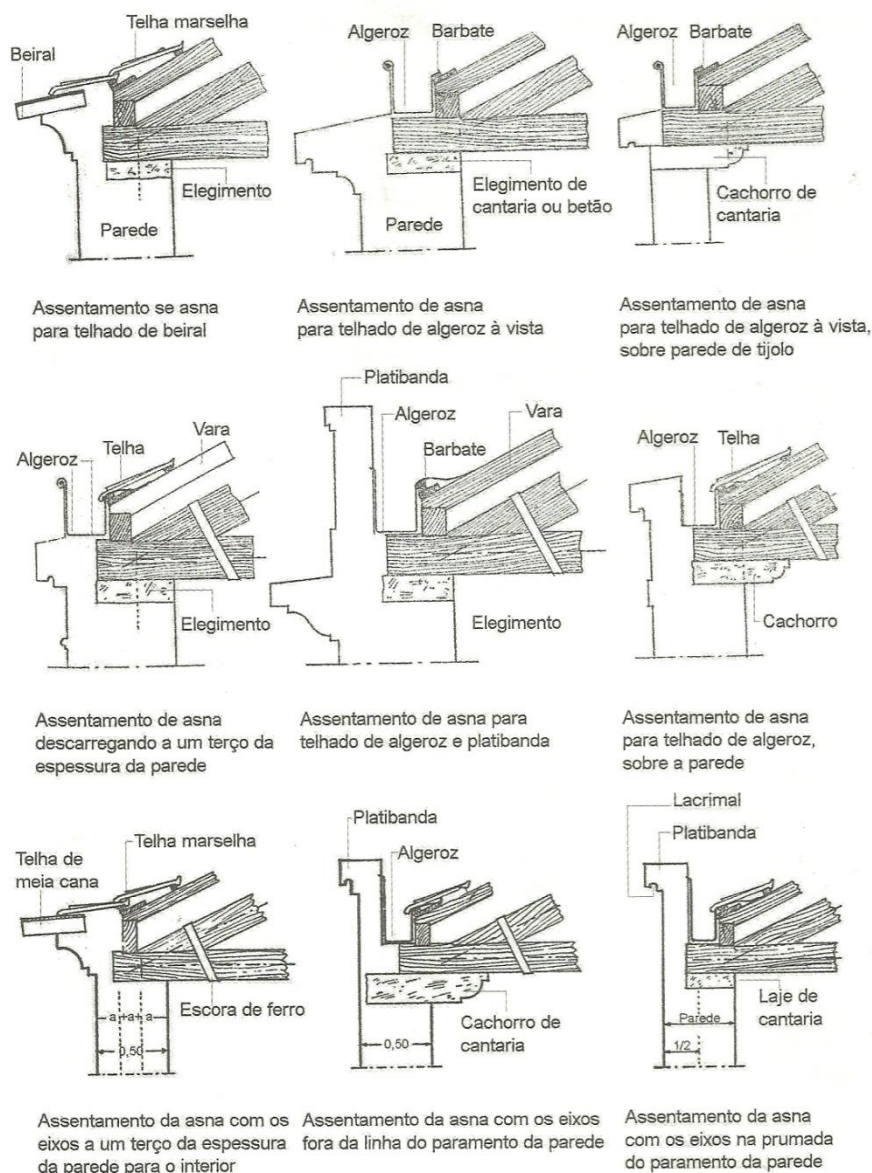


Figura 28 – Alguns tipos de assentamento de asnas [Branco, J.; 2007].

O revestimento das coberturas é normalmente em telhas cerâmicas ou soletos cerâmicos, de cobre, ardósia etc. [Appleton, J.; 2003].

3.2.5 – CAIXA DE ESCADAS

Normalmente, em edifícios antigos, a caixa de escadas é uma zona importante do edifício, pois para além de efetuar a ligação entre pisos, a sua estrutura

contribui para o travamento da estrutura global e para a própria resistência ao sismo.

Geralmente a sua estrutura, nos edifícios antigos, é em madeira, sendo esta da mesma espécie da dos pavimentos e cobertura. Nos edifícios mais antigos, nomeadamente nos pré-pombalinos com pé-direito reduzido, são de um tiro, largura inferior a 1 m, degraus com espelhos grandes e cobertores reduzidos, colocadas na extremidade do lote e com inclinação elevada, conforme se pode observar na figura 29. A sua constituição consistia em vigas que suportam os degraus, cadeias, que por sua vez se apoiam em samblagens e pregagens aos vigamentos dos pisos [Appleton, J.; 2003].



Figura 29 – Escadas de um tiro com largura reduzida.

Com o passar dos tempos, as escadas passaram a ter um lugar mais central, devido ao surgimento de 2 inquilinos por piso, maior largura, 2 lanços em vez de 1 e diminuição de inclinação, com aumento do conforto de utilização e contribuindo para um melhor comportamento da estrutura global no que diz respeito à resistência sísmica, evidenciando uma melhor simetria.

Surgem também na construção pombalina as paredes das caixas de escadas em cruz de Santo André, também denominada de frontal, que consiste numa estrutura de madeira preenchida com alvenaria de tijolo ou com pedra, bem ilustrada na figura 30, surgindo um frechal que iria apoiar a estrutura do patamar [Appleton, J.; 2003].



Figura 30 – Paredes de caixa de escadas de frontal pombalino.

3.2.6 – VÃOS EXTERIORES

Apesar de não ser um elemento que faça parte direta da estrutura dos edifícios antigo, os vãos de portas e janelas podem contribuir seriamente para a degradação dos elementos que a constituem. Estanquidade, proteção térmica e acústica, entre outras características, são propriedades que os vãos devem possuir, usualmente em madeira, nomeadamente a casquinha.

Este é sem dúvida um dos pontos nos quais se identificam mais patologias, não só devido à falta de qualidade e idade dos materiais que constituem os vãos das janelas, mas devido também à falta de manutenção e mão-de-obra qualificada nas intervenções que se efetuam. A compatibilização entre a arquitetura original destes elementos com o conhecimento tecnológico atual deve dar aso a que surjam novas soluções que visem melhorar as características de conforto e qualidade destes importantes elementos constituintes dos edifícios antigos.

Existem muitos casos em que os próprios peitoris são em madeira, originando patologias severas para o interior das edificações, conforme se pode constatar na figura 31.

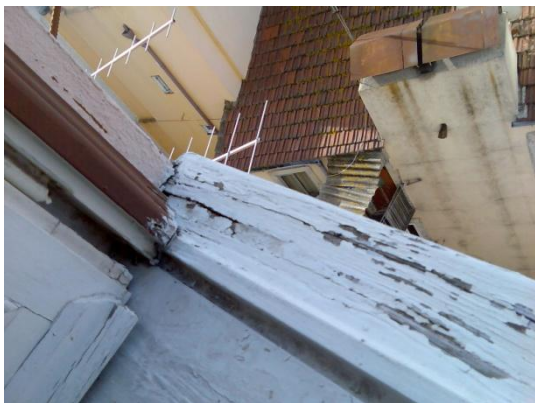


Figura 31 – Peitoril de madeira com graves patologias e consequentes infiltrações de água para o interior da habitação.

Importantes em termos estruturais são os arcos de descarga efetuados sobre as padieiras das janelas e portas, geralmente em tijolo ou pedra reforçando essas zonas críticas em termos de tensões. Constata-se através de observação direta, conforme ilustra a figura 32 que muitos destes reforços, devido a alterações estruturais indevidas, deixam de funcionar devidamente, apresentando sinais de deformação elevados [Appleton, J.; 2003].



Figura 32 – Arcos de descarga na padieira de um vão de janela com deformação acentuada.

A utilização das cantarias em contornos de vãos, peitoris e soleiras, entre outros, para além de evitar problemas patológicos como os descritos anteriormente, eram sinónimos de qualidade construtiva, conforme se pode ver na figura 33. Com o passar dos tempos verifica-se uma redução da aplicação deste material, substituído por socos e molduras argamassadas, com

implicações na diminuição da qualidade construtiva e na resistência mecânica, sendo mais suscetível a deterioração, conforme se constata na figura 34.



Figura 33 – Cantarias nos contornos dos vãos demonstrando qualidade construtiva.



Figura 34 – Moldura efetuada em argamassa “imitando” cantarias de pedra, denunciando poupança no método construtivo.

No que diz respeito aos vãos das portas exteriores, as exigências são as mesmas, evitando entradas de água pela soleira, principalmente em zonas de edificado onde as águas provenientes das ruas sem escoamento circulam muito junto às soleiras das portas.

3.3 – REDES DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO

As redes de abastecimento e saneamento foram introduzidas recentemente nos edifícios antigos, sendo muitas vezes causa de adulterações em elementos estruturais, nomeadamente a rede de esgotos domésticos devido à dificuldade de introduzir um traçado compatível com a estrutura existente. A rede de

esgotos pluviais também é de extrema importância, contribuindo para a garantia de que os elementos de madeira da estrutura permaneçam secos.

3.4 – MATERIAIS

3.4.1 – ALVENARIAS

As paredes exteriores dos edifícios antigos eram constituídas por alvenaria de pedra, na sua maioria irregular, tendo esta um desempenho sísmico inferior aos de alvenaria de pedra regular. A diferenciação entre estes dois tipos de paredes de alvenaria de pedra, consiste na colocação da mesma aquando da sua construção. As paredes de pedra de alvenaria regular, encontradas com maior frequência em monumentos e edifícios históricos, eram construídas com pedras com a forma geométrica de paralelepípedos colocadas de forma ordenada e com juntas regulares.

As paredes de alvenaria de pedra irregular sem recurso a ligante ou fracos ligantes demonstram ser as que obtêm pior desempenho em termos sísmicos. A alvenaria de pedra irregular apresenta bons valores de rigidez e resistência à compressão, sendo menor a resistência ao corte na zona das juntas.

3.4.2 – MADEIRA

É talvez o material mais em destaque nos edifícios antigos, sendo utilizado em vários elementos estruturais e não estruturais, apresentando várias características intrínsecas ao próprio material.

A madeira tem como características a sua elevada resistência mecânica no que diz respeito a esforços de compressão e tração, baixa densidade e ainda um bom comportamento no que diz respeito a isolamento térmico e acústico.

Convém também realçar a sua componente sustentável, pois é um recurso natural renovável com um ciclo de vida que bem cuidado pode ser longo, podendo também ser reciclado e reutilizado [Branco, J.; 2007].

Nos dias correntes existem regulamentos e conhecimentos que possibilitam a sua correta aplicação assim como o seu dimensionamento para que a sua aplicação seja eficaz.

No que diz respeito à sua fisiologia destaca-se a sua classificação, em termos de crescimento e germinação, em endógenas e exógenas. As primeiras de germinação interna com desenvolvimento de dentro para fora, tais como as palmeiras, sendo as exógenas de germinação externa, ou seja, de desenvolvimento de fora para dentro com anéis de crescimento e nas quais se destacam as folhosas e as resinosas [Branco, J.; 2007].

As madeiras provenientes das árvores exógenas, nomeadamente as madeiras rijas, têm uma secção transversal na qual convém destacar algumas partes que interessam para a sua resistência, tais como o cerne que lhe dá a resistência e se identifica numa secção do tronco de uma árvore pela cor mais escura. Desenvolve-se com a idade da árvore devido ao envelhecimento do lenho, que compreende o cerne, sendo constituído por células mortas que resistem aos esforços externos, e o borne que tem função resistente constituído por células vivas que transportam a seiva ascendente [Branco, J.; 2007].

Na figura 35 está legendada uma figura com o esquema de uma secção transversal de uma árvore exógena.

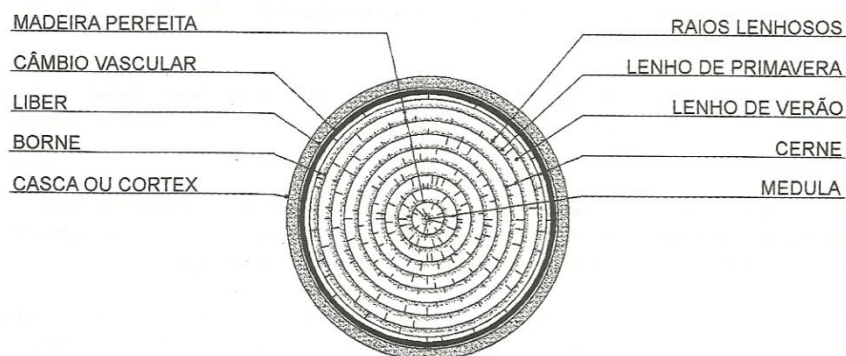


Figura 35 – Corte numa secção transversal de uma árvore exógena [Branco, J.; 2007].

A durabilidade do pinho, do carvalho, entre outros, pode ir, em boas condições de proteção, até mais de 500 anos, demonstrando que são elementos com uma fiabilidade elevada [Branco, J.; 2007].

Em relação à sua designação e dimensão comercial destacam-se os barrotes, as vigas e as vigotas, com as especificações que as figuras 36, 37 e 38 descrevem:

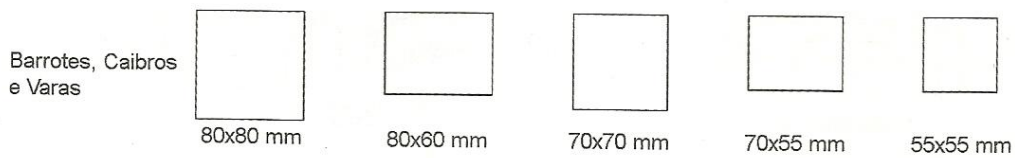


Figura 36 – Secção de barrotes mais utilizados [Branco, J.; 2007].

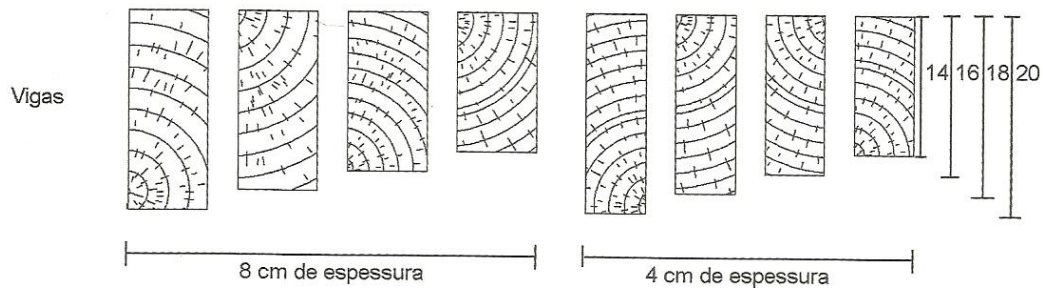


Figura 37 – Vigas e suas secções características mais usuais [Branco, J.; 2007].



Figura 38 – Vigotas de madeira [Branco, J.; 2007].

Existem ainda vários defeitos inerentes aos elementos de madeira que podem comprometer o seu comportamento mecânico, tais como os nós, que são consequência de ligação de ramos que podem ser vivos ou mortos, podendo

consoante a sua origem reduzir a resistência da secção quer à compressão quer principalmente à tração. As fissuras e as fendas são uma das patologias mais usuais na madeira, ocorrendo devido a má secagem do elemento, que deve ser lenta, ou ainda por descida brusca de temperatura, entre outras razões.

A madeira é também um alvo de ataques de parasitas e fungos ou ainda insetos, podendo ocorrer quer em ambientes húmidos quer em ambientes secos.

Em termos físicos convém destacar a sua densidade, a retratibilidade e o grau de humidade. A humidade, quando em excesso, pode provocar retrações, empenos ou ainda defeitos nas ligações devido ao processo de secagem [Branco, J.; 2007].

Em termos de densidade, ou seja, a relação entre o volume e a massa medidos a um grau de humidade definido, convém que esteja a 15%, considerado normal. O grau de humidade é a quantidade de água em percentagem do peso total húmido [Branco, J.; 2007].

No que diz respeito à humidade, a madeira é um material higroscópico, isto é, que absorve água nas épocas húmidas libertando-a posteriormente nas épocas secas. A secagem da madeira é por isso um processo extremamente importante, podendo ser efetuado de modo natural ou artificial, com destaque para este último que elimina os fungos e os insetos. A água que existe na madeira pode ser água livre, existente nos espaços e vasos no interior das células e que é libertada no processo de secagem, ou de impregnação que está nas paredes dos vasos e das células. Esta água de impregnação varia entre os 25% e os 30%. A madeira varia ainda de volume e de peso consoante se encontre em ambiente seco ou húmido, podendo variar em termos de dimensões segundo 3 direções diferentes e de modo diferente, segundo o eixo axial, radial e tangencial conforme ilustra a figura 39 [Branco, J.; 2007].

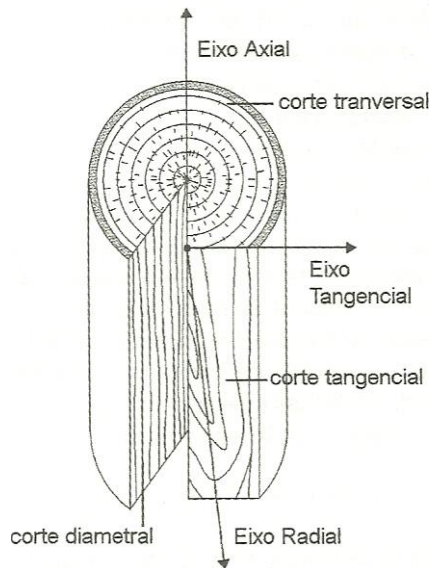


Figura 39 – Corte transversal, tangencial e diametral de um toro de madeira [Branco, J.; 2007].

Quando se efetua a escolha da madeira a aplicar deve-se ter particular atenção à existência de nós, sendo difícil de obter elementos totalmente isentos de nós. A escolha passa por evitar nós de dimensões elevadas e nós podres, escolhendo peças livres de nós ou com os nós sãos.

No que diz respeito à resistência da madeira convém destacar a tração, compressão, fadiga e cisalhamento. A resistência à tração axial é elevada, podendo atingir valores do dobro em relação à resistência à compressão, sendo geralmente a resistência mecânica da madeira mais elevada. Muitas vezes a dificuldade está no aproveitamento da totalidade da resistência à tração da madeira, devido às deficientes ligações que geralmente não conseguem evitar os esforços secundários que surgem de cisalhamento, fendilhação ou rasgamento [Branco, J.; 2007].

Em relação à resistência à compressão, destaca-se a axial, paralela às fibras, dependendo esta das próprias fibras e das suas paredes de modo a que quanto mais espessas e organizadas forem, mais densa e compacta será a madeira, resultando em resistências mais elevadas. No que diz respeito à resistência à compressão transversal, normal às fibras, é geralmente menor

que a resistência à compressão axial. A resistência à fadiga é muitas vezes negligenciada, dando origem a uma diminuição da resistência das fibras. O controlo da flexão é por isso muito importante assim como o aumento das cargas que possam aumentar os esforços. A orientação das fibras é uma característica que influencia as resistências anteriormente referidas das madeiras, sendo também essencial na resistência ao cisalhamento, quer na paralela quer na perpendicular às fibras. Por isso é essencial garantir resistência à rotura por cisalhamento longitudinal resultante de ensambladuras oblíquas como no caso das asnas [Branco, J.; 2007].

Nos vigamentos de madeira, cuja secagem não foi efetuada convenientemente, desenvolvem-se usualmente fendas cuja direção é segundo o fio da madeira. A sua importância em termos de resistência está relacionada com vários fatores, nomeadamente a sua localização, por exemplo em ligações, dependendo a sua reparação de uma correta avaliação destes fatores.

Nos casos de reparações de fendas, estas devem ser efetuadas no tempo seco, efetuando-se o fecho da mesma através da injeção de produtos compatíveis com a madeira em questão, garantindo a perfeita ligação entre eles. Posteriormente devem ser efetuados reforços através de elementos metálicos, tais como empalmes laterais ou cintas metálicas, de acordo com o ilustrado na figura 40.



Figura 40 – Reparação de um vigamento de madeira através de um empalme efetuado entre uma viga existente e uma nova, reforçado com elemento metálico com proteção contra a corrosão.

Uma das madeiras mais utilizadas nos vigamentos, pela sua disponibilidade no País, é o pinho, não estando ausente de críticas a sua escolha e posterior aplicação, muito por culpa do aplicador. A prevenção, quer em zona seca quer em zona húmida, contra fungos de podridão, contra ataques de insetos entre os quais se destacam térmitas e carunchos deve ser efetuada com recurso a soluções de impregnação que visam a proteção dos elementos de madeira.

3.4.3 – FERRO E AÇO

O ferro forjado e o ferro fundido posteriormente foram elementos essenciais no reforço das ligações entre os vários elementos estruturais, conforme indica a figura 26 e 27. Ultimamente surge o aço em substituição do ferro. São sem dúvida os elementos dos quais o reforço estrutural não pode prescindir, sendo a melhor solução na relação economia/eficácia.

Um dos aspetos de maior relevância relacionados com estes materiais é a sua proteção contra a corrosão, de modo a prolongar a sua vida útil e consequentemente a garantia do reforço das ligações a que se destinam.

3.4.4 – REVESTIMENTOS

Apesar de se pretender que este trabalho incida na vertente do reforço estrutural dos edifícios antigos, é necessário referenciar alguns pormenores referentes a elementos de revestimentos que desempenham um papel preponderante na proteção dos elementos estruturais.

A nível de exemplo, no que diz respeito a paredes, principalmente as exteriores, convém que existam características nos revestimentos, geralmente à base de argamassas fracas com areia e cal aérea, que evidenciem entre outras uma baixa retração, boa porosidade, boa trabalhabilidade e boa aderência ao suporte de base.

O recurso a este tipo de trabalho exige mão-de-obra especializada de modo a que quer as porções, quer os tempos de aplicação e secagem, quer o modo de aplicação (em várias camadas) cumpra as exigências, garantindo um produto final eficaz. A aplicação em várias camadas, conforme se pretende nos materiais mais contemporâneos, normalmente em três camadas, deve-se

principalmente ao controlo de fendilhação variando a proporção do ligante de modo a controlar a resistência de cada uma.

No que diz respeito aos revestimentos interiores, muitas das vezes eram idênticos aos exteriores, embora seja usual encontrar soluções de estuques à base de cal e gesso.

De modo a criar melhor aderência entre o revestimento e a estrutura base devido às suas características tão distintas, tais como coeficientes de retração e módulos de elasticidade, no caso das paredes de tabique de prancha ao alto o próprio fasquiado servia de suporte ao revestimento. Nas paredes de cruz de Santo André é usual encontrar pregos com a cabeça de fora de modo a criar a mesma superfície com mais resistência ao corte [Appleton, J.; 2003].

O acabamento final consistia geralmente em caição, havendo alguns casos em que, principalmente na fachada principal, existia um revestimento a azulejo, contribuindo, para além do aspeto decorativo, para uma maior durabilidade do revestimento. A figura 41 ilustra uma fachada revestida a azulejo na zona da baixa de Lisboa.



Figura 41 – Fachada revestida a azulejo.

Quanto a revestimentos de pavimentos, destaca-se, exceto nos casos dos pisos térreos já descritos, os pavimentos em madeira à portuguesa ou à inglesa, ou seja, revestidos a tábuas de madeira de solho a meia madeira, com sobreposição, ou com encaixe macho – fêmea. A espessura deste material é importante, usualmente entre 2 a 3 cm, de modo a contribuir para uma melhor

durabilidade do material, que normalmente é em pinho, casquinha, carvalho, entre outras, e para melhor ligação entre paredes e pavimento, através de elementos metálicos embutidos nas paredes e aparafusados ou pregados às tábuas de solho [Appleton, J.; 2003].

4 – DANOS E PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES ANTIGAS

Por mais rigoroso que se queira ser na detecção de patologias, defeitos construtivos ou de concepção e anomalias de serviço, a avaliação tende a ser, no geral, incompleta, nuns casos por defeito, em outros por excesso.

O conhecimento desenvolvido nos últimos anos face à ação do sismo permite um conhecimento cada vez maior quer das estruturas, quer dos materiais que as constituem.

Este é e será sempre um processo contínuo de aprendizagem com vista a alcançar os melhores resultados possíveis no que diz respeito à resistência sísmica dos edifícios antigos.

Importa referir que as estruturas, após a ocorrência dos sismos, podem apresentar danos graves que comprometem a resistência e conseqüentemente afetam a deterioração dos edifícios. Os edifícios antigos e os seus elementos estruturais suportam, em muitos casos, quatro vezes a idade para a qual se projetam edifícios nos dias de hoje.

Convém realçar que, os danos referidos anteriormente, apesar de não provocarem o imediato colapso da estrutura, implicam danos nomeadamente ao nível de ligações entre os vários elementos constituintes da estrutura, que podem com o passar do tempo contribuir para o seu enfraquecimento e até colapso.

Os danos que não são imediatamente visíveis, tais como assentamentos, fissuras que posteriormente provocam infiltrações, danos em instalações técnicas, tais como a rede de saneamento ou na rede de abastecimento de água, levam com o passar do tempo, à deterioração das madeiras que constituem os elementos da estrutura, conforme se pode verificar na figura 42.



Figura 42 – Deterioração do pavimento de madeira devido a rutura do sistema de drenagem de águas residuais.

Todos estes danos, que se manifestam diretamente após os sismos, ou progressivamente com o passar dos anos, poderão depender do método utilizado no processo construtivo da edificação.

As intervenções efetuadas nem sempre trazem melhorias ao comportamento estrutural dos edifícios antigos. Na maioria das vezes, levam ao surgimento de novos problemas cujas soluções originais não previam, tais como a ampliação de pisos sem quaisquer estudo prévio ou projeto de estabilidade, remoção de paredes principalmente nos pisos térreos, mesmo colocando perfis metálicos em sua substituição. A figura 43 é um exemplo de remoção de uma parede estrutural de alvenaria de pedra substituída por um perfil metálico.



Figura 43 – Remoção de paredes resistentes com substituição por perfis metálicos.

Existem ainda casos de betonagem de lajes sobre os vigamentos de madeira, principalmente nas zonas húmidas, cozinhas e instalações sanitárias,

apresentando as vigas posteriormente deformações excessivas devido à falta de dimensionamento das mesmas e à excessiva carga imposta sem qualquer tipo de reforço estrutural.

4.1 – IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE EDIFÍCIO

Este processo consiste na análise do tipo de edifício que se está a estudar, identificando o ano em que este foi construído e conseqüentemente a época a que corresponde (pombalino, “gaioleiro”, etc.). Este processo é por vezes difícil de analisar, recorrendo-se a pormenores construtivos, para que se possa identificar a época da construção, caso o edifício em questão não tenha sido alvo de adulteração.

Em qualquer processo de intervenção numa obra de reabilitação de edifícios antigos, que implique reforço, restauro ou apenas conservação, é necessário que exista um conhecimento o mais profundo possível sobre a edificação a intervir, quer no que diz respeito à sua conceção, quer no que diz respeito aos seus materiais constituintes.

Deverão ser efetuadas várias visitas ao local, de modo a inspecionar a construção, registar através de relatos escritos e fotográficos, realizar ensaios “in situ” quer à estrutura quer aos materiais com cuidados especiais, principalmente quando não se pretende danificar os elementos nos quais se estão a efetuar os ensaios.

Muitas vezes não existe muito conhecimento sobre a estrutura na qual se está a intervir, sendo necessário efetuar uma recolha de dados sobre a conceção original, quais os métodos utilizados na sua construção, intervenções ou alterações de que foi alvo e por fim, o estado em que se encontra.

Caso não exista informação disponível específica da edificação em questão, convém recolher toda a informação disponível e, com base nas datas referentes à construção e intervenções posteriores efetuadas, obter informação histórica com base em literatura específica referente à mesma, de modo a que se possa efetuar uma compatibilização entre a informação recolhida através da análise do edificado e a literatura consultada sobre a conceção original da estrutura.

A intervenção na estrutura é definida após a análise da segurança, avaliando-a depois de efetuar o diagnóstico descrito anteriormente [Lopes, M.; 2008].

Concluídas estas fases dever-se-á elaborar um relatório que justifique a decisão de intervenção, escolhendo os métodos e processo de intervenção, identificando as causas dos danos e degradações e elaborando soluções convenientes e eficazes para a solução dos problemas apresentados.

Consoante for o estado da estrutura, maior ou menor será o nível de intervenção sendo importante monitorizar a estrutura de modo a que, não só se conheça o estado em que está e as consequências que os danos implicam, mas também o desenvolvimento que os danos ou degradações vão impondo ao longo do tempo.

O processo de seleção do empreiteiro que executará a obra deve ter em conta fatores relacionados com a experiência adquirida em obras de reabilitação, e não só os fatores que geralmente se adotam, nomeadamente o preço e o prazo de execução da obra. Deste modo a comunicação entre toda a equipa que intervém no processo é facilitada devido à partilha de experiência nas possíveis soluções de intervenção.

Posteriormente, de modo a complementar a informação recolhida, devem ser efetuados, sempre que possível, ensaios à estrutura e às fundações, avaliando deste modo o estado real das mesmas. Estes tipos de ensaio podem ser “in situ”, ou com recurso a recolha de amostras e posteriormente analisados em laboratório. Estes ensaios podem ser destrutivos ou não, estáticos ou dinâmicos, avaliando o estado mecânico da estrutura e de todos os elementos que a constituem. Parâmetros como a resistência de compressão ou tração dos elementos constituintes da estrutura servem para melhor compreender o estado da mesma e posteriormente, adotar a melhor solução.

4.2 – MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

Nos dias correntes, a variedade de metodologias de diagnóstico, quer em estruturas quer em materiais, é muito diversificada. Alguns destes métodos de diagnóstico têm a vantagem de para além de avaliar a resposta das estruturas

à ação sísmica podem também avaliar a sua resposta a outro tipo de ações, nomeadamente as gravíticas.

Alguns desses métodos de diagnóstico consistem na caracterização do comportamento mecânico dos materiais ou ensaios com macacos planos, podendo estes últimos determinar, no local, o estado pré-existente de tensão e o módulo de elasticidade [Proença, J.; 2008].

De modo a melhorar o conhecimento do comportamento estrutural dos edifícios em estudo, convém analisar os materiais que o constituem em pormenor, nomeadamente as suas características em termos de resistência, rigidez e capacidade de deformação [Proença, J.; 2008].

Para determinar algumas destas características pode-se recorrer a um ensaio de carga, em amostra do material que se pretende analisar, de compressão ou tração.

Para estudar o comportamento de tipologias de estruturas antigas há outros tipos de ensaios que se podem efetuar em laboratório. Referem-se neste âmbito os ensaios sobre elementos estruturais, de natureza cíclica, que podem ser efetuados em regime estático ou dinâmico. De entre estes os mais sofisticados são os ensaios em mesa sísmica. Estes tipos de ensaios são efetuados em geral em modelos de escala reduzida, de modo a que se represente o mais real possível quer as características da estrutura a analisar, quer a ação sísmica que se pretende simular. Este tipo de ensaio consiste na aplicação de um movimento sísmico, real ou gerado artificialmente, e consequentemente na análise da resposta da estrutura a essa ação sísmica.

Existem mais ensaios que podem ser efetuados, tais como os ensaios pseudo-dinâmicos, para lá dos já referidos ensaios cíclicos estáticos (carga aplicada lentamente), sendo estes apenas alguns dos que se podem enumerar [Proença, J.; 2008].

4.3 – PATOLOGIAS NAS FUNDAÇÕES

As patologias associadas às fundações estão normalmente associadas a fatores que se relacionam com a ligação entre o edifício, fundações e terreno das fundações, dificultando a sua identificação e posterior resolução. A própria intervenção é, na maioria dos casos, de difícil execução, contando com problemas tais como a presença de água [Appleton, J.; 2003].

A presença de água no solo das fundações pode originar assentamentos. Outro fenómeno que pode originar assentamentos são as escavações nas imediações do edifício em análise, tal como o exemplo ilustrado na figura 44.



Figura 44 – Escavação junto a fundações em arco de alvenaria de tijolo deixando a descoberto a mesma e podendo originar assentamento.

Quando as soluções de fundações recorrem a estacas de madeira, isto é, fundações indiretas, pode ocorrer a redução da secção da estaca devido ao apodrecimento da madeira.

Patologias relacionadas com a estrutura existente, ou seja, a própria fundação implantada e o seu subdimensionamento, podem provocar o colapso da estrutura. A má execução da fundação também pode pôr em causa o comportamento estrutural, no caso de o objetivo de atingir o solo com a capacidade resistente necessária não for alcançado [Appleton, J.; 2003].

4.4 – PATOLOGIAS NAS PAREDES DE ALVENARIA

Em termos de constituição dos edifícios no que diz respeito às paredes de alvenaria de tijolo, encontram-se paredes construídas com tijolos regulares e argamassas como ligante. As patologias associadas a este tipo de paredes consistem no aparecimento de fendas que se manifestam ao longo do ligante, ou seja, na argamassa das juntas, tendo em geral um comportamento que se pode considerar satisfatório, desde que não sejam ultrapassados os níveis de deslocamentos horizontais entre o topo e a base de cada pano de alvenaria. Podem também surgir desagregação do material que constitui as paredes, ou ainda o esmagamento [Costa, A.; 2008].

As fendas podem também surgir devido a assentamento de fundações, conforme já foi referido no subcapítulo das fundações, sendo identificadas pela sua inclinação ou ainda por défice de capacidade resistente nas zonas dos arcos de descarga ou vergas dos vãos, conforme se pode verificar nas figuras 45 e 48. Geralmente, as fendas manifestam-se nas zonas dos vãos, ou seja, aberturas nas paredes que originam zonas mais frágeis devido à concentração de tensões nos cantos dessas aberturas [Appleton, J.; 2003].



Figura 45 – Fenda em parede de alvenaria de tijolo devido ao assentamento da fundação.

As zonas de ligação entre paredes de alvenaria convergentes são também propícias ao surgimento de fendas, devido a deslocamentos de uma dessas paredes em relação à outra parede. A fraca ligação entre estes elementos origina este fenómeno, como se pode observar na figura 46 e 47.



Figura 46 – Fenda entre paredes convergentes.



Figura 47 – Abertura de fenda considerável entre paredes convergentes devido a deslocamento de uma das paredes.

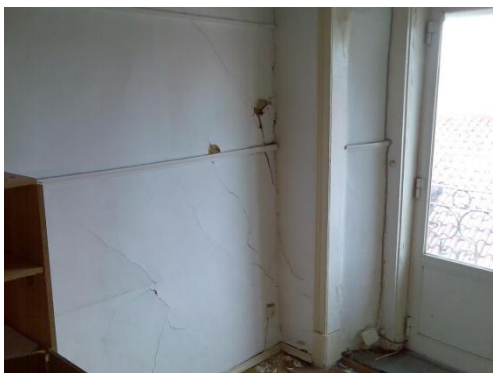


Figura 48 – Fenda devido a deformação a meio vão do pavimento.

A desagregação das paredes de alvenaria de pedra geralmente ocorre devido a agentes climáticos, ou seja, ação da água, poluição transportada pelo vento com areias, diferenças de temperatura, humidades provenientes de várias origens, tais como paredes enterradas, subida de águas por capilaridade, entre outras. A água, um dos principais agentes, dissolve os sais das argamassas solúveis enfraquecendo desse modo as mesmas e comprometendo a estrutura

das paredes, conforme ilustra a figura 49. A figura demonstra a desagregação completa dos materiais que constituem a parede.



Figura 49 – Paredes exteriores com desagregação dos elementos constituintes.

A qualidade da argamassa assume um papel importante, na medida em que consoante for de boa ou má qualidade esta terá implicações diretas na forma como cada bloco de pedra gera forças de inércia, durante o sismo, capazes de exceder ou não a resistência da argamassa utilizada, originando com isso o deslocamento das pedras para fora do plano das paredes e conseqüentemente a possibilidade de colapso das paredes.

Outro pormenor de grande importância neste tipo de solução de parede, de alvenaria de pedra irregular, é a colocação de perpianhos, pedras de grande dimensão que atravessam a parede em toda a sua largura, conferindo resistência a estas paredes e evitando deformações de flexão no seu plano e conseqüente abaulamento [Appleton, J.; 2003].

Existem ainda casos de esmagamento em paredes devido a intervenções mal efetuadas, com a colocação de vigas de betão ou perfis metálicos em substituição de paredes removidas, conforme indica a figura 50.



Figura 50 – Esmagamento e deformação de parede de alvenaria de tijolo por colocação de vigas metálicas apresentando ainda estas corrosões visíveis.

As paredes de alvenaria de pedra seca eram construídas por pedras de faces paralelas ou retilínea, usualmente regulares, apresentando boa resistência desde que, como é natural não se ultrapasse a resistência entre os blocos de modo a que o deslocamento entre estes não ocorra. Associado a este tipo de solução de parede pode existir, para além do deslocamento mencionado, a rotação devido à excentricidade das reações [Lopes, M.; 2008].

Convém ainda referir as paredes de duas folhas, normalmente em pedra ou tijolo em que a cavidade era enchida de material com pouca qualidade. Neste tipo de solução a principal patologia é a rutura da ligação entre as duas paredes provocando o destacamento de uma das paredes.

A figura 51 ilustra edifícios antigos com as fachadas revestidas a material cerâmico, que permitem a conservação dos edifícios. Muitas vezes o que se verifica é o mau estado destes revestimentos, contribuindo dessa forma não para a preservação mas sim para a deterioração da estrutura.



Figura 51 – Azulejos em queda devido ao mau estado da camada de base.

É comum encontrar aberturas de vãos, remoção de paredes ou, devido à elevada espessura das paredes resistentes, reduções de espessuras de paredes para aproveitamento de espaço, idênticas à da figura 52. Estas situações são de evitar, mas no caso da necessidade de se efetuar uma abertura de vão terá que se criar elementos de reforço de modo a aliviar as tensões que aí irão surgir, nomeadamente uma padieira, verga ou lintel. A ligação destes elementos à própria parede também deve ser alvo de estudo de modo a que funcionem como um todo.



Figura 52 – Abertura de um buraco numa parede resistente para aproveitamento de espaço.

No caso descrito anteriormente, referente à abertura de vãos em paredes resistentes, uma das soluções que se utilizou no reforço destas zonas críticas era a aplicação de fiadas de tijolo na zona da verga, ou mesmo em toda a sua

periferia, não resultando da melhor maneira, conforme ilustra a figura 53, principalmente se ocorrerem deslocamentos horizontais, tais como os sismos.



Figura 53 – Degradação dos arcos de tijolo na zona da verga de um vão de janela.

4.5 – PATOLOGIAS NAS PAREDES DE MADEIRA

Existem paredes resistentes de edifícios antigos, com elementos de madeira embutidos, cuja principal patologia é o apodrecimento das madeiras devido ao contacto com água. Como estas paredes são normalmente exteriores, uma infiltração na cobertura ou num vão de janela pode conduzir água aos elementos de madeira, como se verifica na figura 54, possibilitando o ataque de carunchos ou de fungos.



Figura 54 – Estrutura de madeira embutida numa parede exterior com patologias devido à presença de água.

Nas paredes de cruz de Santo André, merece particular destaque a adulteração da sua composição, nomeadamente no que à sua estrutura diz

respeito. Muitas vezes são removidos elementos que a constituem, adulterando o seu comportamento estrutural e debilitando a estrutura.

Outro pormenor de extrema importância neste tipo de paredes são as antigas redes de águas, e principalmente, a rede de esgotos, geralmente em grés como a da figura 55. O grés não tem a capacidade de deformação e elasticidade que caracteriza as estruturas de madeira, o que origina ruturas nestas instalações e conseqüentemente infiltrações de águas junto aos elementos de madeira.



Figura 55 – Tubagem de grés danificada com rotura e fuga de águas.

Particular atenção merece também o comportamento das paredes divisórias de tabique, no que diz respeito à sua resistência ao fogo e à água. Em relação ao fogo a sua reduzida secção torna-as vulneráveis, pois não têm uma secção que possibilite a carbonização de parte da sua secção e conseqüentemente a proteção da restante secção, conforme sucede com elementos de madeira de maior secção. Em relação à água, e perante a sua localização geralmente limitada ao interior do edifício, não existem potenciais ligações a elementos que possam possibilitar o contacto com a água, exceto nas ligações a paredes exteriores no caso de infiltrações de água ou no caso de rutura de elementos de drenagem de água ou de abastecimento de água.

Nos pisos térreos podem surgir problemas de humidade devido ao fenómeno da capilaridade, que consiste na presença de água junto aos pavimentos e conseqüente subida pelas paredes, conforme se verifica no edifício da figura 56.



Figura 56 – Patologia em parede de alvenaria por presença de água por fenómeno de capilaridade.

4.6 – PATOLOGIAS NOS PAVIMENTOS

No que diz respeito aos pavimentos, e conforme já foi referido na descrição destes elementos no capítulo 3, a sua constituição varia entre a madeira, geralmente nos pisos elevados, e a pedra ou tijolo nos pisos térreos, essencialmente para evitar problemas de humidade.

Como é natural, as patologias dos pavimentos estão diretamente relacionadas com o material que o constitui, ou seja, nos pavimentos de pedra ou tijolo, normalmente associadas a abóbadas e arcos, as patologias associadas são as já referidas nas paredes constituídas pelo mesmo material, destacando-se as fissuras, desagregações, esmagamentos, quer devido a alterações de uso com aumento das cargas iniciais, quer devido a movimentos das paredes que os suportam, consequência de falhas de elementos de travamento, como por exemplo os tirantes [Appleton, J.; 2003].

Na madeira, aspetos relacionados com o seu estado de secura na altura da aplicação, idade, tipo de madeira, o correto dimensionamento e aplicação, contraventamento, podem originar patologias tais com a deformação por flexão do elemento ao longo do tempo, a que se chama deformação por fluência. Este fenómeno é visível quando os elementos estão expostos, conforme ilustra a figura 57.



Figura 57 – Vigas de uma cobertura com deformações acentuadas por fluência.

A estas anomalias, pode-se adicionar a presença de água junto aos elementos de madeira, que ocorrem pela rutura de elementos construtivos de escoamento de águas domésticas ou pluviais, conforme sucedeu no edifício ilustrado na figura 58, pela rede de abastecimento de água ou ainda por infiltrações pontuais nas paredes ou vãos exteriores de janela e portas.



Figura 58 – Deterioração de pavimento devido a rutura da rede de águas residuais domésticas.

Consoante for o tipo de infiltração de água e a sua localização, assim se manifestam as patologias detetadas. Neste aspeto destacam-se a zona de entrega dos vigamentos de madeira, junto às paredes exteriores, os algerozes junto a platibandas, os vãos exteriores de janelas ou de portas, as paredes de empena junto às paredes corta-fogo, percorrendo posteriormente essas águas as paredes até aos pavimentos adjacentes, como sucedeu no edifício da figura 59.



Figura 59 – Pavimento degradado devido a infiltração na zona de entrega dos vigamentos de madeira.

A figura 60 exemplifica que se os elementos de madeira constituintes dos pavimentos entrarem em contacto com a água em ambientes húmidos, tais como paredes enterradas, ocorre o surgimento de fungos de podridão assim como ataques de carunchos e térmitas, devido às variações de temperatura. Com isso, as secções dos pavimentos afetados são destruídas sendo o ataque alastrado aos restantes elementos de madeira [Appleton, J.; 2003].



Figura 60 – Deterioração progressiva das vigas de madeira.

Normalmente estas situações são facilmente detetadas devido à deformação que os pavimentos começam a exibir, conforme se verifica na figura 61.



Figura 61 – Deformação acentuada do pavimento a meio vão.

Outra situação que se verifica geralmente nos pavimentos de edifícios antigos, conforme ilustra a figura 62, é a betonagem de lajes sobre elementos de madeira, geralmente nas zonas húmidas, cozinhas e instalações sanitárias, sem recorrer à impermeabilização dos vigamentos de madeira.



Figura 62 – Zona de instalação sanitária onde é visível a betonagem devido à diferença de cotas.

O aumento de pisos em estruturas existente, sem prévio redimensionamento e reforço para ter em conta as cargas adicionais, levou muitas vezes a verificar-se deformações nos pavimentos, procedendo-se posteriormente à colocação de vigas adicionais de modo a tentar minimizar estes fenómenos. A figura 63 e 64 exemplificam esta situação, verificando-se no mesmo edifício aumento de pisos com conseqüente necessidade de reforço nos vigamentos dos pisos subjacentes.



Figura 63 – É visível a estrutura antiga e estrutura mais recente da cobertura, com o aumento de um piso nas águas furtadas.



Figura 64 – Nesta figura é possível verificar, no mesmo edifício, a colocação de novo vigamento de modo a compensar a deformação devido ao aumento da carga.

A evolução construtiva já descrita, passagem da construção pombalina para os edifícios “gaioleiros”, levou a uma redução de custos na construção e a uma negligência em métodos de construção de extrema importância, tais como remoção das ligações entre os vários elementos estruturais recorrendo a componentes metálicos, aumento de espaçamento entre os vigamentos de madeira, redução da secção dos mesmos, diminuição da qualidade da madeira utilizada, passando a utilizar o pinho em vez da casquinha de riga e o castanho de pitespaine, entre outros [Appleton, J.; 2003].

Nas construções em que existem ligações metálicas entre os vários elementos construtivos, a principal patologia consiste na falta de proteção destes

elementos contra a corrosão, exemplos visíveis nas figuras 65, 66 e 67. Este fenómeno, que consiste na oxidação de metais tais como o ferro, desenvolve-se pela presença de água e oxigénio, podendo ser acelerado se existirem cloretos, originando a expansão do elemento metálico e conseqüente destruição dos materiais que o circundam, como por exemplo os rebocos, e ainda a redução das secções de metal devido ao facto de os óxidos metálicos formados virem do próprio material, provocando uma diminuição da sua resistência [Appleton, J.; 2003].



Figura 65 – Perfis metálico corroídos com redução da sua secção.



Figura 66 – Perfis metálicos corroídos com redução substancial de secção e rotura de ligações.



Figura 67 – Deterioração de parede devido à oxidação do elemento metálico.

4.7 – PATOLOGIAS NA COBERTURA

A estrutura da cobertura varia consoante a sua complexidade, estando sujeita a várias ações que podem originar patologias que comprometem o desempenho estrutural da mesma.

A inspeção à cobertura é essencial de modo a averiguar o estado em que se encontra, pois a sua estrutura geralmente está revestida sendo impossível efetuar uma inspeção visual correta de modo a avaliar os vários elementos que a constituem sem remover o revestimento.

Normalmente existem patologias associadas ao mau desempenho da estrutura da cobertura, por má conceção ou por alteração de estruturas originais, podendo ainda existirem infiltrações de águas que comprometam a madeira que a constitui. As zonas referentes aos elementos de zinco, tais como algerozes, caleiras, larós, rincões, e ainda as ligações entre as paredes de empena e beirados ou corta-fogos, ralos de proteção, entre outros, são pontos onde surgem usualmente patologias inerentes à infiltração de água, como ilustra a figura 69 referente a uma reparação de um algeroz. A figura 68 exemplifica uma infiltração numa cobertura com trapeira.

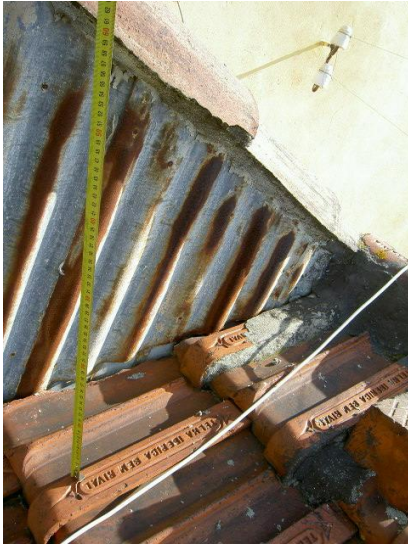


Figura 68 – Cobertura com infiltração junto a uma trapeira.



Figura 69 – Restauro de caleira e tubo de queda em zinco.

As patologias nas zonas referidas no parágrafo anterior, têm geralmente como origem o mau funcionamento de todos os elementos que constituem a estrutura, quer a estrutura principal, as asnas, quer todos os elementos que complementam esta estrutura principal, as varas, as ripas, os elementos de travamento das linhas e os elementos de ligação metálicos. Estes podem originar ainda fendilhação e deformações em elementos que ponham em causa o desempenho da cobertura, ou seja, a estanquidade da mesma.

Os danos provocados pelos sismos, nos elementos estruturais perpendiculares ao plano do movimento horizontal dos sismos, são mais graves consoante a distância ao solo. Quanto mais alto estiver o elemento estrutural maior será o

dano que pode sofrer, sendo por isso natural que a cobertura sofra danos aquando da ocorrência de sismos. Estes danos estão associados aos maiores deslocamentos para fora do plano, a que estes elementos estão sujeitos.

Por vezes, o mau funcionamento das asnas da cobertura pode provocar a separação entre estas e as paredes periféricas. Quando as ligações das asnas deixam de funcionar, nomeadamente as ligações entre as pernas e a linha, este elemento estrutural perde a sua função, sendo conseqüentemente encaminhadas forças horizontais das pernas, inicialmente suportadas pela linha, para as paredes provocando a sua separação [Appleton, J.; 2003].

Nas coberturas em telhado em que a telha não tem encaixe, pode ocorrer a abertura de juntas entre estas, conforme ilustra a figura 70, originando a diminuição da sobreposição das telhas e potencializando locais de infiltração de água da chuva batida pelo vento [Appleton, J.; 2003].



Figura 70 – Telhas desencaixadas com conseqüente infiltração de água devido a cedência da estrutura do telhado.

Outro aspeto relevante e a que normalmente não é dada a devida importância é a manutenção do sistema de escoamento das águas pluviais, nomeadamente algerozes, tubos de queda, principalmente os embutidos nas paredes, caleiras, entre outros, que devido a entupimentos por falta de manutenção provocam infiltrações que podem ser severas e colocar a estrutura em risco. A figura 71 exemplifica um edifício em que pelo interior era visível a presença de água na parede.



Figura 71 – Infiltração numa caleira obstruída de uma platibanda que originou uma infiltração para o interior do último piso do edifício em questão.

Nas coberturas onde existem trapeiras, mansardas, chaminés ou claraboias convém realçar a importância dos remates em toda a periferia destes locais, pois são potenciais locais de infiltrações que podem trazer patologias graves às estruturas de madeira. A figura 72 ilustra uma cobertura que foi sujeita a inspeção.



Figura 72 – Toda a cobertura deve ser alvo de inspeção detalhada de modo a averiguar futuras patologias.

4.8 – PATOLOGIAS NA CAIXA DE ESCADAS

Este elemento estrutural tem um papel importante no comportamento estrutural do edifício, pois tal como sucede nos edifícios contemporâneos em relação ao núcleo do elevador, a caixa de escadas representa este elemento em termos de rigidez na estrutura global do edifício. A figura 73 ilustra uma caixa de escadas de um edifício antigo.



Figura 73 – Estrutura da caixa de escada a servir de apoio às vigas de pavimento.

A estrutura é geralmente em madeira, sendo utilizada também como material de revestimento. No exterior são utilizados outros materiais, tais como a pedra ou o ferro.

A localização da caixa de escadas é muito importante, pois pode pôr em causa todo o comportamento estrutural do edifício se não funcionar devidamente. Por exemplo, na construção pombalina onde a localização das escadas se situa no centro do edifício, é importante que exista uma perfeita ligação entre esta estrutura, os vigamentos e as paredes, de modo a que toda a estrutura funcione de modo conveniente.

Particular destaque para a estrutura de suporte quer dos cobertores quer dos espelhos, pois qualquer subdimensionamento conduz à deformação da estrutura ou mesmo ao colapso de alguns degraus, como se verifica na figura 74.



Figura 74 – Estrutura de escadas danificada, com colapso de um espelho e um cobertor.

4.9 – PATOLOGIAS NOS REVESTIMENTOS

Nos edifícios revestidos a azulejo, é essencial averiguar o estado da camada de base que suporta os azulejos, pois existem casos de queda deste material pondo em perigo a população. Deste modo convém analisar qual o tipo de argamassa utilizada para garantir um perfeito equilíbrio na composição desta, nem muito forte, para que não exista muita retração, nem muito fraca, de modo a que a ligação entre a camada de suporte e o azulejo funcione corretamente.

Quanto a rebocos de paredes, importa realçar que a utilização de ligantes à base de cimento é desaconselhada, devido à retração inerente a este material, originando fendilhação. No caso da sua utilização convém reduzir ao máximo a sua proporção, de modo a minimizar este fenómeno.

Em contrapartida, quando temos rebocos fracos, normalmente utilizando ligantes de argamassa de cal, pode surgir desagregação, devido à água que resulta da humidade no interior das paredes e evapora tentando emergir à superfície das paredes, conforme se observa na figura 75. A escolha do acabamento final é por isso também fator de análise cuidada, procurando soluções permeáveis ao vapor de água de modo a não impedir a sua saída [Appleton, J.; 2003].



Figura 75 – Aplicação de pintura impermeável numa parede de alvenaria de pedra.

4.10 – PATOLOGIAS EM VÃOS EXTERIORES

O principal material utilizado nestes elementos em edifícios antigos é a madeira, sendo as patologias anexas a estes elementos as mesmas que já foram referidas para os pavimentos e paredes de madeira, adicionando o facto estes elementos estarem expostos no exterior, sujeitos a água frequentemente

e a variações de temperatura constantes. A figura 76 demonstra a falta de proteção da madeira da janela.



Figura 76 – Degradação dos caixilhos de madeira por falta de tratamento dos mesmos.

É por isso aconselhável que estes elementos sejam alvo de intervenções periódicas e com recurso a materiais criteriosamente escolhidos para o efeito.

Um dos aspetos que pode servir para estipular o período de intervenção nestes elementos é a sua exposição solar, verificando-se que os elementos expostos a Sul e Oeste têm um desgaste superior necessitando de intervenções mais frequentes [Appleton, J.; 2003].

Os vão exteriores são alvo de potenciais infiltrações, quer ao nível dos peitoris, quer ao nível do próprio caixilho com deficiente escoamento. Nas intervenções recentes existem casos em que se tapam os orifícios de escoamento dos caixilhos, conforme ilustra a figura 77, as juntas periféricas do caixilho e do próprio aro da janela.



Figura 77 – Infiltração de água para o interior da habitação por insuficiente escoamento de água do caixilho.

Em intervenções recentes é comum encontrar elementos que não condizem quer com as soluções originais quer com os padrões de exigência funcionais que os dias de hoje exigem, como por exemplo o isolamento acústico e térmico e da própria estanquidade a vento e chuva, como se pode verificar nas figuras 78 e 79.



Figura 78 – Novo vão de janela de madeira aplicado com “folga” acima do aceitável.



Figura 79 – Peitoril com comprimento insuficiente que deu origem a infiltrações de água.

4.11 – PATOLOGIAS NAS REDES DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO

Apesar de muitas das situações relativas a especialidades já terem sido descritas neste trabalho, importa realçar alguns aspetos de modo a que não sejam esquecidos, tais como o facto de que no sistema de drenagem de águas pluviais existirem casos de escoamentos para saguões, merecendo particular atenção estes pormenores de ligação ao mesmo assim como a garantia do seu correto funcionamento. O mau funcionamento destes sistemas pode levar a infiltrações graves, como o demonstrado na figura 80.



Figura 80 – Rede de saneamento de águas residuais para um saguão onde é visível o grés no chão partido, provocando infiltração no piso da cave do edifício.

No caso referido no parágrafo anterior relativo ao escoamento das águas pluviais nos saguões, deve ser garantido o perfeito funcionamento da rede de saneamento de águas pluviais enterradas até à rede pública, de modo a que

não exista roturas para o solo que possam provocar infiltrações em paredes enterradas, nomeadamente em caves, como o ilustrado na figura 81. Para este efeito podem-se efetuar inspeções vídeo em todo o troço de tubagem, detetando com este sistema, qualquer fissura nas tubagens e localizando exatamente o local e dimensão da mesma.



Figura 81 – Ralo de escoamento de águas pluviais enterrado no solo.

Em relação às redes de drenagem de águas domésticas, tais como em todas as outras instalações, importa realçar a sua avançada idade e, em muitos casos, a sua inexistência.

Existem também situações devido a entupimentos ou insuficiente dimensionamento das redes, originando refluxos dos efluentes nos aparelhos sanitários ou nos sifões. O caso não tem sido resolvido quando estes edifícios são alvo de intervenções recentes, devido à falta de espaço e sobretudo à falta de uma análise e de um levantamento geométrico rigorosos que possibilite a introdução de um traçado que garanta o bom funcionamento da rede de drenagem de águas residuais.

No que diz respeito às redes de abastecimento de água convém realçar o facto de existirem ainda instalações de rede predial em chumbo, existindo como é sabido o perigo de contaminação da água potável, assim como da falta de estanquidade, em geral nas ligações ou em perfurações acidentais [Appleton, J.; 2003]. A figura 82 ilustra uma rede de abastecimento de água antiga com alterações em possíveis intervenções recentes.

Em relação às instalações elétricas destaque para a incapacidade dos condutores e conseqüente sobrecarga das redes elétricas, podendo conduzir a curto-circuitos e posteriormente a incêndios.



Figura 82 – Rede de abastecimento de água antiga.

Quanto às redes de gás, a idade mantém-se como principal problema para o surgimento de patologias, assim como a incompatibilidade com as estruturas de madeira, devido ao facto de serem em chumbo. A rutura com fugas inerentes, ou redes desativadas mas em carga, representam um perigo em conjunto com redes elétricas sobrecarregadas e sem proteção [Appleton, J.; 2003].

5 – INTERVENÇÃO DE REFORÇO E REABILITAÇÃO

Importa em primeiro lugar realçar a questão da segurança, e geralmente na intervenção em edifícios antigos, nomeadamente nos casos de deterioração acentuada, o recurso a medidas de segurança é essencial, não só na obrigatoriedade de utilização de E.P.I. (equipamentos de proteção individuais) e de E.P.C. (equipamentos de proteção coletivos), mas também na utilização de medidas que previnam o desmoronamento de elementos estruturais aquando de visitas de inspeção, tais como escoramentos de paredes, pavimentos e coberturas, conforme ilustra a figura 83.

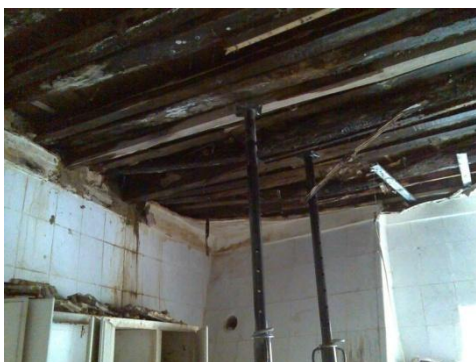


Figura 83 – Aplicação de extensores para escoramento de pavimento para posterior inspeção.

O conhecimento técnico sobre o comportamento das estruturas antigas no que diz respeito à ação dos sismos é menor comparativamente às estruturas construídas atualmente, com recurso a materiais como o aço e o betão.

Em termos de legislação técnica, não existe nada que imponha regras para o reforço sísmico da construção existente idêntico ao que está em vigor para a construção nova, sendo este um aspeto determinante na forma como se encara este fenómeno na reabilitação. Aliás, apesar de existir no EC8 – parte 3 “Avaliação e Reforço de Edifícios” uma parte que inclui esta matéria, também é referido no mesmo documento que é deixado ao cuidado das autoridades nacionais o modo de abordar esta matéria. No EC8, na parte 3, está implícita a possibilidade de, no caso de existir projeto, considerar uma ação sísmica de

menor intensidade, deixando deste modo um maior risco inerente ao modo de abordagem destes tipos de edifícios [Lopes, M.; 2008].

Convém também realçar que a prevenção pode muitas vezes evitar graves patologias, sendo sempre aconselhável que após a reabilitação de um edifício antigo deve-se elaborar um plano de manutenção do mesmo e disponibilizar o mesmo a quem habita ou habitará o edifício em questão, pois simples tarefas tais como a limpeza periódica de algerozes e tubos de queda podem evitar problemas graves ocorridos devido a uma simples obturação de um sistema de escoamento de águas pluviais.

Nunca é demais referir que sempre que possível deve ser elaborado um projeto antes da intervenção de reabilitação e/ou reforço da construção, apesar de muitas vezes, para além das razões económicas já referidas, ser difícil detetar as patologias ou mesmo o estado da estrutura sem antes intervir, removendo algum recobrimento que ponha a descoberto os elementos estruturais.

Como tal, e sempre que possível, ao recorrer ao projeto convém estar ciente que este poderá ser alvo de alterações, consoante o decorrer das obras. Neste aspeto, o acompanhamento do desenvolvimento da obra por um técnico qualificado é de extrema importância se surgirem situações problemáticas, como as descritas anteriormente, estas devem ser reportadas aos projetistas, nos casos em que exista projeto, ou analisadas pelo técnico responsável pela intervenção de modo a que a resolução dos problemas seja realizada com base não só no previsto no início da intervenção mas também após a análise cuidada de novos elementos que tenham surgido.

Após a análise do edifício, em que se identifica os danos e patologias descritos anteriormente, respeitando todas as etapas que esta fase implica, deverá ser efetuado um levantamento geométrico onde se caracteriza a construção a intervir, conforme o esquema ilustrado na figura 84.

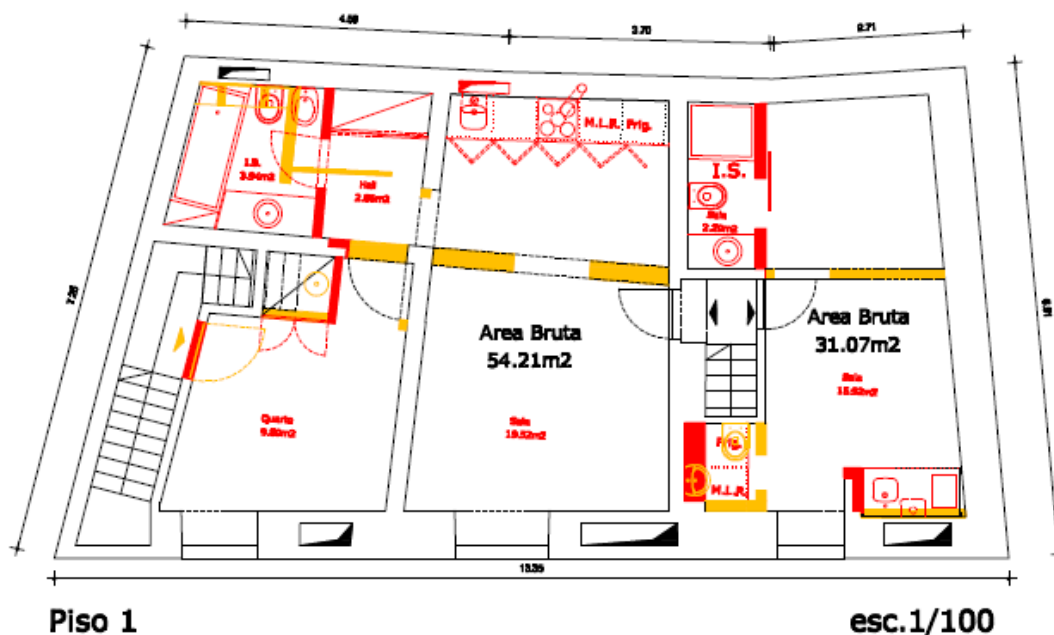


Figura 84 – Exemplo de levantamento geométrico de um edifício com as respetivas áreas e cotas, com propostas incorretas de demolição de paredes resistentes, representadas a amarelo.

Posteriormente, caracterizam-se todos os elementos construtivos identificando os seus materiais construtivos e também o seu processo construtivo, registando todos os dados e efetuando também o registo fotográfico.

Muitas das vezes, não existe informação disponível sobre a edificação a intervir, nomeadamente plantas e cortes. No entanto, mesmo no caso de tal informação exista, o levantamento geométrico deverá ser sempre realizado de modo a registar as alterações de que o edifício foi alvo.

Em alguns casos, poderá existir uma discrepância entre o projeto disponível e o que está edificado, quer devido a alterações na altura da execução da obra, quer devido à introdução posterior de novas geometrias na estrutura, tais como alterações de uso.

Em termos de análise estrutural, quando se conhecem os mecanismos de colapso, convém intervir nos mecanismos com maior probabilidade de ocorrerem, geralmente onde a ligação é mais fraca. Tornar estas ligações mais fortes é prioridade apenas até ao ponto onde se alcança a resistência do

próximo mecanismo de colapso, isto é, a probabilidade de outro mecanismo ocorrer. A partir desse ponto, por mais que se reforce o 1º ponto do mecanismo de colapso, devemos ter em atenção que ocorrerá o 2º mecanismo de colapso, devendo-se proceder ao reforço da resistência a esse mecanismo [Lopes, M.; 2008].

Deste modo, e particularmente em edifícios antigos, um destes mecanismos de colapso surge normalmente na ligação entre as fachadas e as paredes interiores de frontal, originando o destacamento das paredes exteriores da fachada para fora do plano da própria parede, conforme se pode observar nas figuras 85 e 86 [Lopes, M.; 2008].



Figura 85 – Deslocamento entre paredes convergentes.



Figura 86 – Fachada deslocada para o plano exterior.

No que diz respeito à solução, convém analisar muito bem qual o método a utilizar devido às consequências que poderão trazer em termos de resposta da

estrutura ao sismo. A solução mais conveniente para este tipo de mecanismo é intervir pontualmente em termos de ligações, de modo a garantir que a rigidez global não aumente, pois esse aumento provocaria aumentos quer nas forças de inércia horizontais quer nas frequências.

A escolha da solução para a intervenção de reforço ou reabilitação deve ser muito cuidada, evitando a substituição do tipo de material original, madeira, por outra solução mais pesada, como por exemplo lajes de betão. O aumento de peso traria o aumento das forças de inércia e consequentemente poderia causar problemas mais graves do que a falta de rigidez dos pavimentos de madeira. O contraventamento do pavimento é a melhor solução para este tipo de problema, através da aplicação de elementos em madeira ou metálicos.

Muitas vezes, mesmo sem recurso a projeto, é possível através da introdução de reforços na construção evitar o colapso de uma estrutura, sendo esse o objetivo principal deste trabalho. Um bom exemplo é o que sucedeu no Faial, nos Açores, após o sismo de 9 de Julho de 1998.



Figura 87 – Figura ilustrativa da diferença que pormenores de reforço estrutural podem fazer durante um sismo [Costa, A.; 2008].

As duas habitações da figura 87 estavam situadas uma ao lado da outra, sujeitas aos mesmos deslocamentos impostos pelo sismo, responderam de forma diferente ao sismo, devido ao facto de uma delas ter sido alvo de intervenções de reforço.

5.1 – REFORÇO DE FUNDAÇÕES

O reforço das fundações pode ser necessário de modo a garantir que os deslocamentos, quer verticais quer horizontais, provocados pelo sismo são controlados, pois criam tensões adicionais que podem comprometer o comportamento global da estrutura [Lopes, M.; 2008].

Existem vários aspetos a ter em consideração, tais como qual o tipo de solo e o estado das fundações, estando a solução dependente da análise destes fatores.

Para que se possa ter conhecimento do estado e da solução de fundação existente é necessário efetuar um trabalho intrusivo e muitas vezes dispendioso, com etapas que podem ser complexas e com necessidade de ensaios e identificação quer da solução de fundação quer da natureza dos solos. As várias fases podem incluir estudos sobre qual o tipo de solo existente na zona de implantação do edifício em causa, condições em que se encontra o solo, condições das fundações existentes e necessidades de reforço.

As várias fases anteriormente descritas podem consistir na execução de escavação com aberturas, junto às paredes principais onde estarão supostamente as fundações ou em paredes onde ocorram assentamentos, de poços com aproximadamente 1m², consoante a disponibilidade de espaço, ou valas, caso as fundações sejam corridas de modo a poder avaliar quer as fundações quer o solo [Appleton, J.; 2003].

No caso de intervenções de reabilitação e/ou reforço de edifícios antigos, existem várias técnicas que podem ser implementadas, conforme for o caso referido anteriormente.

O jet-grouting consiste numa ação de melhoramento das condições do solo, através da injeção de materiais que melhoram o comportamento do solo. Esta técnica deve ser muito bem analisada antes de ser implementada, pois pode levar ao surgimento de danos nas edificações vizinhas devido ao facto da aplicação ser executada com recurso a uma elevada pressão de ar no ato da injeção do material, podendo alterar o solo ou o estado do mesmo nas zonas anexas à estrutura a intervir [A.P.; 2012].

Outra solução consiste no aumento da capacidade resistente da fundação através da execução de estacas ou das mais correntes micro-estacas.

O recurso a empresas qualificadas com vasta experiência neste ramo é essencial, pois só assim se garante uma avaliação criteriosa quer do terreno quer das fundações, e principalmente se o estado atual em que se encontram justifica uma intervenção, sendo a viabilidade económica outro dos pontos a considerar.

Apenas foram enumerados alguns tipos de intervenção devido ao facto de que cada tipo de solução escolhida implicar alterações no que diz respeito à resposta da estrutura a essas intervenções. Este deverá ser um trabalho que requer uma avaliação cuidada de modo a compatibilizar o tipo de solução escolhida para a intervenção após a análise, o custo dessa intervenção e por fim a resposta da estrutura a essa intervenção, isto é, as consequências que trarão à estrutura e a necessária adaptabilidade que será necessária efetuar.

5.2 – REABILITAÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA

No que diz respeito às paredes de alvenaria de pedra, convém em primeiro lugar identificar os materiais que a constituem e o seu estado, através de uma pequena sondagem, de preferência a meio da parede longe dos vãos ou cantos [Appleton, J.; 2003].

Por vezes, o estado da parede, com desagregação de material, facilita a acessibilidade ao material constituinte, devendo-se posteriormente registar o tipo de material e suas características assim como o tipo de argamassa utilizada.

Caso existam patologias nas paredes, como ilustra a figura 88, deve-se aproveitar esses locais específicos para realizar as inspeções, evitando deste modo a degradação de outro local da parede que até pode estar em bom estado de conservação e avaliar diretamente a patologia e a sua origem [Appleton, J.; 2003].



Figura 88 – Fenda numa parede, onde se deve efetuar a sondagem.

As ligações entre paredes ortogonais devem ser averiguadas de modo a avaliar o seu estado e os pontos a intervir.

Uma das formas de garantir melhores comportamentos globais das estruturas é o reforço das paredes de alvenaria, através do aumento da sua resistência. Este processo pode ser efetuado através da aplicação de uma malha de aço inox distendido soldada embebida numa lâmina de betão, conforme se verifica na figura 89, podendo ainda aplicar-se conetores entre a malha e a parede de alvenaria, melhorando a ligação entre ambas as partes.



Figura 89 – Reforço de parede através da aplicação de uma armadura, com fixação através de conetores e posterior lâmina de betão.

Uma das soluções que melhor garante ligação entre os elementos estruturais, nomeadamente as paredes exteriores de empena e fachadas, é a aplicação de

tirantes ao nível dos pisos garantindo apoios ao longo do seu desenvolvimento em altura, efetuando deste modo a ligação entre paredes exteriores de alvenaria opostas e contribuindo deste modo para que as paredes funcionem em conjunto.

Este processo de reforço é sem dúvida um dos métodos que melhores resultados alcança em processos de reabilitação de edifícios antigos, quer em edifícios “gaioleiros” quer em edifícios pombalinos.

Existem soluções de tirantes passivos e ativos, sendo que nos tirantes passivos não existe nenhuma solicitação imposta aos mesmos, a não ser quando são impostos esforços horizontais não suportados pelos elementos estruturais principais. Nos tirantes ativos, pelo contrário, é imposto inicialmente um esticamento nos esticadores [Appleton, J.; 2003].

Em edifícios de maior importância arquitetónica, tais como as igrejas, a introdução de tirantes passa pela aplicação destes ao nível da cobertura, conforme ilustra a figura 90.



Figura 90 – Tirantes ao nível da cobertura reforçando a ligação entre paredes opostas.

Conforme já foi referido, as ligações entre os vários elementos construtivos é essencial para o desempenho global da estrutura, nomeadamente a ligação entre paredes e pavimentos. Para esse efeito, é possível utilizar cantoneiras metálicas ligadas a ambos os elementos, quer às paredes quer aos pavimentos, através da aplicação de uma base de apoio na fachada de forma a fixar uma cantoneira que servirá de ligação aos vigamentos de madeira, conforme ilustra a figura 91 e o esquema da figura 92.



Figura 91 – Regularização de apoio para vigamento de madeira de acordo com o esquema da figura 92.

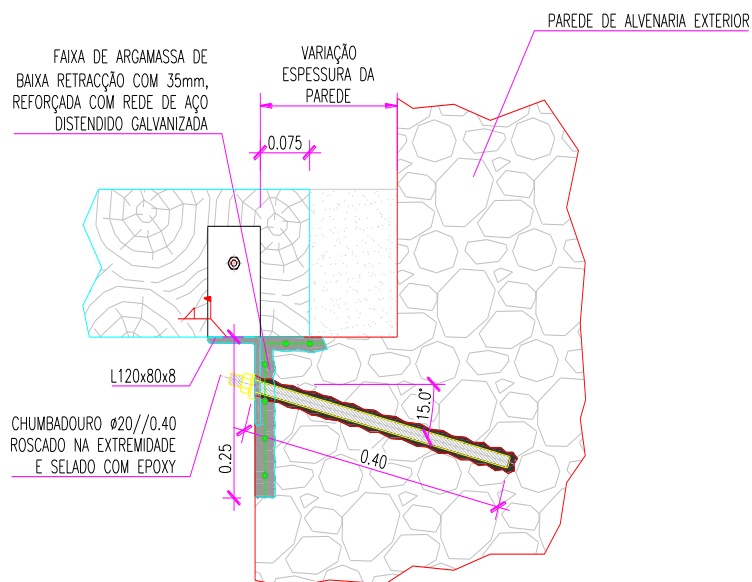


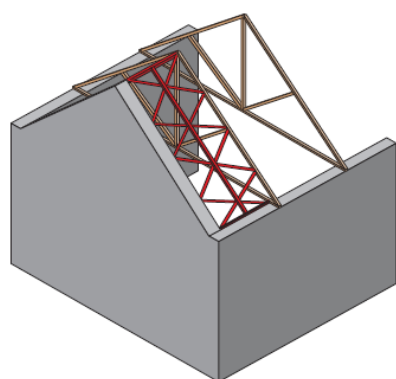
Figura 92 – Esquema exemplificativo de um reforço de parede de alvenaria de modo a receber novo vigamento.

Analisando a resposta de uma parede às solicitações que o sismo origina, pode-se verificar, devido ao movimento perpendicular ao plano das paredes que o sismo provoca, que as paredes apresentem um comportamento adverso, funcionando como uma consola. Ao efetuar-se ligações das paredes quer aos pisos quer à cobertura, a parede passa a funcionar como viga apoiada [Lopes, M.; 2008].

É por isso importante garantir boas ligações entre as paredes ao nível do topo, quer com os pisos quer com as coberturas, analisando sempre cada caso no sentido de avaliar a especificidade de cada estrutura global e as consequências que implicam. As figuras 93 e 94 exemplificam ligações entre paredes e cobertura.



Figura 93 – Ligação entre parede e cobertura através de elementos metálicos.



a) Perspectiva

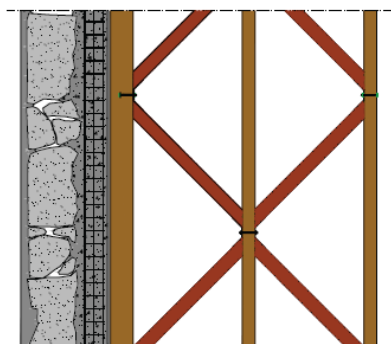


Figura 94 – Esquema indicativo de outro tipo de ligação entre cobertura e paredes, em perspectiva em cima e planta em baixo [Costa, A.; 2008].

Para melhor ligação entre as paredes periféricas do edifício, pode-se introduzir uma cantoneira em toda a envolvente, servindo também para apoio e ligação aos vigamentos que constituem o pavimento, conforme ilustram as figuras 95 e 96.



Figura 95 – Ligação de paredes periféricas através de cantoneiras [Costa, A.; 2008].



Figura 96 – Pormenor de ligação da cantoneira à parede envolvente [Costa, A.; 2008].

Consoante o tipo de parede e o estado da mesma, escolhe-se o tipo de solução a aplicar. Em paredes de alvenaria de pedra argamassada, deve-se em primeiro lugar limpar convenientemente as juntas de modo a remover detritos ou ligante existente degradado, utilizando nesse processo o jato de água com pressão. Sempre que necessário deve-se proceder à reposição dos vazios devido às pedras que se soltam, efetuando o encasque com recurso a pedra com dimensões idênticas às originais.

Posteriormente, e sempre com a superfície humedecida, aplica-se novo ligante, com argamassa de cimento ou argamassa com cal, controlando com essas soluções a retração. A figura 97 exemplifica um pormenor de reforço de uma parede de alvenaria de pedra com reforço através da aplicação de rede metálica.

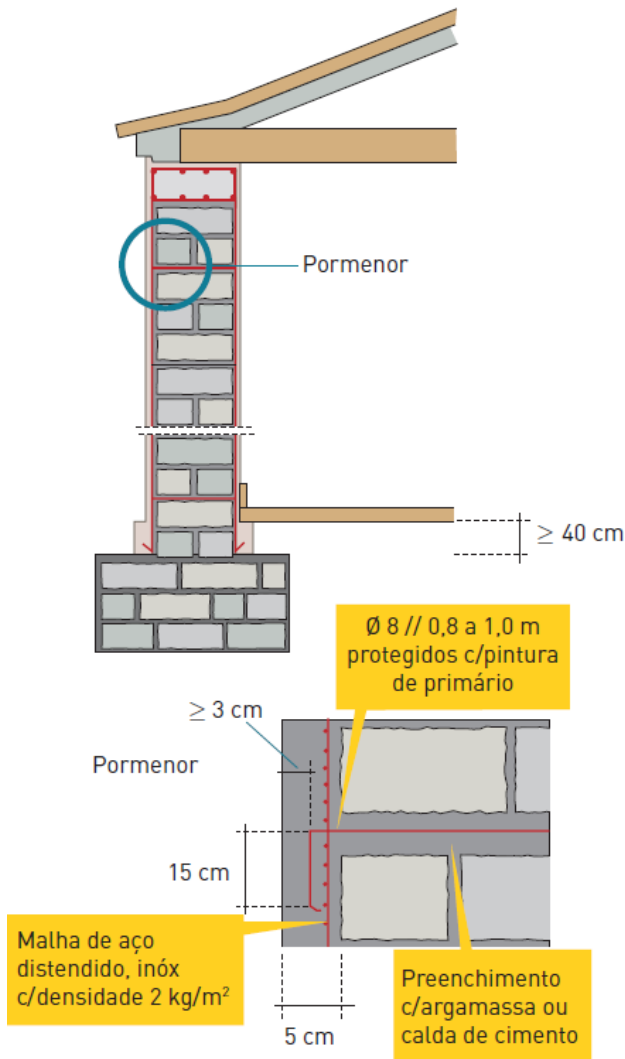


Figura 97 – Reforço de parede através de rede de aço inox distendido [Carvalho, E. *et al*; 2008].

O reforço ilustrado na figura 97 deve ser efetuado até pelo menos 40cm abaixo do nível do terreno, de preferência até às fundações das paredes e sempre que possível em ambas as faces das paredes, ou no caso de existirem dois paramentos a constituir a parede, no paramento exterior e interior se for possível [Carvalho, E. *et al*; 2008].

Quanto à rede a utilizar, sempre que possível deverá ser dimensionada, podendo utilizar-se como referência, para edifícios com uma altura não superior a dois pisos, uma malha metálica em aço com uma densidade de 2 Kg/m^2 de área de parede, isto se for possível aplicar em ambos os panos da parede, caso contrário, se só for possível utilizar numa das faces, a densidade deverá ser de 4 Kg/m^2 . Em termos de abertura da malha, esta pode ser de aproximadamente de 5 cm [Carvalho, E. *et al*; 2008].

No caso de a parede ser constituída por dois panos de alvenaria, devem ser aplicados varões metálicos que sirvam de ligação a ambos os panos, introduzidos perpendicularmente ao plano das paredes e ligados às redes metálicas aplicadas, da forma que a figura 98 demonstra.



Figura 98 – Reforço de ligação entre paredes através da aplicação de varões metálicos.

Os varões aplicados podem ser de 8 a 10 mm de diâmetro, podendo ser aplicados com distâncias entre eles, horizontal e vertical, de 0,70 m. Os varões devem ser protegidos contra a corrosão, metalizados através da aplicação de um primário. O reboco a aplicar sobre esta solução deve ter uma espessura mínima de 5 cm de modo a proteger o reforço metálico aplicado contra a corrosão. A sua aplicação deve ser efetuada em camadas de modo a prevenir a fissuração e garantindo uma boa compacidade e resistência do reboco [Carvalho, E. *et al*; 2008].

Na zona enterrada, o reboco deve ter uma espessura maior, devendo ser aplicada uma impregnação de uma emulsão betuminosa, de modo a proteger o reboco contra humidades.

Em muitos casos, em que temos paredes adjacentes a terrenos ou paredes enterradas, é importante garantir a drenagem correta das águas que existem junto a essas paredes, com a colocação de percursos alternativos para o encaminhamento dessas águas, utilizando para tal paredes falsas no interior junto à parede exterior que tem o terreno e, na sua base, soluções de drenagem das águas com o respetivo encaminhamento até a caixas domiciliárias existentes.

Sempre que possível, no topo das paredes, na zona de apoio da cobertura, deve-se efetuar uma viga de coroamento em betão armado ou em estrutura metálica, de modo a contribuir para uma melhor ligação entre todas as paredes. A figura 99 e 100 esquematizam tipos de ligações entre a cobertura e a parede.

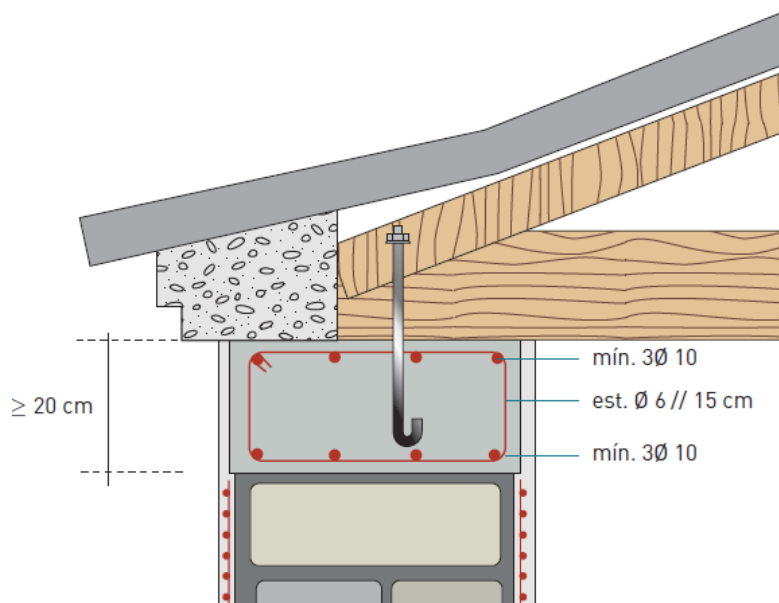


Figura 99 – Ligação entre uma asna de cobertura e as paredes de alvenaria [Carvalho, E. *et al*; 2008].

A espessura desta viga de coroamento deverá ser da espessura das paredes, mesmo que seja de dois panos, ligando-a posteriormente à estrutura da cobertura através de elementos de ligação metálicos [Carvalho, E. *et al*; 2008].

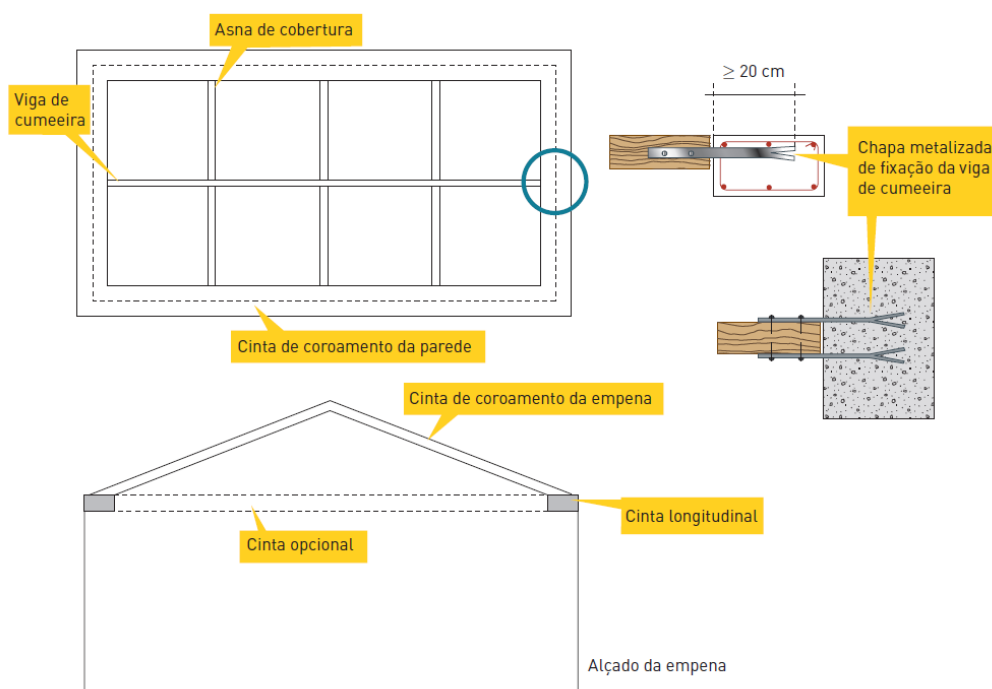


Figura 100 – Complemento de ligação entre a cobertura e a restante estrutura [Carvalho, E. *et al*; 2008].

Quanto à altura da viga, devemos dimensioná-la para a tipologia do edifício em questão, no entanto, e como referência, para edifícios de 2 pisos podemos ter uma viga com 20 cm de altura constituída por uma armadura longitudinal de 6 varões de 10 mm de diâmetro em aço A400, variando sempre o número dos varões com a largura da própria parede, e uma armadura transversal, estribos de 6 mm de diâmetro afastados a 15 cm [Carvalho, E. *et al*; 2008].

Convém realçar que sempre que se utilizam elementos metálicos, mesmo que não sejam utilizados para reforço de elementos que estejam diretamente em contacto com água ou humidade, deve-se proteger esses elementos contra a corrosão.

Se as paredes a reabilitar não estiverem em muito mau estado e for difícil executar ou aplicar a viga de coroamento no topo das paredes periféricas,

pode-se substituir esta solução pela aplicação de uma rede no exterior da parede sob a rede de reforço já aplicada para reforçar a parede no topo, conforme o esquema da figura 101, com uma altura mínima de 50 cm, duplicando deste modo nos topos das paredes a malha de rede [Carvalho, E. *et al*; 2008].

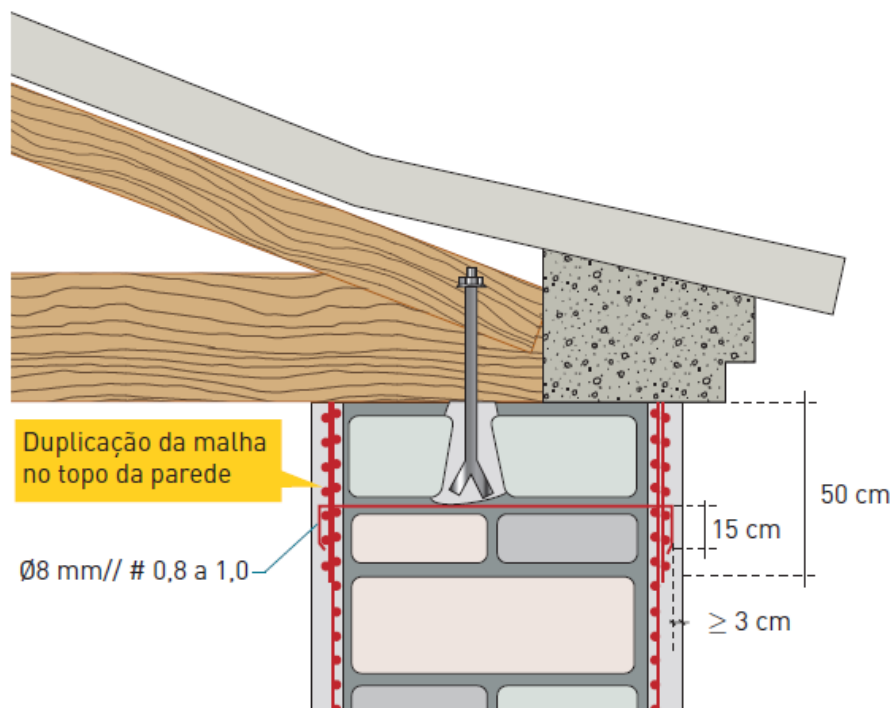


Figura 101 – Aplicação de malha de modo a reforçar a parede numa zona de ligação entre a cobertura e as paredes [Carvalho, E. *et al*; 2008].

As emendas, a ocorrerem, nunca devem ser efetuadas nos cantos dos edifícios, dobrando a malha nesses pontos, sendo a sobreposição, quando necessária a emenda, de pelo menos 15 cm [Carvalho, E. *et al*; 2008].

No caso de existirem paredes com deformações excessivas, ou em outros casos em que seja necessário reconstruir uma parede ou um troço de parede nova, deve-se construir uma base que de preferência se situe abaixo do pavimento anexo a essa parede a reconstruir, conforme se observa no esquema da figura 102. O topo da parede existente deve ser saneado, ou seja, limpo e criar uma superfície de aderência à viga a construir que servirá de base à nova parede [Carvalho, E. *et al*; 2008].

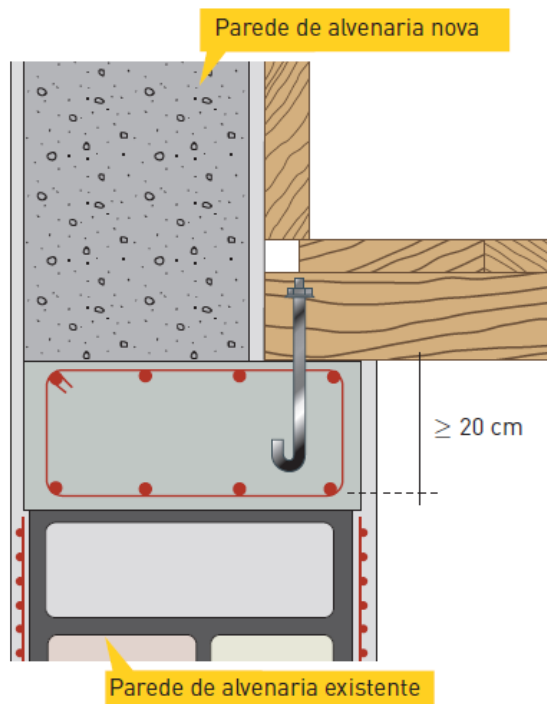


Figura 102 – Construção de nova parede com ligação à parede existente [Carvalho, E. *et al*; 2008].

Em edifícios com mais de 2 pisos ou com paredes de comprimento superior a 15 m, é recomendável a aplicação de tirantes em aço com diâmetro de 16 mm, aplicados na viga de coroamento periférica efetuado no topo, referida anteriormente, com um afastamento entre si aproximadamente de 5 m entre tirantes, conforme ilustra o esquema da figura 103 [Carvalho, E. *et al*; 2008].

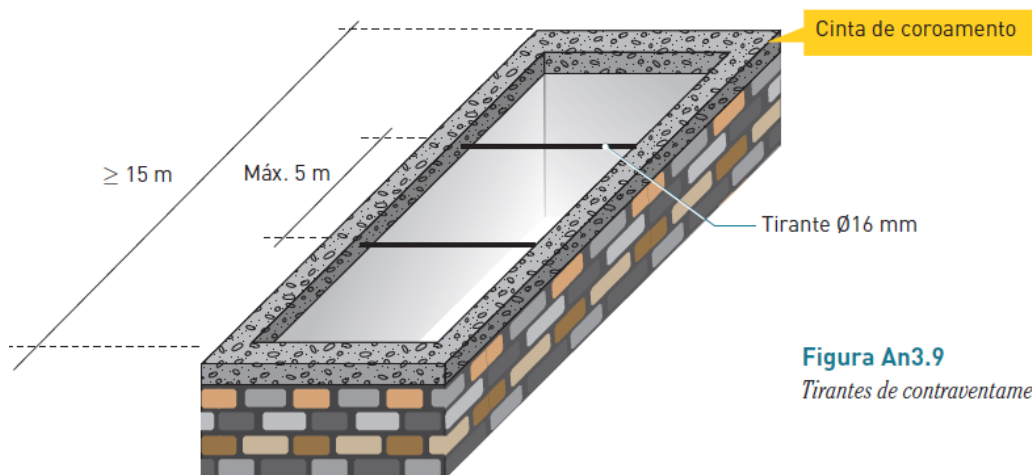


Figura An3.9
Tirantes de contraventamento

Figura 103 – Utilização de tirantes para melhor ligação entre as paredes ortogonais [Carvalho, E. *et al*; 2008].

Particular atenção deve-se ter com a ligação dos tirantes às paredes opostas do edifício, devendo a mesma ser efetuada com uma ancoragem dos tirantes ou à viga de coroamento, no caso de esta existir no topo do edifício, ou a uma base sólida criada no exterior, como por exemplo chapas metálicas, no caso de se efetuar ao nível dos pisos em edifícios com mais de 3 pisos. O esquema da figura 104 exemplifica um dos exemplos de ligação do tirante à parede [Carvalho, E. *et al*; 2008].

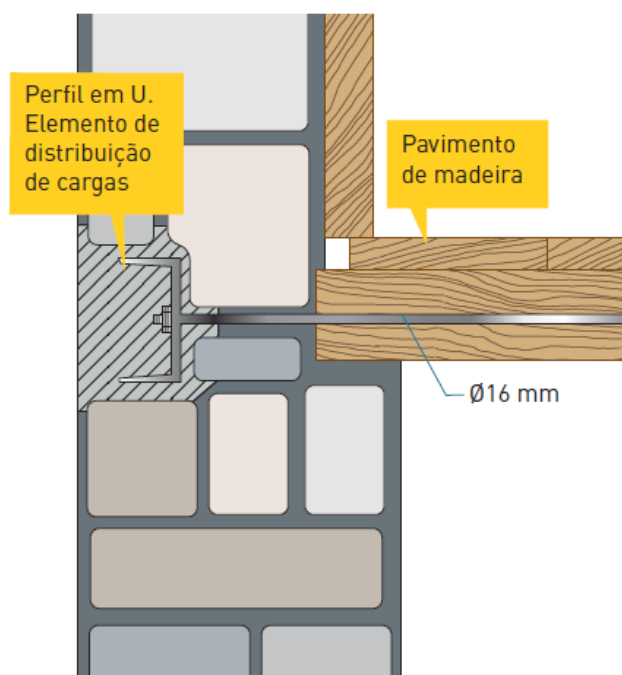


Figura 104 – Ligação entre tirante de pavimento e parede exterior [Carvalho, E. *et al*; 2008].

No caso de reparação de uma parede de alvenaria com fendas, para além do já referido anteriormente em relação à aplicação das malhas de aço inox, convém aplicar elementos metálicos de ligação, ou seja, grampos em aço entre ambas as partes da fenda, usualmente designados por “gatos”, conforme os que foram utilizados na parede representada na figura 105, de modo a garantir que a fenda não abra mais.



Figura 105 – Aplicação de “gatos” numa fenda.

As fendas devem ser posteriormente alvo de injeção de material de preenchimento compatível com o material existente da parede, de modo a garantir aderência entre as faces que estão separadas e aliviar um pouco as tensões nos “gatos”. O processo deve ser concluído com a aplicação de malha metálica com proteção anti-corrosiva, conforme referido anteriormente, e reboco com espessura suficiente de maneira a cobrir a malha e a proteger.

5.3 – REABILITAÇÃO DE PAREDES DE MADEIRA

Tal como as paredes de alvenaria de pedra, também as paredes de madeira, quer as de frontal pombalino quer as de tabique de prancha ao alto, devem ser alvo de inspeções de modo a avaliar o estado da madeira, secções utilizadas e tipos de ligações utilizadas, quer entre paredes quer nos elementos constituintes das próprias paredes.

A sua localização deve ser efetuada posteriormente no levantamento realizado, contendo já as suas características.

Nas paredes mistas, de alvenaria com elementos de madeira, o objetivo é aproveitar o que de melhor cada material tem, contribuindo desse modo para um melhor comportamento estrutural.

Em primeiro lugar convém restabelecer a ligação entre estas paredes e os pavimentos e cobertura, de modo a que todos funcionem devidamente. Várias técnicas já foram referidas, tais como a utilização de tirantes, elementos

metálicos de ligação entre os vigamentos de pavimento e as paredes de frontal pombalino (figura 106), entre outras.

No que diz respeito à própria parede, as ligações entre os elementos de madeira que a constituem são geralmente pregadas devendo existir encaixes e entalhes. Podem ainda ser utilizados elementos metálicos para reforço da estrutura da parede de gaiola pombalina [Appleton, J.; 2003].



Figura 106 – Reconstrução de parede de frontal pombalino.

Nos casos referidos onde exista degradação de elementos de madeira, a sua substituição pode ser efetuada com recurso a empalmes, isto é, substituição parcial da secção degradada e posterior reforço com elementos metálicos aparafusados aos elementos novos e existentes, ou ainda com a substituição total do elemento deteriorado, consoante for a avaliação do estado do elemento.

Um dado importante a reter no que diz respeito ao dimensionamento das peças de ligação metálicas e a todos os elementos de ligação referidos neste trabalho, é o facto de estes não deverem nunca ter resistência inferior à dos elementos que ligam.

Sempre que houver lugar a substituição de elementos de madeira, deve-se utilizar elementos de madeira antiga, de preferência de edifícios antigos demolidos, com as dimensões idênticas às existentes, de casquinha ou castanho. Outra solução pode ser o pinho marítimo, com existência abundante em Portugal, devidamente tratado com produtos preservadores anti-fungos e anti-caruncho e teor de água na ordem dos 12% [Appleton, J.; 2003].

A figura 107 ilustra vigamentos de madeira em fase de tratamento antes da sua aplicação.



Figura 107 – Elementos de madeira em fase de tratamento anti-fungos e anti-caruncho.

Não é de todo aconselhado, mas existem casos de paredes acabadas após a aplicação do preenchimento de alvenaria nas paredes de frontal pombalino. Este facto tem que ver com a falta de proteção das madeiras e da própria alvenaria e a sua exposição mecânica e a agentes agressivos. Um reboco devidamente aplicado com argamassas com controlo de retração, isto é, sem cimento como ligante ou com teor muito baixo deste ligante, e com rede de aço distendido pode precaver patologias, como o que a figura 108 ilustra.



Figura 108 – Aplicação de rede de capoeira, não é a mais indicada devido à deformação que apresenta.

5.4 – REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS

Nos elementos estruturais que compõem os pavimentos, nomeadamente as vigas de madeira, convém em primeira análise verificar a zona de entrega das mesmas nas paredes exteriores, ou seja, nos apoios, conforme já foi referido

nos capítulos 3 e 4, sendo esta uma das zonas onde decorrem uma grande parte das degradações mais severas das secções das vigas de madeira, normalmente associadas a infiltrações junto às paredes exteriores, como se pode observar na figura 109.



Figura 109 – Zona de entrega do pavimento degradada devido à cedência do frechal.

Posteriormente deve-se efetuar uma análise ao estado dos vigamentos, removendo tábuas do soalho de modo a ter acesso às vigas e ao seu estado de degradação, conforme ilustra a figura 110, verificando o estado da secção através da utilização de um objeto afiado, normalmente uma faca, que possibilite a tentativa de perfuração da secção do vigamento e assim constatar o estado do mesmo. Uma viga deteriorada facilmente será perfurada pelo objeto afiado, podendo estar parte da secção da viga deteriorada e outra parte sã, conforme ilustra a figura 111.



Figura 110 – Remoção do soalho de modo a inspecionar o estado do vigamento.



Figura 111 – Pavimento degradado na zona de entrega das vigas de madeira e em boas condições nas restantes secções.

Garantir um bom apoio, assim como uma boa ligação entre os pavimentos e as paredes de apoio aos mesmos é por isso essencial, e poderá ser realizado conforme exemplifica o esquema da figura 112. Mais uma vez se referencia as ligações entre os vários elementos estruturais, nomeadamente entre as paredes e os pavimentos, as paredes e as coberturas e entre as várias paredes constituintes do edifício.

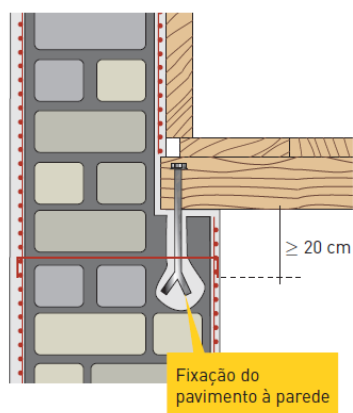


Figura 112 – Ligação entre pavimento de madeira e parede de alvenaria de pedra [Carvalho, E. *et al*; 2008].

Nos casos em que é necessário substituir vigamento de madeira, totalmente ou parcialmente, nas situações em que não seja possível efetuar um dimensionamento do mesmo, pode-se adotar como referência, a disposição das vigas com o afastamento entre si igual à largura das vigas existentes, por exemplo, em vigas com 0,20 m de largura, devemos adotar o afastamento de

0,20 m entre elas, correspondendo a 0,40 m de distância ao eixos, conforme ilustra o esquema da figura 113 [Appleton, J.; 2003].

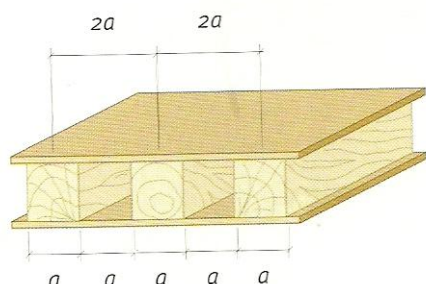


Figura 113 – Critério de afastamento entre vigas de madeira [Appleton, J.; 2003].

Deste modo é possível garantir, mesmo que se reduza a secção das vigas, um comportamento aceitável do pavimento.

Caso se adote por uma substituição parcial, o processo consiste na substituição das zonas degradadas por nova secção de madeira idêntica à existente, seca, reforçando posteriormente com elementos metálicos chumbados na parede, caso seja na zona de entrega da madeira, de preferência com elementos metálicos com a altura da viga de madeira e aparafusados ao troço existente e ao novo, conforme exemplifica a figura 114 para zonas de entrega nas paredes. Para o dimensionamento destes elementos metálicos devem ser tidos em conta os esforços de corte, flexão, compressão e tração [Appleton, J.; 2003].

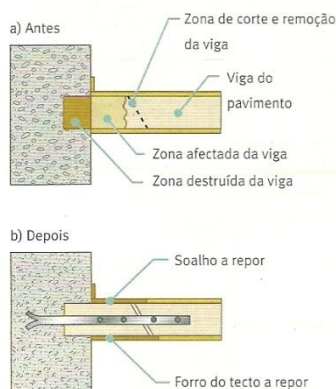


Figura 114 – Substituição de secção de madeira degradada com reforço através de elemento metálico na zona de entrega da viga na parede [Appleton, J.; 2003].

Antes da aplicação das novas vigas deve-se registar e conferir as dimensões das vigas, conforme ilustra a figura 115.



Figura 115 – Todas as vigas aplicadas devem ser conferidas e registadas.

Quanto aos vão a vencer pode-se adotar para vigas de altura igual ou inferior a 0,20 m, um vão não superior a 4 m [Appleton, J.; 2003].

Nos casos em que seja possível e necessário um melhor comportamento estrutural do pavimento, isto é, possível no sentido de existir pé direito disponível, e necessário no sentido de vencer vãos maiores, uma solução a aplicar são pavimentos de vãos múltiplos com vigas de madeira ou ferro, como se pode ver na figura 116.



Figura 116 – Pavimento de vão múltiplos com apoio no vigamento principal.

Esta solução consiste na sobreposição de alinhamento de vigas, transversais às vigas principais. A solução dos perfis metálicos surge mais tarde, no século

XIX, em substituição das vigas de madeira de apoio ao vigamento principal, reduzindo a secção das vigas [Appleton, J.; 2003].

Existem inúmeras soluções de ligação entre pavimentos e paredes. Neste trabalho as soluções adotadas têm em conta o reforço sísmico. Logo, a ligação entre pavimento e parede deve incluir chapas metálicas, aparafusadas ou pregadas às vigas de madeira e chumbadas nas paredes ou atravessando a parede do lado interior ao lado exterior, conforme ilustra a figura 104.

Nos casos em que o apoio do pavimento se efetue através de frechal, ou seja, apoio das vigas do pavimento numa viga de madeira embutida na parede, conforme se pode observar na figura 117, deve-se averiguar o estado em que se encontra o frechal, e depois, em caso de substituição do frechal, proceder à ligação conveniente deste à parede, através da colocação de elementos metálicos pregados ou aparafusados à madeira e ancorados à parede, conforme ilustra a figura 118.



Figura 117 – Vigas apoiadas em frechal.

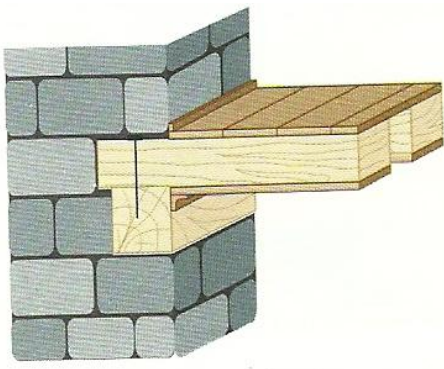


Figura 118 – Reparação de pavimento de vigas de madeira apoiadas em frechal [Appleton, J.; 2003].

Para reforçar a ligação entre as paredes e o pavimento, pode-se aplicar barras de ferro retangulares com espessura de 5 mm pregadas às vigas de madeira, na diagonal, e ancoradas à parede, conforme exemplifica a figura 119. Consoante o número de vigas a ligar entre si através desta ligação, assim será o comprimento da barra de ferro, sendo aconselhado comprimentos que liguem no mínimo 4 vigas de madeira. Particular atenção ao rebaixo a efetuar, devendo ser executado nas tábuas de solho e não nos vigamentos de modo a não reduzir a sua secção [Appleton, J.; 2003].



Figura 119 – Reforço de ligação entre paredes e pavimentos através de elementos metálicos [Appleton, J.; 2003].

No caso de necessidade de reforço pontual do vigamento de madeira, pode-se recorrer à colocação de chapas metálicas em ambas as faces da viga de madeira, conforme se pode ver no esquema da figura 120, com a altura destas, aparafusada à viga de modo a ligar ambas as chapas à viga de madeira.

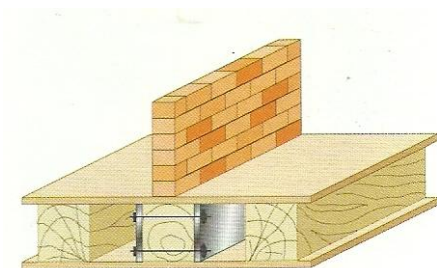


Figura 120 – Vigas de madeira reforçadas através da aplicação de elementos metálicos [Appleton, J.; 2003].

Outra solução de reforço pontual também já referida é a de injeção de resinas epoxídicas em zonas deterioradas das vigas de madeira, conforme ilustra o esquema da figura 121, garantindo sempre a compatibilidade entre os materiais e complementando com a aplicação de elementos metálicos [Appleton, J.; 2003].

O sistema de tirantes de pavimento, ilustrado na figura 104, é também uma forma de melhorar não só a ligação parede e pavimento mas também melhorar o comportamento do pavimento.

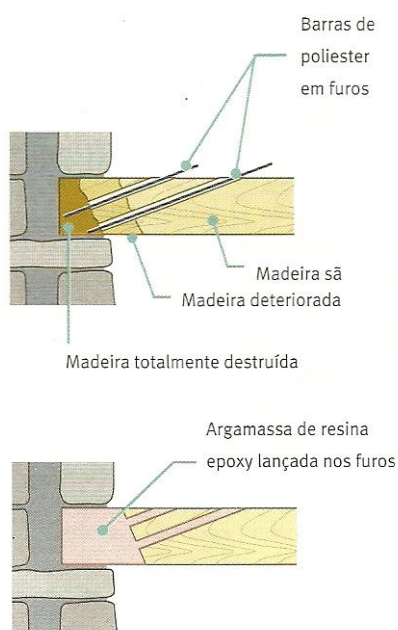


Figura 121 – Reconstituição de secção de madeira através da injeção de resina epoxy [Appleton, J.; 2003].

Para além da aplicação de tirantes deverá ser efetuado um contraventamento conveniente do pavimento, através da colocação de tarugos na direção perpendicular à direção dos vigamentos de madeira, impedindo deste modo a deformação do pavimento quer em termos de torção, encurvadura lateral ou deformação transversal, complementado com a aplicação de tirantes dispostos na mesma direção dos tarugos, sendo necessário garantir uma boa ligação

desta solução às paredes exteriores, conforme ilustra a figura 122 [Appleton, J.; 2003].



Figura 122 – Tarugamento de pavimento de madeira.

Nos casos em que os vãos a vencer são muito grandes e não se consiga vencer o mesmo com uma viga contínua apenas, deve-se dar especial atenção à ligação entre as vigas necessárias para vencer esses vãos, dimensionando as sobreposições consoante as cargas e as secções, de modo a que os esforços sejam transmitidos convenientemente nestas ligações, como se pode observar na figura 123. O recurso a elementos metálicos é aconselhado, através de chapas metálicas e parafusos ligados lateralmente.



Figura 123 – Ligação entre vigamentos de madeira com sobreposição lateral, efetuada através de parafusos e tarugamento.

Quanto aos pavimentos mistos de alvenaria e ferro, a principal patologia a reparar é a corrosão dos perfis metálicos, conforme ilustra a figura 124, sendo necessário analisar criteriosamente o estado destes.



Figura 124 – Perfil metálico completamente deteriorado. É notório a redução de secção, com banzos a desaparecer. Neste caso é necessário a substituição integral do perfil.

A proteção a aplicar nos novos perfis metálicos é essencial, de modo a prevenir o surgimento da oxidação. Nos casos de uma recuperação de elementos metálicos com pouca corrosão, o mesmo tratamento é necessário: remoção da superfície oxidada e aplicação de primário de proteção. Caso seja necessária um reforço de secção podem-se utilizar chapas metálicas de aço, aparafusadas e dimensionadas para manter a resistência da solução inicial, sendo aparafusada à alma e com um comprimento de sobreposição de pelo menos 0,20 m [Appleton, J.; 2003].

No que diz respeito aos pavimentos de alvenaria as patologias a corrigir são geralmente idênticas às das paredes de alvenaria, onde se destacam a fendilhação e a desagregação de material. Quanto à reparação o processo é idêntico ao das paredes sendo aconselhado o reforço com a introdução de tirantes para o reforço sísmico já referido.

5.5 – REABILITAÇÃO DE COBERTURAS

Nas coberturas devem existir as mesmas preocupações que existem nos pavimentos, isto é, garantir um correto contraventamento da estrutura que compõe a cobertura e uma boa ligação desta às paredes exteriores, conforme esquematiza a figura 99.

A análise da estrutura da cobertura deve ser efetuada também de acordo com o que foi referido em relação aos pavimentos, registando a sua composição, o estado das madeiras, secções e locais a intervir e o modo de intervenção.

Os aspetos relacionados com as ligações, tal como nos pavimentos, são de extrema importância, sendo necessário averiguar as zonas de entrega e o estado em que se encontram. A condição em que se encontram as asnas é também muito importante, de modo a garantir o seu correto funcionamento. A figura 125 demonstra um reforço efetuado através do recurso a elementos metálicos.



Figura 125 – Reforço de ligação entre a linha e a perna através de elementos metálicos.

Os elementos metálicos assumem neste capítulo um aspeto muito importante, assim como nos pavimentos. O recurso a estes elementos para reforço das ligações deve ser utilizado de modo a garantir a durabilidade destas ligações, conforme se observa na figura 126, não esquecendo a proteção destes elementos contra a corrosão.



Figura 126 – Reforços metálicos nas ligações entre os elementos das asnas.

As asnas e o seu correto funcionamento são essenciais para o desempenho da estrutura da cobertura, contribuindo também para o desempenho geral de toda a estrutura. A figura 127 exemplifica uma má intervenção na asna, com falta de simetria na estrutura da mesma ao nível das linhas.



Figura 127 – Falta de simetria na estrutura das asnas, nomeadamente nas pernas e deficiente ligação metálica do “pé de galinha”.

No que diz respeito ao revestimento exterior, é necessário garantir, em primeiro lugar a estanquidade da cobertura, colocando subtelha para que caso exista uma infiltração pontual nas telhas, exista outro elemento que continua a garantir a estanquidade e encaminhe as águas para o devido escoamento, conforme ilustra a figura 128.



Figura 128 – Aplicação de subtelha de modo a proteger eventuais infiltrações.

O reforço através de tirantes já referido nos pavimentos é também uma boa opção no que diz respeito às coberturas, impedindo no ponto mais alto do edifício os deslocamentos horizontais das fachadas para fora do plano na direção do exterior, conforme se pode observar na figura129.

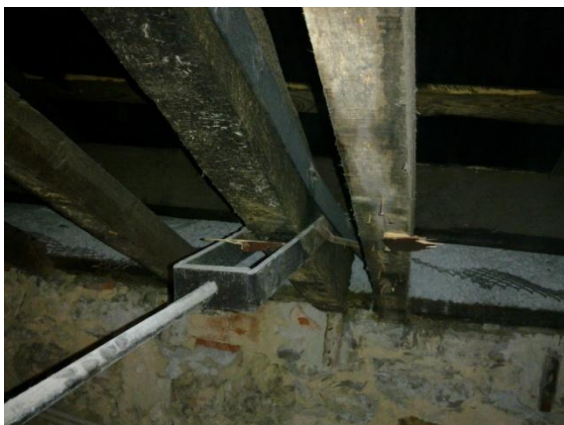


Figura 129 – Tirantes de reforço na cobertura.

O modo de fixação das telhas também é de extrema importância, de modo a que estas não se movam com o vento e garantam estanquidade. Por exemplo, a telha de marselha devido à sua configuração permite a sua amarração através de arames nas ripas de suporte das telhas [Appleton, J.; 2003].

Importa ainda referir os casos de edifícios cujo escoamento das águas pluviais na cobertura são efetuados através de algerozes com os respetivos tubos de queda embutidos nas paredes. Sempre que possível deve-se proceder à

anulação desta solução de modo a precaver possíveis infiltrações nestes tubos, que originam infiltrações dentro das habitações. O tubo deve ser exterior, passando dos algerozes para o exterior através da platibanda, conforme indica a figura 130.



Figura 130 – Tubo de queda de algeroz para o exterior do edifício.

Destaque também para todos os pontos singulares na cobertura passíveis de infiltrações, tais como remates da telha na cobertura na zona do corta-fogo, chaminés, platibandas, ou seja, todos os pontos que mesmo nos edifícios contemporâneos requerem especial atenção na garantia da sua estanquidade, sendo necessário efetuar inspeções rigorosas conforme se observa na figura 131.



Figura 131 – Todos os pormenores referentes ao acabamento da cobertura são de extrema importância, evitando deste modo possíveis infiltrações.

5.6 – REABILITAÇÃO DA CAIXA DE ESCADAS

Conforme foi referido no capítulo 3, as caixas de escadas são elementos de extrema importância no que diz respeito ao comportamento estrutural do edifício, contribuindo para aumentar a rigidez da mesma e consequentemente alvo de cuidados no que à sua localização diz respeito, devido aos deslocamentos quer de translação quer de rotação que o sismo provoca nos elementos mais rígidos da estrutura.

Todos os pormenores referidos na reabilitação de pavimentos e da cobertura, nomeadamente no que diz respeito às ligações entre os elementos devem ser igualmente reforçados de modo a que se garanta que os esforços sejam transmitidos convenientemente entre os vários elementos.

Nas estruturas dos edifícios pré-pombalinos, onde as escadas são de um tiro e localizadas junto a uma das paredes da empena, deve-se dar particular atenção às paredes da empena e à zona da cobertura, mais especificamente ao remate das paredes corta-fogo com as telhas no telhado [Appleton, J.; 2003].

O dimensionamento correto das vigas de suporte da estrutura deve ter particular atenção, pois pode existir muitas vezes colapso da estrutura devido ao subdimensionamento destas vigas ou à fraca ligação entre estas e os elementos constituintes dos pavimentos e paredes.

5.7 – REABILITAÇÃO DE REVESTIMENTOS

Os revestimentos têm um papel importante na proteção do edifício, contribuindo para a garantia das condições de estanquidade dos elementos estruturais e para o correto funcionamento dos elementos exteriores no que diz respeito à humidade nos ciclos Verão e Inverno.

Nos edifícios com revestimentos exterior a azulejo, a camada base de suporte ao material de acabamento é extremamente importante, sendo necessário garantir uma argamassa que não apresente retração e possibilite a perfeita ligação entre a camada de suporte e o revestimento aplicado.

Desse modo, a utilização de ligantes à base de cimentos não deve ser aconselhada, pois implícita elevada retração.

O revestimento final das paredes sem revestimento cerâmico tem também um papel importante, na medida em que deve garantir a permeabilidade ao vapor de água e conseqüentemente evitar concentrações de humidade excessiva nas paredes.

5.8 – REABILITAÇÃO DE VÃOS EXTERIORES

A mão-de-obra qualificada é neste domínio de especial relevo, não só pelo conhecimento necessário das soluções originais, mas também pela adoção de novas técnicas compatíveis com as soluções originais de modo a que se obtenha um produto final que cumpra os requisitos técnicos a que se propõe.

É essencial que se resolvam as patologias referidas anteriormente, tais como a correção das infiltrações, o correto funcionamento dos sistemas de drenagem da caixilharia, a resolução da condensação interior, entre outros, combinando técnicas e materiais antigos e contemporâneos que melhor resolvam os aspetos referidos.

A proteção das madeiras deve ser estudada criteriosamente de modo a prever todo o tipo de ataque a que a madeira exposta está sujeita, disponibilizando-se depois um plano de manutenção que garanta a durabilidade dos vãos.

Pormenor a que se deve dar especial atenção é à ligação entre os caixilhos e a pedra do vão, ou outro material utilizado no vão, devendo o material que faz a ligação entre estes garantir perfeita compatibilidade entre todos os materiais de modo a garantir o perfeito funcionamento do sistema.

No que diz respeito às cantarias, estas devem ser aplicadas com recurso a elementos metálicos, embutidos nas paredes de alvenaria e chumbados nas cantarias através de chumbo ou ainda em alguns casos enxofre derretido em cavidades efetuadas nas cantarias de pedra de modo a reforçar a ligação da argamassa de cal, como originalmente se efetuava [Appleton, J.; 2003].

5.9 – INTERVENÇÃO NAS REDES DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO

No que diz respeito às redes das instalações técnicas, geralmente a solução passa pela implantação de novas redes, garantindo sempre compatibilidade entre os novos materiais e a estrutura existente, de modo a impedir situações

como a incompatibilização entre o grés e a madeira, no que diz respeito à ductilidade.

Importa também realçar os aspetos que dizem respeito à capacidade de introduzir traçados, principalmente na rede de drenagem de águas residuais, compatíveis com a estrutura existente, de modo a que se cumpram pendentes e se evite obturações.

A capacidade de não danificar a estrutura também é fator importante, pois muitas das vezes verifica-se o vazamento de secções de madeira para atravessamento de tubagem.

No que diz respeito às redes de abastecimento de água, construídas inicialmente em chumbo e depois em ferro, têm necessariamente que ser substituídas, por materiais que poderão ser o PVC ou polietilenos, homologados e compatíveis com este tipo de edifícios.

A rede elétrica necessita também na maioria das intervenções de novas instalações, pois a exigência em termos regulamentares e em termos de utilização, com novos equipamentos, é mais rigorosa hoje em dia, mesmo com edificações antigas. A segurança com estas instalações não deve ser descurada, pois o risco inerente já referenciado relativamente ao incêndio está presente.

Relativamente às redes de gás, é usual no presente substituir-se o equipamento a gás por equipamento elétrico, nomeadamente o fogão e o esquentador.

Nos casos em que se mantenha o abastecimento a gás, as exigências com a rede é também regulamentada e de mais fácil implementação devido ao facto de abastecer, geralmente, apenas os dois pontos anteriormente referidos.

5.10 – SISTEMAS DE PROTEÇÃO SÍSMICA

Convém também estar ciente que, é impossível garantir estruturas totalmente resistentes à ação do sismo.

A atual regulamentação portuguesa [RSA, 1983] exige que a estrutura de um edifício mantenha o seu equilíbrio durante um sismo com a probabilidade de

ocorrência de 5% em 50 anos. Com isso, pretende-se garantir com recurso a diversos pormenores construtivos aplicados nos locais corretos, um melhoramento no desempenho estrutural destas edificações, quer nos edifícios que ainda não foram alvo de intervenções quer nos que foram alvo de intervenções inadequadas.

Uma das técnicas que muitas vezes é equacionada na conceção de estruturas novas é exploração da ductilidade destas, consoante claro está, os seus materiais e a sua própria execução.

Muitas vezes, e devido ao facto de que sempre que se explora a capacidade dúctil de uma estrutura ocorrerem danos estruturais na mesma, não podemos tirar proveito desta capacidade dúctil em determinados edifícios, nomeadamente em edifícios de grande importância, tais como edifícios com exploração médica, e outros cuja operacionalidade seja importante depois de um sismo. No caso da reabilitação de edifícios também temos que ter em conta que muitas vezes as estruturas não foram dimensionadas com recurso à exploração desta capacidade, e nesses casos pouco ou nada há a fazer, pois com a introdução esporádica e pontual da capacidade dúctil nos locais de intervenção podemos comprometer o comportamento global da estrutura, no que diz respeito a esta capacidade.

Existem outros processos alternativos e que têm sido alvo de estudos por parte de investigadores, no sentido de se evitar os danos nas estruturas que a exploração da capacidade dúctil provoca, ou seja, sistemas de proteção sísmica introduzidos nas estruturas de modo a melhorar o seu comportamento sísmico mas que não explorem a capacidade dúctil das estruturas, isto é, a capacidade de deformação destas com consequente implicação nos edifícios de danos estruturais implícitos à exploração dessa capacidade de deformação.

Entre os sistemas de proteção sísmica, podemos destacar os sistemas de proteção ativa, semi-ativa e passiva [Guerreiro, L.; 2008].

Dos sistemas de proteção passiva, existem por exemplo, os isolamentos da base, que consistem na utilização de sistemas de ligação rígidos entre a estrutura e o exterior apenas na direção vertical, aplicando sistemas

deformáveis que permitem liberdade na direção horizontal. Neste tipo de solução, devido ao facto de se diminuir a rigidez na ligação entre a estrutura e o solo de modo a minimizar os esforços na estrutura, é necessário ter em conta o aparecimento de maiores deslocamentos horizontais, sendo por isso necessário garantir que estes não estão impedidos [Guerreiro, L.; 2008].

No entanto, neste tipo de solução são necessárias aplicações nas bases, porém a sua utilização em edifícios inseridos em quarteirões sem um espaçamento entre edifício adjacentes não é possível, pois estes não se podem mover no plano horizontal devido à restrição que os edifícios contíguos lhes provocam.

Como exemplos de sistemas de isolamento da base indicam-se a borracha de alto amortecimento (HDRB), a borracha com núcleo de chumbo (LRB) e o apoio pendular com atrito (SP).

Este tipo de solução pode ser utilizado em intervenções de reabilitação de edifícios antigos, consoante as condicionantes já referidas, tal como o tipo de fundações existentes e a necessária liberdade de movimento relativamente a edifícios próximos [Guerreiro, L.; 2008].

Para além dos sistemas de isolamento de base existem também sistemas de dissipação de energia. Existem mais soluções de sistemas de proteção sísmica, não só passiva, que se destacam por não necessitarem de energia externa para operar, mas também sistemas de proteção ativa e semi-ativa.

No que diz respeito aos sistemas de proteção ativa e semi-ativa, existe a necessidade de os monitorizar permanentemente, através de controladores, sensores, atuadores e processadores em tempo real, assumindo sempre que necessário a aplicação de forças que melhorem o comportamento dos sistemas [Oliveira, C. *et al*; 2008].

Os sistemas ativos necessitam geralmente de grandes quantidades de energia para funcionar, sendo sistemas dispendiosos quer na implementação quer na manutenção, acumulando ainda a particularidade de serem mecanismos com um volume considerável. [Oliveira, C. *et al*; 2008].

Os sistemas semi-ativos, apesar de também necessitarem de permanente monitorização, requerem menos energia de consumo e quando existe uma falha de energia, os componentes passivos destes sistemas garantem alguma proteção às estruturas. A área necessária para a sua instalação é menor que a necessária para os sistemas ativos. [Oliveira, C. *et al*; 2008].

Neste trabalho apenas se enumeram alguns destes sistemas, de modo a manter a simplicidade que se pretende na consulta deste documento, mas realçando sempre que necessário soluções que visam a melhoria da aplicabilidade da engenharia sísmica.

5.11 – MELHORIA NAS CONDIÇÕES GERAIS DOS EDIFÍCIOS ANTIGOS

Um dos aspetos mais relevante e necessário melhorar nos edifícios antigos é a sua resistência ao fogo. Este aspeto, frisado por alto em alguns capítulos, tem uma importância elevada, pois os incêndios deflagram muitas vezes após a ocorrência de sismos, devendo ter particular relevância aquando das intervenções efetuadas.

É por isso importante melhorar, em termos de resistência ao fogo, as classes das madeiras utilizadas nos diversos elementos das estruturas de modo a garantir uma melhor resposta dos edifícios a este fenómeno. Particular importância deverá se dar também a aspetos construtivos que possam melhorar a resistência ao fogo do edifício, sendo exemplo disso as empenas com paredes corta-fogo na zona da cobertura.

Os elementos metálicos utilizados no reforço estrutural também deverão ter proteção contra ao fogo, com aplicação, a título de exemplo, de pinturas intumescentes.

As melhorias em termos de conforto das habitações devem ter também particular atenção, de modo a que os requisitos de habitabilidade das edificações antigas não difiram muito das construções novas, quer em termos térmicos quer em termos acústicos. Em termos térmicos convém explorar as características intrínsecas das construções antigas, tais como a elevada inércia térmica das largas paredes de alvenaria. A melhoria em termos acústicos

convém incidir nos sons de percussão e nos sons aéreos. Os primeiros melhorando a solução dos pavimentos e os segundos principalmente nas soluções das paredes divisórias. Os vãos exteriores devem ser alvo de particular atenção nestes aspetos, procurando utilizar soluções que juntem bons resultados nas várias vertentes frisadas.

Outro fator muito importante é a estanquidade dos edifícios, fenómeno discutido neste trabalho e sem dúvida muito importante na garantia do bom funcionamento estrutural, como se constatou nos diversos capítulos.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi efetuada uma descrição dos edifícios antigos, nos quais se destacam os pombalinos e os “gaioleiros”, realçados os aspetos que devem ser alvo de uma análise mais pormenorizada, assim como patologias que podem levar ao surgimento de graves problemas estruturais neste tipo de edifícios.

Muitas das reabilitações efetuadas nos edifícios antigos consistem apenas na intervenção ao nível da arquitetura, negligenciando a parte estrutural, devido aos custos adicionais que acarreta em projetos e reforços necessários ou puro desconhecimento dos problemas que daí poderão advir.

A maioria dos elementos estruturais necessita de uma avaliação do seu estado, podendo com recurso a pormenores de reforço das ligações entre os vários elementos constituintes da estrutura, não só minimizar as consequências que um sismo poderá provocar nos edifícios, mas também contribuir para melhorar o comportamento estrutural destas edificações.

Este trabalho pretende ser utilizado como um guia prático na área da reabilitação urbana, nomeadamente da zona baixa de Lisboa, procurando ser acessível não só para estudantes de arquitetura e engenharia, engenheiros, arquitetos e empreiteiros, mas também a donos de obra e outros intervenientes da área, sensibilizando-os para que melhor compreendam o fenómeno do sismo e principalmente as consequências que este pode provocar nos edifícios antigos, principalmente nos que necessitam de intervenções urgentes ou nos que foram alvo de intervenções recentes mas sem qualquer tipo de planeamento ou análise cuidada da estrutura existente.

Pretende-se que este trabalho seja alvo de atualizações sempre que novas soluções surjam ou que se justifique alterar ou retificar processos referidos, contribuindo deste modo para a busca da melhoria contínua nos processos de reabilitação de edifícios antigos e para o desenvolvimento da própria economia nacional, redirecionando o mercado da construção civil para o setor da reabilitação do edificado existente, aplicando deste modo princípios de sustentabilidade no setor imobiliário.

Este trabalho pretende também contribuir para a uma melhoria da resposta das estruturas antigas à ação do sismo, tendo noção que em geral poderá ser economicamente inviável garantir a satisfação de exigências idênticas às que se aplicam a construções novas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [A.P.; 2012] Anuário do Património 2012 – Boas Práticas de Conservação e Restauro - GECORPA, Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitetónico, Editado por: Canto Redondo, 2012;
- [Appleton, J.; 2003] Appleton, João – Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e Tecnologias de Intervenção – 1ª Edição, Edições Orion, Setembro 2003;
- [Appleton, J.; 2008] Appleton, João; Capítulo 9 Tipificação do parque construído – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;
- [Azevedo, J.; 2008] Azevedo, João; Capítulo 4 Caracterização da ação sísmica – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;
- [Baptista, M. *et al*; 2010] Baptista, M.A.; Miranda, J.M.; Omira, R. – Vulnerability of Lisbon Downton to Big Tsunamis – Sísmica 2010, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2010;
- [Bento, R.; 2008] Bento, Rita; Capítulo 6 Análise sísmica de estruturas – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;
- [Branco, J.; 2007] Branco, J. da Paz - Obras de Madeira em Tosco e Limpo na Construção Civil – 3ª Edição, Edições Gustave Eiffel, Maio 2007;
- [Carvalho, E. *et al*; 2008] Carvalho, Eduardo Cansado; Oliveira, Carlos Sousa; Fragoso, Mário Rouxinol; Miranda, Vidália; Anexo 3 Regras gerais de reabilitação e reconstrução de edifícios correntes afetados pela crise sísmica do Faial, Pico e S. Jorge iniciada pelo sismo de 9 de Julho de 1998 – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;
- [Cóias e Silva, V.; Soares, I.; 1997] Cóias e Silva, V.; Soares, I. – Vulnerabilidade Sísmica dos Edifícios “Gaioleiros” de Lisboa e Medidas possíveis para a reduzir – 3º. Encontro Sobre Sismologia e Engenharia

Sísmica. SPES, Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica, Lisboa, Dezembro de 1997;

[Cóias, V.; 2006] Cóias, Vítor – Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios – IST Press, 2006;

[Costa, A.; 2008] Costa, Aníbal; Capítulo 11 Reparação e reforço das construções – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;

[Costa, A.; Oliveira, C.; 2010] Costa, Aníbal; Oliveira, Carlos Sousa – Reabilitação e Reforço Sísmico de Construções Antigas – Sísmica 2010, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2010;

[Delgado, R.; Lopes, M.; 2008] Delgado, Raimundo; Lopes, Mário; Capítulo 1 Breve referência à história da engenharia sísmica – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;

[Fonseca, J.; 2008] Fonseca, João Duarte; Capítulo 2 Os sismos – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;

[Fonseca, J.; 2010] Fonseca, João F. B. D. – Zonamento Sísmico de Portugal Continental e Aplicação do EC8 – Uma Perspetiva Crítica – Sísmica 2010, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2010;

[Guerreiro, L.; 2008] Guerreiro, Luís; Capítulo 8 Novas técnicas de proteção sísmica – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;

[Kováts, D.; 2010] Kováts, Dezso – New Geomechanical Model Ainding Earthquake Predictions – Sísmica 2010, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2010;

[Lopes, M.; 2008] Lopes, Mário – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;

[Lopes, M.; 2010] Lopes, Mário – Construção Pombalina: Património Histórico e Estrutura Sismo-Resistente – Sísmica 2010, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2010;

- [Lopes, M.; 2007] Lopes, Miguel – Tipificação de Soluções de Reabilitação de Estruturas de Madeira em Coberturas de Edifícios Antigos – Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007;
- [Mascarenhas, J.; 2009] Mascarenhas, Jorge – Sistemas de Construção V- Edifício de Rendimento da Baixa Pombalina de Lisboa: Processo evolutivo dos edifícios, Inovações técnicas, Sistemas construtivo, Materiais Básicos (3.^a parte): o vidro, 3.^a Edição, Edição Livros Horizontes, Janeiro 2009;
- [Mateus, L. *et al*; 2010] Mateus, Luís; Henrique, J. Pina; Córias, Vítor – Soluções tecnológicas na Reabilitação e Reforço Estrutural de Um Edifício na Baixa Pombalina de Lisboa – Sísmica 2010, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2010;
- [Meireles, H.; Rita, B.; 2010] Meireles, Helena; Bento, Rita – Comportamento Cíclico de Paredes de Frontal Pombalino – Sísmica 2010, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2010;
- [Meireles, H. *et al*; 2012] Meireles, Helena; Bento, Rita; Cattari, Serena; Lagomarsino, Sergio – A hysteretic model for “frontal” walls in Pombalino buildings – Bull Earthquake Eng., Springer, June 2012;
- [Mira, D.; 2007] Mira, Diana – Análise do Sistema Construtivo Pombalino e Recuperação de um Edifício – Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Novembro 2007;
- [Monteiro, M.; Lopes, M.; 2008] Monteiro, Mafalda, Lopes, Mário; Capítulo 10 Intervenções negativas e erros de execução – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;
- [Neves, S.; 2008] Neves, Sílvia – Análise Sísmica de um Edifício da Baixa Pombalina – Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Junho de 2008;
- [Oliveira, C.; 2008] Oliveira, Carlos Sousa; Capítulo 3 Efeitos naturais, impacte e mitigação – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;

- [Oliveira, C.; 2012] Oliveira, Carlos Sousa – Interpretation of The 1755 Lisbon Earthquake, Based on The Historical Observations of Different Physical Phenomenon – Março 2012;
- [Oliveira, C. *et al*; 2008] Oliveira, Cristina Ferreira; Bairrão, Rogério; Barros, Rui Carneiro; Guerreiro, Luís – The New Generation Of Seismic Semi-Active and Active Protection Systems – Fourth European Conference of Structural Control (ECSC 2008), St. Petersburg, September 8-12, 2008;
- [Pena, A.; 2008] Pena, André – Análise do Comportamento Sísmico de um Edifício Pombalino – Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Outubro de 2008;
- [Pereira, A.; 2005] Pereira, A.S. – The Economic Impacto of The Lisbon 1755 Earthquake – consultado em Maio, 2012 <http://www.york.ac.uk/res/cherry/docs/Alvaro3.pdf>, 2005;
- [Proença, J.; 2008] Proença, Jorge Miguel; Capítulo 7 Análise experimental do comportamento sísmico das estruturas – Sismos e Edifícios – Coordenador: Mário Lopes, 1ª Edição, Edições Orion, Julho 2008;
- [Qaiser, K.; Muhammad, H.; 2010] Qaiser, Khan; Muhammad, Hanif – Causes of Failures of Buildings in October 08, 2005 Earthquake and Their Remedies – Sísmica 2010, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2010;
- [Rosa, A.; 2008] Rosa, André – Caracterização do Comportamento das Ligações Coladas em Estruturas de Madeira – Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Setembro 2008;
- [Soares, M.; 2008] Soares, Maria – Uma Metodologia para Reabilitação de Edifícios Pombalinos: O caso da Rua Vítor Cordon, nº 11 – Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Novembro 2008;

[SPES, Gecorpa; 2001] Comissão Organizadora: Ravara, Artur; Oliveira, Carlos Sousa; Carvalho, Eduardo Cansado; Lopes, Mário Santos; Costa, Paula Teves; Delgado, Raimundo; Bairrão, Rogério; Cóias e Silva, Vitor – Redução da Vulnerabilidade Sísmica do Edificado – Editado por: Sociedade Portuguesa Engenharia Sísmica, Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitetónico, Abril de 2001;