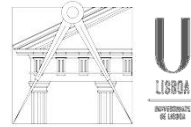


FACULDADE DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDADE DE LISBOA



CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS ARQUEADAS

PROPOSTA METODOLÓGICA DE INTERVENÇÃO

ANDREIA JACINTO TOMÁS

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura

Júri

Orientador: Professor Doutor José Aguiar Portela da Costa

Presidente: Professor Doutor Fernando Pinheiro

Arguente: Professor Doutor Paulo Almeida

Lisboa, Novembro de 2014

*À minha mãe e ao Gonçalo por todo o amor,
a ti mano pelo exemplo de rectidão e liberdade com que me
presenteias todos os dias,
à tia Zézinha pela infinita generosidade e alegria inspiradora.*

AGRADECIMENTOS

Muitas foram as pessoas que contribuíram directa ou indirectamente para a realização do presente trabalho. Sabendo que a menção será sempre ingrata dada a impossibilidade de referir todos os que generosamente me concederam o seu apoio e incentivo, a cada um sem excepção gostaria de agradecer.

Ao Professor José Aguiar, meu orientador, pelo acompanhamento e disponibilidade. A vivacidade e o pragmatismo com que nos ensina a olhar o mundo e a “*construir com o construído*”, as suas injeções de paixão pelo património, pela poesia da pedra e da cal e pelo saber fazer antigo, reforçaram mais uma vez a certeza da minha predilecção pela área da reabilitação e por todas as matérias que lhe estão associadas. Pelo brilho nos olhos, e pela instilação viva de uma curiosidade sempre maior, o meu obrigado.

Ao Professor Francisco Virtuoso, pelos preciosos ensinamentos e conselhos com que sempre me entusiasmou ao longo destes onze anos. Pelo amor à ciência e às artes que me transmitiu e que foi parte da minha formação como profissional e como pessoa. Por me mostrar que, na engenharia tal como na vida, problemas que à partida parecem complicados e de difícil resolução, afinal podem ser simples e belos. Pelo seu incessante apoio, paciência e acima de tudo pela amizade inestimável, o meu profundo agradecimento

Ao Engenheiro Thomaz Ripper, por me ter aberto as portas da *família LEB* e da paixão pela reabilitação. Nunca será demais realçar todo o incentivo e amizade que me prestou ao longo destes cinco anos de labuta intensa e de esforço recompensado. Sem ele, a aventura da Arquitectura e do realizar de um sonho de criança nunca teria sido possível.

Ao João Ferreira, ao Pedro Marques e ao Alain Baptista, pelo bom ambiente, pela vossa constante disponibilidade para a partilha de conhecimento e por toda a bibliografia e documentação disponibilizada no âmbito da realização deste trabalho.

Aos meus amigos e família, especialmente às primas Ana e Teresa por todos os anos de vida e de crescimento, à tia Zézinha pela infinita generosidade, às avós por cuidarem de mim, mesmo quando não estou, à Catarina, Rute, Joqui, Edu, Saras, e ao casal Afonso e Mary por estarem sempre lá.

À minha mãe e irmão, por todo o amor e paciência, por me apoiarem incondicionalmente em todas as decisões que tomei, pelo que me oferecem dia a dia e que é sempre tanto, tanto... Ao meu pai, por ser a estrelinha que nos guia e protege a todos, por tudo o que recebi e recebo e que não caberia nestas páginas...

Finalmente ao Gonçalo pelo estímulo constante, pelas infinitas noitadas de maquetes e de dactilografia, por todas as horas e dias que nos roubei, pelo o amor e compreensão, por tudo e um pouco mais.

Permitindo uma grande variedade formal, as estruturas arqueadas de alvenaria estabeleceram-se como elementos fundamentais da arquitectura desde o início da história do homem. Acompanhando os desenvolvimentos sociais, artísticos e tecnológicos que marcaram cada época, estão intrinsecamente ligadas às culturas que lhes deram origem, materializando o conhecimento, a linguagem, as práticas vitais e as tradições que fizeram parte da sua existência.

Dada a sua importância na composição das construções antigas, a preservação de arcos, abóbadas e cúpulas constitui-se como uma área essencial na reabilitação do património edificado existente, verificando-se cada vez mais a necessidade da sua compreensão.

Sem prejuízo das recomendações e princípios éticos vigentes, o presente trabalho tem como principais objectivos a compilação do conhecimento disponível para o estabelecimento de metodologias que permitam uma melhor compreensão e avaliação das características construtivas, estruturais e patológicas deste tipo de estruturas, bem como a constituição de uma base de apoio à definição de estratégias preliminares e soluções de intervenção apropriadas à sua conservação e reabilitação.

Neste âmbito, partindo do enquadramento teórico e doutrinário relativo à ética da conservação e reabilitação patrimonial começam por se estabelecer os critérios gerais, princípios e as bases metodológicas de intervenção.

No que se refere especificamente às estruturas arqueadas e na sequência da sua contextualização histórica, é aprofundado o estudo dos materiais e sistemas construtivos tradicionais que lhes deram origem. Como complemento, são apresentadas as bases da mecânica do comportamento estrutural deste tipo de construções, dando-se particular ênfase à recuperação de antigos métodos de análise e de dimensionamento particularmente adequados para a sua avaliação.

Devidas a causas naturais ou acção humana e relacionadas com as características das alvenarias de que são compostas, as construções arqueadas sofrem de patologias construtivas e estruturais específicas, as quais são apresentadas numa perspectiva pedagógica e sistemática. Definidas em função dos possíveis graus de actuação e das estratégias a adoptar, são especificadas para cada caso as principais soluções de conservação e reabilitação, tendo sempre como objectivos a intervenção mínima e a reversibilidade máxima das acções.

A dissertação termina com a apresentação de três estudos de caso que dão corpo à aplicabilidade da informação e metodologias apresentadas ao longo do trabalho.

Palavras-chave: Arco, Abóbada, Alvenaria, Patologia, Conservação, Reabilitação.

ABSTRACT

Allowing a vast formal diversity, the arched masonry structures have established themselves as essential architecture elements since the very beginning of human history. Following the social, artistic and technological developments that marked each epoch are intrinsically linked to the cultures which were in their origin, embodying the knowledge, language, vital practices and traditions that were part of their existence.

Due to its importance in ancient buildings composition, the conservation of arches, vaults and domes as established as an essential area in heritage rehabilitation, requiring an increasing understand.

Not discarding the recommendations and the prevailing ethical principles, the main objectives of this study are the establishment of methodologies that allow a better understanding and evaluation of the structural, constructive and pathological features of these structures, and the establishment of a support guideline for the definition of preliminary intervention strategies and solutions, suitable for their preservation and rehabilitation.

In this context, based on the theoretical and doctrinal contextualization on the conservation and rehabilitation ethics, are established the criteria, principles and methodological bases of intervention.

Specifically regarding the arched structures and following a historical introduction, is performed the study of its materials and traditional construction systems. As a complement, the structural mechanics and behavior concerning this type of constructions are also presented, in a simple and intuitive way, with particular emphasis to the recovery of old methods of analysis and design, even today suitable for their evaluation.

Due to natural causes or human action, related with the characteristics of masonry, the fundamental constructive and structural pathologies regarding arched structures are exposed, in a systematic and pedagogical perspective. Function of the possible levels of action and adopted strategies, always with the goals of applying the minimal intervention and achieving the maximum reversibility are specified for each case the main conservation and rehabilitation solutions.

The dissertation ends with the presentation of three case studies that consolidate the applicability of the information and methodologies presented throughout the work.

Keywords: Arch, Vault, Masonry, Pathology, Conservation, Rehabilitation.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 TEMA E ENQUADRAMENTO	1
1.2 MOTIVAÇÕES E OBJECTIVOS	3
1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO.....	6
CAPÍTULO 2 CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO. ENQUADRAMENTO TEÓRICO E DOCTRINÁRIO.....	9
2.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO	9
2.2 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DAS TEORIAS DA CONSERVAÇÃO	9
2.2.1 PONTO DE PARTIDA.....	9
2.2.2 REVOLUÇÃO FRANCESA E INDUSTRIAL. AS BASES DO RESTAURO MODERNO.....	11
2.2.3 RESTAURO ESTILÍSTICO “VERSUS” CONSERVAÇÃO ESTRITA	13
2.2.4 RESTAURO ARQUEOLÓGICO	15
2.2.5 DO RESTAURO HISTÓRICO, AO RESTAURO CIENTÍFICO E CARTA DE ATENAS.....	15
2.2.6 O RESTAURO CRÍTICO DE CESARE BRANDI	19
2.3 CARTAS, NORMAS E RECOMENDAÇÕES	20
2.3.1 ORGANISMOS REPRESENTATIVOS E DOCUMENTOS RELEVANTES	20
2.3.2 CARTA DE VENEZA (1964).....	22
2.3.3 CARTA DE WASHINGTON (1987)	23
2.3.4 DOCUMENTO DE NARA SOBRE A AUTENTICIDADE (1994).....	24
2.3.5 CARTA DE CRACÓVIA (2000).....	26
2.3.6 RECOMENDAÇÕES DO ISCARSAH/ICOMOS (2003)	28
2.3.7 PRINCÍPIOS DE LA VALETTA (2011)	30
2.3.8 EVOLUÇÃO DOCTRINÁRIA. SÍNTESE CONCLUSIVA.....	31
2.4 PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO OBJECTO A PROTEGER.....	33
2.4.1 EDIFÍCIOS ANTIGOS: MEMÓRIA HISTÓRICA SEDIMENTADA	33
2.4.2 A IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA	35
2.4.3 DIMENSÕES E VALORES FUNDAMENTAIS A SALVAGUARDAR.....	37
2.4.4 UMA QUESTÃO DE AUTENTICIDADE	38
2.5 A ACÇÃO DE CONSERVAR E REABILITAR. PRESENTE E FUTURO.	41
2.5.1 QUESTÕES DE TERMINOLOGIA	41
2.5.2 OBJECTIVOS FUNDAMENTAIS DO ACTO DE REABILITAR.....	42
2.5.3 CRITÉRIOS E PRINCÍPIOS DE ACTUAÇÃO	43
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO. DA INVESTIGAÇÃO AO PROJECTO E EXECUÇÃO	47
3.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO	47
3.2 PLANO METODOLÓGICO.....	48
3.2.1 FASE DE INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DE DIAGNÓSTICO	48

3.2.1.1 INVESTIGAÇÃO E RECOLHA DE INFORMAÇÃO	49
3.2.1.2 MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL	52
3.2.1.3 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA, DIAGNÓSTICO E RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO.....	53
3.2.2 FASE DE PROJECTO.....	56
3.2.3 FASE DE EXECUÇÃO.....	58
3.3 A IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO E RECOLHA DE INFORMAÇÃO: TÉCNICAS DE INSPECÇÃO, LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL.....	60
3.3.1 NOTA PRÉVIA	60
3.3.2 INSPECÇÕES.....	61
3.3.3 ENSAIOS E TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL.....	66
CAPÍTULO 4 ARCOS, ABÓBADAS E CÚPULAS. CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICA E CONSTRUTIVA.....	71
4.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO	71
4.2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA.....	72
4.2.1 DA MESOPOTÂMIA À ANTIGUIDADE CLÁSSICA E ROMANIZAÇÃO	72
4.2.2 A CONSTRUÇÃO MEDIEVAL	75
4.2.3 DO RENASCIMENTO À ÉPOCA MODERNA	77
4.3 DA MATÉRIA-PRIMA À TECNOLOGIA CONSTRUTIVA	80
4.3.1 MATERIAIS	80
4.3.1.1 ALVENARIA.....	80
4.3.1.2 PEDRA.....	81
4.3.1.3 ADOBE E TIJOLO CERÂMICO	82
4.3.1.4 ARGAMASSAS	84
4.3.2 PROCESSOS CONSTRUTIVOS.....	87
4.3.2.1 ARCOS E ABÓBADAS DE PEDRA MACIÇOS: TRADIÇÃO CANTEIRA	89
4.3.2.2 ABÓBADAS E CÚPULAS CERÂMICAS ALIGEIRADAS: TRADIÇÃO ROMANA E RENASCENTISTA.....	91
4.3.2.3 ABÓBADAS CERÂMICAS BIZANTINAS.....	93
4.3.2.4 ABÓBADAS TABICADAS E ABOBADILHAS CERÂMICAS: HERANÇA DO SUL ISLÂMICO.....	93
4.3.2.5 PAVIMENTOS.....	95
CAPÍTULO 5 MECÂNICA ESTRUTURAL. A ACTUALIDADE DO SABER ANTIGO.....	97
5.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO	97
5.2 FUNCIONAMENTO DAS ESTRUTURAS ARQUEADAS.....	98
5.2.1 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO MATERIAL ALVENARIA	98
5.2.2 GEOMETRIA DE EQUILÍBRIO E LINHAS DE PRESSÕES NO ARCO.....	100
5.2.3 RESPOSTA A PEQUENOS DESLOCAMENTOS E MECANISMOS DE COLAPSO.....	101
5.2.4 O CASO DAS ABOBADAS E CÚPULAS	102
5.3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL.....	104
5.3.1 NOTA PRÉVIA.....	104
5.3.2 MÉTODOS GRÁFICOS E ANALÍTICOS	104
5.3.3 MÉTODOS COMPUTACIONAIS.....	112
CAPÍTULO 6 PATOLOGIA ESTRUTURAL E CONSTRUTIVA FUNDAMENTAL.....	113

6.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO	113
6.2 PRINCIPAIS CAUSAS DAS ANOMALIAS E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO	114
6.2.1 NOTA PRÉVIA	114
6.2.2 O CASO PARTICULAR DA ÁGUA	115
6.2.3 CAUSAS DECORRENTES ACÇÃO DO HOMEM	116
6.2.3.1 FASE DE CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO	116
6.2.3.2 FASE DE UTILIZAÇÃO	116
6.2.3.3 DESASTRES DEVIDOS A CAUSAS HUMANAS	117
6.2.4 CAUSAS DECORRENTES DE ACÇÕES NATURAIS	118
6.2.4.1 ACÇÕES FÍSICAS	118
6.2.4.2 ACÇÕES QUÍMICAS	120
6.2.4.3 ACÇÕES BIOLÓGICAS	123
6.2.4.4 DESASTRES NATURAIS	123
6.3 MANIFESTAÇÃO E NATUREZA DOS PRINCIPAIS TIPOS DE ANOMALIAS	124
6.3.1 ANOMALIAS ESTRUTURAIS	124
6.3.1.1 DEFORMAÇÃO EXCESSIVA	124
6.3.1.2 FENDILHAÇÃO	126
6.3.1.3 ROTURA	127
6.3.1.4 DETERIORAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES COM PERDA DE RESISTÊNCIA ACENTUADA	128
6.3.2 ANOMALIAS NÃO ESTRUTURAIS EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO OU PEDRA	128
6.3.2.1 ALTERAÇÕES DA SUPERFÍCIE	129
6.3.2.2 DESINTEGRAÇÃO DO MATERIAL	131
6.3.2.3 BIODETERIORAÇÃO	133
6.3.2.4 FENDILHAÇÃO OU ROTURA	134
6.3.2.5 DANO MECÂNICO	134
6.3.3 ANOMALIAS NÃO ESTRUTURAIS EM REVESTIMENTOS E ACABAMENTOS	135
6.3.3.1 ALTERAÇÕES DA SUPERFÍCIE	135
6.3.3.2 DESINTEGRAÇÃO DO MATERIAL	136
6.3.3.3 BIODETRIOAÇÃO	138
6.3.3.4 FENDILHAÇÃO	138
6.3.3.5 DANO MECÂNICO	140
CAPÍTULO 7 PRINCIPAIS SOLUÇÕES DE INTERVENÇÃO	141
7.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO	141
7.2 ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO	142
7.2.1 SOLUÇÕES GERAIS DE INTERVENÇÃO EM ARCOS, ABOBADAS E CÚPULAS	142
7.2.2 SISTEMATIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO	145
7.3 TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E CONSERVAÇÃO NÃO ESTRUTURAL	147
7.3.1 ELIMINAÇÃO DA CAUSA DAS ANOMALIAS	147
7.3.1.1 ALTERAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CARGA	148
7.3.1.2 ALTERAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE APOIO	149
7.3.1.3 HUMIDADES E PRESENÇA DE ÁGUA	150

7.3.2 TÉCNICAS DE LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES.....	154
7.3.2.1 LIMPEZA GERAL DE SUPERFÍCIES	155
7.3.2.2 LIMPEZA DE EFLORESCÊNCIAS	158
7.3.2.3 LIMPEZA DE COLONIZAÇÕES BIOLÓGICAS OU VEGETAÇÃO PARASITA	159
7.3.3 REPARAÇÃO NÃO ESTRUTURAL EM ELEMENTOS DE ALVENARIA	160
7.3.3.1 TRATAMENTO DE JUNTAS.....	160
7.3.4 TRATAMENTO DE REVESTIMENTOS	160
7.3.4.1 COLMATAÇÃO DE FISSURAS E FENDAS	160
7.3.4.2 COLMATAÇÃO DE LACUNAS LOCALIZADAS	161
7.3.4.3 CONSOLIDAÇÃO	161
7.3.4.4 RESTITUIÇÃO DA ADERÊNCIA	163
7.3.4.5 SUBSTITUIÇÃO PARCIAL OU TOTAL DE REVESTIMENTOS.....	164
7.3.5 PROTECÇÃO DAS ESTRUTURAS CONTRA AGENTES AGRESSIVOS	167
7.3.5.1 CONSERVAÇÃO DE REVESTIMENTOS EXISTENTES.....	167
7.3.5.2 HIDROFUGAÇÃO.....	167
7.3.5.3 PINTURAS PROTECTORAS	168
7.4 TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E CONSERVAÇÃO ESTRUTURAL.....	169
7.4.1 REPARAÇÃO ESTRUTURAL EM ELEMENTOS DE ALVENARIA	169
7.4.1.1 TRATAMENTO DE FENDAS E FRACTURAS	169
7.4.1.2 COLMATAÇÃO DE LACUNAS.....	174
7.4.1.3 SUBSTITUIÇÃO DE ELEMENTOS DEFEITUOSOS.....	176
7.4.2 CONSOLIDAÇÃO ESTRUTURAL EM ELEMENTOS DE ALVENARIA	177
7.4.2.1 IMPREGNAÇÃO DE CONSOLIDANTES EM ELEMENTOS DE PEDRA.....	177
7.4.2.2 INJECCÃO DE CALDAS LIGANTES EM ELEMENTOS DE ALVENARIA	186
7.4.3 TÉCNICAS DE REFORÇO ESTRUTURAL.....	188
7.4.3.1 REBOCOS ARMADOS	188
7.4.3.2 AUMENTO DA SECÇÃO POR ENCAMISAMENTO.....	189
7.4.3.3 REFORÇO COM ADIÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS	190
7.4.3.4 REFORÇO COM ADIÇÃO DE ELEMENTOS NÃO METÁLICOS.....	196
7.4.3.5 REFORÇO COM CONTRAFORTES DE ALVENARIA	198
7.4.3.6 ALTERAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS	198
7.4.4 REPARAÇÃO, CONSOLIDAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL DE FUNDAÇÕES.....	199
7.4.4.1 CONSOLIDAÇÃO DE TERRENOS	199
7.4.4.2 REPARAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DA FUNDAÇÃO EXISTENTE	200
7.4.4.3 REFORÇO POR AUMENTO DA DIMENSÃO DA SECÇÃO: ALARGAMENTO E RECALÇAMENTO	201
7.4.4.4 REFORÇO ESTRUTURAL COM FUNDAÇÕES PROFUNDAS.....	203
CAPÍTULO 8 CASOS DE ESTUDO	205
8.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO	205
8.2 ARCO DA RUA AUGUSTA. PROJECTO DE CONSERVAÇÃO E RESTAURO	206
8.2.1 ÂMBITO DOS TRABALHOS.....	206
8.2.2 DESCRIÇÃO E HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO	207

8.2.3 INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DE DIAGNÓSTICO	209
8.2.3.1 METODOLOGIA DE TRABALHOS ADOPTADA	209
8.2.3.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO, SEGURANÇA E DIAGNÓSTICO	211
8.2.4 ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS DE INTERVENÇÃO	213
8.3 CLAUSTRO DO CONVENTO DAS MALTEZAS EM ESTREMOZ. PROJECTO DE CONSERVAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO ESTRUTURAL	216
8.3.1 ÂMBITO DOS TRABALHOS.....	216
8.3.2 DESCRIÇÃO E HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO	217
8.3.3 INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DE DIAGNÓSTICO	218
8.3.3.1 METODOLOGIA DE TRABALHOS ADOPTADA	218
8.3.3.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO, DA SEGURANÇA E DIAGNÓSTICO	220
8.3.4 ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS DE INTERVENÇÃO	223
8.4 ANTIGOS CELEIROS DA EPAC EM ÉVORA.....	225
8.4.1 ÂMBITO DOS TRABALHOS.....	225
8.4.2 DESCRIÇÃO E HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO	226
8.4.3 INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DE DIAGNÓSTICO	229
8.4.3.1 METODOLOGIA DE TRABALHOS ADOPTADA	229
8.4.3.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO, DA SEGURANÇA E DIAGNÓSTICO	230
8.4.4 INTERVENÇÃO REALIZADA	234
CAPÍTULO 9 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	237
9.1 CONCLUSÕES	237
9.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	244
BIBLIOGRAFIA	245
ANEXOS	A1
ANEXO 1 ARCO DA RUA AUGUSTA. FICHAS DE TRABALHO	A3
ANEXO 2 ARCO DA RUA AUGUSTA. DESENHOS DE PROJECTO: CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA E CONSTRUTIVA. PLANTAS, ALÇADOS E CORTES.....	A11
ANEXO 3 CONVENTO DAS MALTEZAS, ESTREMOZ. DESENHOS DE PROJECTO: MAPEAMENTO DE ANOMALIAS E CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL	A17
ANEXO 4 CONVENTO DAS MALTEZAS, ESTREMOZ. DESENHOS DE PROJECTO: ESQUEMA RESUMO DA METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO	A25
ANEXO 5 EX – CELEIROS DA EPAC, ÉVORA. DESENHOS DE PROJECTO: MAPEAMENTO DE ANOMALIAS E CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL	A29
ANEXO 6 EX – CELEIROS DA EPAC, ÉVORA. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA ABÓBADA TIPO INDIVIDUAL.	A37
ANEXO 7 EX – CELEIROS DA EPAC, ÉVORA. DESENHOS DE PROJECTO: - METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO	A43
ANEXO 8 APRESENTAÇÃO	A53

Figura 1 e 2 – Tumba de Atreu, Micenas [Lau, Wanda W. (2006)]	2
Figura 3 - Cúpula Panteão, Roma [Foto do autor]	3
Figura 4 - Abóbada cerâmica [Ramalho (2008)]	5
Figura 5 - Arcos, Caesarea, Israel [Gago, António (2014)]	7
Figura 6 - Esquema da fachada da Igreja de Santa Maria Novella, León Batista Alberti, Relações entre preexistências e obra nova [Fernández Alba, Antonio et al. (1997)]	10
Figura 7 - Fachada da Igreja de Santa Maria Novella [Fernández Alba, Antonio et al. (1997)]	10
Figura 8 - Termas de Diocleciano [http://www.disfrutaroma.com/]	11
Figura 9 - Panteão de Roma, primeiro decénio do século XVIII [http://prabowoherry.wordpress.com/]	11
Figura 10 - Pompeia [http://www.institutoandreluiz.org/]	11
Figura 11 - Revolução Francesa, Delacroix	12
Figura 12 - <i>Guerre Aux Démolisseurs!</i> de Vitor Hugo	12
Figuras 13 e 14 - Estudos de Viollet–Le–Duc para o restauro de Carcassonne [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	13
Figura 15 - Pierrefonds antes do restauro [http://38.media.tumblr.com/]	13
Figura 16 - Pierrefonds após o restauro [http://webtournaire.com/]	13
Figura 17 - Sé do Porto antes do restauro (1945) [Ramalho, M. de Magalhães (2008/2009)]	14
Figura 18 - Sé do Porto após o restauro (1946) [Ramalho, M. de Magalhães (2008/2009)]	14
Figura 19 - Eugène Viollet-le-Duc (Esquerda) e John Ruskin (Direita) [http://en.wikipedia.org/]	14
Figura 20 - Arco de Tito actual, Roma [Foto do autor]	15
Figura 21 - Restauros de Stern no Coliseu, Roma [Fernández Alba, Antonio <i>et al.</i> (1997)]	15
Figura 22 - Restauros de Valadier no Coliseu, Roma [Fernández Alba, Antonio <i>et al.</i> (1997)]	15
Figura 23 - O <i>Campanile</i> destruído, Praça de São Marcos, Veneza [Fernández Alba, Antonio <i>et al.</i> (1997)] ..	16
Figura 24 - O <i>Campanile</i> actual, Praça de São Marcos, Veneza [Foto do autor]	16
Figura 25 e 26 - Reconstrução por Luca Beltrami da torre central do Castelo dos Sforza, Milão [Fernández Alba, Antonio <i>et al.</i> (1997)]	17
Figura 27 - Destruições massivas da Segunda Grande Guerra [Aguiar, José (2011/2012)]	19
Figura 28 e 29 - Reconstrução mimética de fachadas de edifícios antigos destruídos com elementos prefabricados de betão, Varsóvia e Berlim [Aguiar, José (2011/2012) e Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006) respectivamente]	19
Figura 30 - <i>Teoria do Restauro</i> de Cesare Brandi	20
Figura 31 - Excerto do Estudo de arranjo e salubridade do	23
Figura 32 - Centro histórico de Lisboa, Bica [Foto do autor]	23
Figura 33 - Centro histórico de Monsaraz [Foto do autor]	23
Figura 34 – Vale do Douro [http://duas-ou-tres.blogspot.no/]	24
Figura 35 - Terraços de arroz, China [historiasdovento.com]	24
Figura 36 - Laocoon restaurado por Montorsoli (fragmentos transformados numa obra maneirista) [Aguiar, José (2010)]	25

Figura 37 - Laocoon depois da descoberta de fragmentos em falta (braço) [Aguiar, José (2010)]	25
Figura 38 e Figura 39 - Matadouro Lagazpi em Madrid, Projecto de Reabilitação de Arturo Franco Diaz e Fabrice Van Teslaar [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]	29
Figura 40 – Casa do Infante no Porto, antes da intervenção [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]	32
Figura 41 - Casa do Infante no Porto, depois da intervenção em 1961 [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]	32
Figura 42 - Mosteiro de Santa Clara-a-Velha de Coimbra [Ramalho, M. de Magalhães (2008), Fotografia de Artur Corte-Real]	33
Figura 43 – Catedral De s. Pedro de Geneve durante a campanha arqueológica [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]	33
Figura 44 – Banho Árabe de Churriana de La Veja [Ramalho, M. de Magalhães (2008)].....	34
Figura 45 – Calatrava la Vieia [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]	34
Figura 46 e Figura 47 – Castelo de Paderne [Foto LEB].....	35
Figura 48 e Figura 49 -Levantamento gráfico simplificado a diversas escalas [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]	35
Figura 50 e Figura 51 – O manejo da pedra e os seus instrumentos [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]	36
Figura 52 e 53 – Palazzo Bizzarini após a intervenção de restauro (manutenção das marcas da história) [Ramalho, M. de Magalhães (2008), Foto de Francesco Doglioni]	37
Figura 54 – Teatro Lafenice em Veneza, século XIX [Aguiar, José (2010)]	38
Figura 55 – Teatro Lafenice destruído após o incêndio de 1996 [Aguiar, José (2010)]	38
Figura 56 – Maquete e estudo de Aldo Rossi para a reconstrução do Lafenice [Aguiar, José (2010)]	38
Figura 57 – Reconstrução do teatro, 2008 [Aguiar, José (2010), Foto de David Levantim]	38
Figura 58 – Operação de fachadismo Rua Castilho, Lisboa [Ramalho, M. de Magalhães (2008)].....	39
Figura 59 e Figura 60 – Intervenções de restauro na Acrópole, Grécia [Foto do autor]	41
Figura 61 e Figura 62 – Mosteiro de Tibães [Ramalho, M. de Magalhães (2008), Foto de Luís Alves]	42
Figura 63 – Alçado datado de 1905, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [LEB (2011)]	50
Figura 64 – Alçado datado de 1905, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [LEB (2011)]	50
Figura 65 – Caroteamento para observação da composição do material de carregamento das abóbadas, Convento das Maltezas, Estremoz	51
Figura 66 – Extracção de carote em abóbada para observação da sua composição (tijolo cerâmico e argamassa de cal)	51
Figura 67 - Fendilhação da parede de alvenaria, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [LEB (2011)].....	52
Figura 68 – Levantamento 3D laser, corte transversal do claustro, Convento das Maltezas, Estremoz [LEB (2010a)]	53
Figura 69 – Modelo de linha de pressões da Abóbada de Cobertura, Convento das Maltezas, Estremoz [LEB (2010a)]	53
Figura 70 – Tensões principais mínimas, modelo de elementos finitos [Lourenço, Paulo B. <i>et al</i> (2008)]	55
Figura 71 – Danos espectáveis na estrutura, modelo de elementos finitos [Lourenço, Paulo B. <i>et al</i> (2008)]	55
Figura 72 – O Coordenador de Projecto [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)].....	56
Figura 73 – Documentos de Homologação LNEC [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	56
Figura 74 – Alguns documentos com aspectos jurídico/administrativos condicionantes [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	56

Figura 75 – Detalhe construtivo do reforço de um arco, Ex Celeiros EPAC, Évora [LEB (2010c)]	57
Figura 76 – Diagrama de Gantt para planeamento de trabalhos [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	58
Figura 77 – Escoramento do cesso principal, Arco de Monserate, Sintra [Foto LEB]	59
Figura 78 – Proteção de estrutura intervencionada, Travessa da Peixeira, Lisboa [Foto LEB]	59
Figura 79 – Cinta de Reforço, Museu de Portimão [Foto LEB]	60
Figura 80 – Estruturas treliçadas, Museu de Portimão [Foto LEB].....	60
Figura 81 – Excerto de planta com definição de localização dos ensaios, Ex Celeiros EPAC, Évora [OZ (2008)]	62
Figura 82 – Esquema tipo dos ensaios duplos, Ex Celeiros EPAC, Évora [OZ (2008)].....	62
Figura 83 – Medição da espessura de elemento cerâmico do pavimento com uma craveira, Convento das Maltezas, Estremoz [Foto do autor]	63
Figura 84 – Excerto de mapeamento de anomalias em plantas e alçados, Ex Celeiros EPAC, Évora [LEB (2010c)].....	63
Figura 85 – Abertura de janela de inspeção e ensaios, Ex Celeiros EPAC, Évora [Foto LEB]	63
Figura 86 – Ortofotomapa corrigido [Ramalho, M. de Magalhães (2008/2009)	65
Figura 87 – Estrutura real [Ramalho, M. de Magalhães (2008/2009)	65
Figura 88 – Levantamento 3D, Ex Celeiros EPAC, Évora [LEB (2010c)]	65
Figura 89 – Comparador de Fissuras [Foto LEB].....	65
Figura 90 – Videoscópio [Foto LEB].....	66
Figura 91 – Ensaio termográfico para observação dos paramentos de alvenaria, Casa das Almeidas [Foto LEB]	66
Figura 92 – Equipamento para a determinação da velocidade de impulsos mecânicos [Alves, Ana (2009)]	67
Figura 93 - Ensaio esclerométrico [http://www.oz-diagnostico.pt/fichas].....	67
Figura 94 – Medição da humidade superficial, Ex Celeiros EPAC, Évora [Foto LEB]	68
Figura 95 – Ensaio com tubo de Karsten [Tomázio, Carole (2013)].....	68
Figura 96 e 97 – Ensaio com macacos planos [Foto LEB].....	68
Figura 98 - Arco natural [Gago, António (2014)]	71
Figura 99 - Etruscan voussoir arch, Durm (1885) [Huerta, Santiago (2001)]	71
Figura 100 - Reconstituição de Khriotikia: Aldeia neolítica na ilha de Chipre [Lourenço, Paulo.B. (1999)]..	72
Figura 101 - Produção de tijolos no antigo Egipto (túmulo de Rekhmara, Thebes, 1500 A.C.) [Gago, António (2004)]	73
Figura 102 - Detalhes de uma <i>falsa cúpula</i> , abobada de cúpula ogival, Abydos [Choisy, Auguste (1899)] .	73
Figura 103 - Abobada de berço com elementos inclinados, Ramesseum [Choisy, Auguste (1899)]	73
Figura 104 – Tumba de Atreu, Micenas, Segundo Reynaud [Argilés, Josep M. et al (1999a)].....	74
Figura 105 – Ctesifonte [www.nationalgeographic.com.es]	74
Figura 106 – Desenho esquemático de Ctesifonte [Argilés, Josep M. et al (1999a)]	74
Figura 107 – Cúpula Panteão, Roma	75
Figura 108 - Corte esquemático do Panteão de Roma [Argilés, Josep M. et al (1999a)]	75
Figura 109 - Santa Sofia de Constantinopla [http://en.wikipedia.org/]	76

Figura 110 - Corte esquemático de Santa Sofia de Constantinopla segundo Choisy [Argilés, Josep M. et al (1999a)].....	76
Figura 111 - Corte transversal de uma catedral românica [http://en.wikipedia.org/].....	77
Figura 112 - Abóbada de berço [Tostões, Ana (1996)]	77
Figura 113 - Abóbada de arestas [Tostões, Ana (1996)].....	77
Figura 114 - Abóbada de cruzamento de ogivas [Tostões, Ana (1996)]	77
Figura 115 - Corte transversal de uma catedral gótica [Gago, António (2004)]	78
Figura 116 - Cúpula da basílica de Santa Maria del Fiore [Gago, António (2004)]	78
Figura 117 - Cúpula da basílica de S. Pedro em Roma [Gago, António (2004)]	78
Figura 118 - Abóbadas de aresta. Piso térreo pombalino [http://en.wikipedia.org/].....	79
Figura 119 - Abóbadas tabicadas, Igreja de Trunó [Argilés, Josep M. et al (1999a)].....	79
Figura 120 - Abóbadas tabicadas, Martinell S. Cugat [Argilés, Josep M. et al (1999a)]	79
Figura 121 - Alvenaria Mista de Pedra e Tijolo [Gago, António (2014)]	80
Figura 122 – Alvenaria de pedra [Gago, António (2014)]	81
Figura 123 – Cantarias de pedra [Gago, António (2014)]	81
Figura 124 – Adobe [Foto LEB]	82
Figura 125 - Paredes de Alvenaria de Tijolo, Casa das Almeidas [Foto LEB]	83
Figura 126 - Abóbadas e Arcos de Alvenaria de Tijolo [Gago, António (2014)]	83
Figura 127 - Forno de Cal [http://www.embarro.com/]	84
Figura 128 - Cal em pedra [http://www.embarro.com/].....	84
Figura 129 - Pigmentos naturais [http://www.embarro.com/].....	85
Figura 130 - Argamassa de assentamento em parede de alvenaria, Casa das Almeidas [Foto LEB].....	86
Figura 131 - Argamassas de revestimento em parede de alvenaria, Casa das Almeidas [Foto LEB]	87
Figura 132 - Exemplos de marcas de andaimes, Ermida do Castelo de Paderne [Ramalho, M de Magalhães (2008)]	88
Figura 133 - Ilustração de um antigo estaleiro de obra [Ramalho, M de Magalhães (2008)]	88
Figura 134 - Andaimes rolantes para abóbadas de berço [Fitchen, John (1961)]	89
Figura 135 - Ligação de cimbres com elementos de madeira com pregagens [Fitchen, John (1961)].....	90
Figura 136 - Construção das nervuras no Mosteiro dos Jerónimos (1941) [Fitchen, John (1961)]	90
Figura 137 - Preenchimento das abóbadas [Fitchen, John (1961)]	90
Figura 138 - Construção e uma abóbada de canhão Romana [Argilés, Josep M. et al (1999c)]	91
Figura 139 - Arcos centrais de reforço na Basílica de Magêncio [Argilés, Josep M. et al (1999c)]	91
Figura 140 - Arcos e reforços de ladrilhos na construção do Panteão de Agripa [Argilés, Josep M. et al (1999c)].....	92
Figura 141 - Abóbadas Bizantinas [Argilés, Josep M. et al (1999c)]	93
Figura 142 - Abóbadas Bizantinas [Gago, António (2014)]	93
Figura 143 - Construção de abóbada tabicada [Argilés, Josep M. et al (1999c)]	94
Figura 144 - Abóbadihas Alentejanas [Gago, António (2014)].....	94
Figura 145 – Abóbadas tabicadas, Convento de Santo Domingo em Valência [Fortea Luna, M. (2008)]....	94
Figura 146 - Construção de muretes para assentamento de pavimentos em abóbada tabicada [Argilés, Josep M. et al (1999a)].....	95

Figura 147 – Elementos constituintes de um arco e representação do seu comportamento estrutural [Lancaster, Lynne. C. (2005)]	100
Figura 148 – Relação entre a forma do arco e a catenária [Lancaster, Lynne. C. (2005)]	101
Figura 149 – Linhas de pressões correspondentes aos impulsos horizontal máximo e mínimo num arco circular [Gago, António (2004)].....	101
Figura 150 – Preenchimento dos encontros das abóbadas de aresta	101
Figura 151 – Colapso de um arco semi circular em pedra sob a acção de uma carga pontual [Huerta, Santiago (2001)]	102
Figura 152 – Arco semi circular sob o seu peso próprio a) Impulso mínimo; b) Impulso máximo [Huerta, Santiago (2001)]	102
Figura 153 – Modelo de arcos sucessivos similares a correntes suspensas [Huerta, Santiago (2001)]	102
Figura 154 – Modelo de Gaudí para o dimensionamento de cúpulas através da analogia entre arcos e correntes suspensas [Gago, António (2004)]	103
Figura 155 – Esforços Meridionais numa cúpula [Gago, António (2004)]	103
Figura 156 – Tensões circunferenciais numa cúpula sujeita apenas à acção do seu peso próprio [Heyman, Jacques (1995)].....	103
Figura 157 – Fendilhação tipo de uma cúpula [Heyman, Jacques (1988a)].....	104
Figura 158 - Duas lúnulas de uma cúpulas diametralmente opostas [Lau, Wanda W. (2006)]	104
Figura 159 – Fendilhação meridional da cúpula do Panteão em Roma [Gago, António (2004)].....	105
Figura 160 – Mecanismo de colapso típico de uma cúpula [Lau, Wanda W. (2006)].....	105
Figura 161 – Paralelograma de forças de Leonardo da Vinci [Gago, António (2004)].....	105
Figura 162 – Regras Aritméticas de Fray Lorenzo de San Nicola’s (1639) para o projecto de vários tipos de abóbadas usando diferentes materiais [Huerta, Santiago (2010)]	106
Figura 163 – Regra geométrica de Derand para o desenho de encontros. <i>O arco transverso da abóbada é dividido em três partes sendo CD igual a DF.</i> (Derand, 1643). [Huerta, Santiago (2010)]	106
Figura 164 – Aplicação da regra de Derad à Catedral de Girona [Huerta, Santiago (2010)]	106
Figura 165 – Modelo de corrente suspensa de Hooke [Heyman, Jacques (1988b)].....	107
Figura 166 – Traçado de um polígono funicular [Gago, António (2004)]	107
Figura 167 – Possível mecanismo de colapso de um arco apoiado sobre colunas ou paredes, mecanismo rotacional de Coulomb-Mascheroni [Gago, António (2004)]	107
Figura 168 - Verificação da segurança de um arco e da espessura de um pé direito [Gago, António (2004)]	108
Figura 169 - Modelo de Poleni para análise da estabilidade da cúpula de S. Pedro em Roma [Gago, António (2004)]	108
Figura 170 – Linhas de resistência (a-b-c-d-e-f) e de pressões (A-B-C-D-E) [Gago, António (2004)].....	109
Figura 171 – Método gráfico de Méry [Gago, António (2004)]	109
Figura 172 - Modos de colapso do modelo de elementos discretos de um arco ogival - modelo com 10.36 m de vão (esquerda - carga a 1/4 do vão; centro - carga a 1/3 do vão; direita - carga a 1/2 do vão) [Gago, António (2004)].....	112
Figura 173 - Tensões principais de um arco em modelo de elementos finitos [Gago, António (2004)] ...	112
Figura 174 - Modelo elástico linear da fachada completa da basílica de S. Pedro em Roma [Gago, António (2004)]	112

Figura 175 - Possíveis fontes de humidade em habitação [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	116
Figura 176 - Manchas de humidade associadas à ascensão capilar de água, Ex Celeiros EPAC, Évora [Foto LEB]	116
Figura 177 – “Estalactites” devido a infiltrações através de fenda em laje da cobertura [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	116
Figura 178 – Deterioração de revestimentos associada a humidades de condensação e de precipitação, Convento das Maltezas, Estremoz [Foto do autor]	117
Figura 179 – Escoramento na sequência de demolição de edifício contíguo [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	117
Figura 180 – Alterações para instalação de contadores fragilizando a estrutura [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	118
Figura 181 – Cristais de gelo [slike.n3po.com]	119
Figura 182 – Eflorescências em paramento interior devidas à presença de sais [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	121
Figura 183 – Nódulo de cal em tijolo [http://www.manfredinieschianchi.com]	121
Figura 184 – Colonizações biológicas: plantas superiores, musgos, líquenes e bolores [Franke, L. et al (1998)]	123
Figura 185 – Ruínas do Convento do Carmo após o Sismo de 1755, Lisboa [Foto do autor]	123
Figura 186 – Separação entre abóbadas e paredes de apoio, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. et al (2008)]	125
Figura 187 – Inclinação dos Contrafortes, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor]	125
Figura 188 – Abatimento do arco do coro-alto na Igreja de Cascais [Foto LEB]	125
Figura 189 – Fendas longitudinais nas abóbadas de berço da ala sul, segundo nível, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. et al (2008)]	125
Figura 190 - Fendas nas abóbadas, canto sudoeste, segundo nível, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. et al (2008)]	126
Figura 191 – Fendilhação das abóbadas do piso superior, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor]	126
Figura 192 – Padrões de fendilhação mais comuns em arcos, abóbadas e cúpulas [Argilés, Josep M. et al (1999a)]	127
Figura 193 - Esmagamentos localizados nas nascenças das abóbadas, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. et al (2008)]	127
Figura 194 – Abatimento do arco do coro-alto na Igreja de Cascais [Foto LEB]	127
Figura 195 – Perda de cor em alvenaria cerâmica [Franke, L. et al (1998)]	129
Figura 196 – Manchas em alvenaria cerâmica [Franke, L. et al (1998)]	129
Figura 197 – Depósitos de sujidade, Sé de Lisboa [Barros, Luís Aires (2001)]	130
Figura 198 – Eflorescências generalizadas no fecho das abóbadas, Claustro da Sé de Lisboa [Barros, Luís Aires (2001)]	130
Figura 199 – Depósitos biológicos, Claustro do Mosteiro dos Jerónimos, Lisboa [Barros, Luís Aires (2001)]	130

Figura 200 – Pátina e alteração cromática, templo de Eleusis, Grécia [Barros, Luís Aires (2001)]	131
Figura 201 – Crostas negras e zonas lavadas por escorrência, Torre de Belém, Lisboa [Barros, Luís Aires (2001)]	131
Figura 202 – Lascagem em alvenaria cerâmica [Franke, L. et al (1998)].....	131
Figura 203 – Fenómenos de lascagem, Sé Velha de Coimbra [Barros, Luís Aires (2001)]	131
Figura 204 – Separação em placas com lacunas, Escorial de Madrid [Barros, Luís Aires (2001)].....	132
Figura 205 – Esboroamento alvenaria cerâmica [Franke, L. et al (1998)].....	132
Figura 206 – Pulverização (arenização ou enfarinhamento) do calcário, Universidade de Coimbra [Barros, Luís Aires (2001)]	132
Figura 207 – Alveolização pronunciada, Sé de Lisboa [Barros, Luís Aires (2001)]	133
Figura 208 – Escamação múltipla, Mosteiro da Batalha [Barros, Luís Aires (2001)].....	133
Figura 209 – Destruição mecânica provocada por plantas superiores, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor]	133
Figura 210 – Perda de ligação entre elementos de alvenaria [Franke, L. et al (1998)].....	134
Figura 211 – Fendilhação não estrutural em elementos de alvenaria [Franke, L. et al (1998)]	134
Figura 212 – Lacuna, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor].....	134
Figura 213 – Risco em alvenaria cerâmica [Franke, L. et al (1998)].....	135
Figura 214 – Depósitos de sujidade em revestimentos, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor].....	136
Figura 215 – Eflorescências em paredes interiores, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [Foto LEB]....	136
Figura 216 – Depósito biológico acentuado em paredes interiores, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [Foto LEB]	136
Figura 217 – Exfoliação e destacamento de várias camadas de revestimento sucessivas, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto LEB]	137
Figura 218 – Destacamento de revestimento, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor]	137
Figura 219 – Exfoliação de revestimento, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor].....	137
Figura 220 – Empolamento de revestimentos devido à presença de água no interior de paredes, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [Foto LEB]	138
Figura 221 – Perda de ligação do revestimento ao suporte, Casa das Almeidas, Lisboa [Foto LEB]	138
Figura 222 e Figura 223 – Fissuração bem definida com direção única, Ex-Celeiros EPAC, Évora [Argilés, Josep M. et al (1999c)]	139
Figura 224 e Figura 225 – Fissuração em angulo recto [Argilés, Josep M. et al (1999c)] e [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	139
Figura 226 – Fissuras ramificadas [Argilés, Josep M. et al (1999c)].....	139
Figura 227 e Figura 228 – Fissuração em quadrícula [Argilés, Josep M. et al (1999c)]	140
Figura 229 e Figura 230 – Fissuras em esquartelamento, Ex-Celeiros EPAC, Évora [Argilés, Josep M. et al (1999c)].....	140
Figura 231 – Fissuras em teia de aranha [Argilés, Josep M. et al (1999c)].....	140
Figura 232 - Remoção do carregamento de abóbadas para posterior reforço, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. et al (2008)]	142

Figura 233 – Limpeza de cantarias [Barros, Luís Aires (2001)]	143
Figura 234 – Porto, obras de reabilitação e conclusão do conjunto habitacional da Bouca: colocação de isolamento térmico pelo exterior [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)].....	151
Figura 235 – Vários tipos de isolantes térmicos [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)].....	151
Figura 236 - Corte de vala periférica com enchimento [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	152
Figura 237 - Vala periférica com enchimento afastada da parede [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	152
Figura 238 - Introdução de produto impermeabilizante em parede por gravidade [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	153
Figura 239 - Introdução de produto impermeabilizante em parede por injeção [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	153
Figura 240 - Inserção de chapas metálicas em parede de alvenaria regular [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	153
Figura 241 - Processo de electro-osmose [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)].....	154
Figura 242 - Limpeza com Jactos de água com pressão controlada [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	156
Figura 243 - Limpeza a seco com escova macia [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)].....	157
Figura 244 - Instrumentos de limpeza agressivos: Escovas metálicas, escovas rotativas e fresas abrasivas [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	157
Figura 245 - Microjactos abrasivos [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	157
Figura 246 – Limpeza a Laser [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	158
Figura 247 – Limpeza com pasta gelatinosa [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	158
Figura 248 – Limpeza com compressas biológicas [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)].....	158
Figura 249 - Utilização de pastas para dessalinização de paramento de parede de pedra [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	159
Figura 250 - Aplicação de uma solução biocida em elementos de cantaria [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	159
Figura 251 - Tratamento de juntas [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	160
Figura 252 - Humidade em estuques de gesso, Igreja do Convento do Sacramento, século XVII-XIX [Veiga, M. Rosário (2010)]	161
Figura 253 - Restauro com materiais idênticos, Igreja do Convento do Sacramento, século XVII-XIX [Veiga, M. Rosário (2010)]	161
Figura 254 - Revestimento muito degradado cuja reparação e consolidação é inviável [Foto LEB]	164
Figura 255 - Aplicação em obra de argamassa de cal [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	165
Figura 256 - Regularização e aperto de argamassa de cal	165
Figura 257 - Painéis experimentais para definição de revestimento a utilizar em intervenção de reabilitação [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)].....	166
Figura 258 - Efeito da aplicação de um líquido hidrófugo [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)].....	168
Figura 259 - Aplicações de pinturas de silicatos em murete de alvenaria rebocada [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	169
Figura 260 - Remoção de revestimento junto da fenda existente [LEB (2011b)]	172
Figura 261 - Abertura de furos para tubos de injeção [LEB (2011b)]	172

Figura 262 - Limpeza de fendas com jacto de ar e aspiração [LEB (2011b)]	172
Figura 263 - Colocação de tubos de injeção e purga [LEB (2011b)]	172
Figura 264 - Selagem superficial da fenda [LEB (2011b)]	172
Figura 265 – Injeção da fenda [LEB (2011b)]	172
Figura 266 – Colocação da “ <i>armadura em ponte</i> ” sobre a fissura [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	173
Figura 267 – Malha metálica [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	173
Figura 268 – Malha de fibra de vidro [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	173
Figura 269 – Grampo metálico aplicado em reparação de fenda [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]	174
Figura 270 – Micropregagens aplicadas em reparação de fenda [Cóias, Vítor (2007)]	174
Figura 271 e 272– Faixas de FRP aplicadas em reparação de fenda [Cóias, Vítor (2007)]	174
Figura 273 – Reposição de volumes em falta com “pedra artificial”. De cima para baixo: saneamento e humedecimento; selagem da junta e colocação de argamassa; tratamento da superfície e refechamento [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	175
Figura 274 – Fixação de elementos destacados com argamassas [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	176
Figura 275 – Fixação de elementos destacados com varões roscados [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)] ..	176
Figura 276 – Escoramento de uma abóbada para reposicionamento de pedras de uma nervura [Cóias, Vítor (2007)]	177
Figura 277 - Reposicionamento de tijolo cerâmico [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	177
Figura 278 - Injeção de consolidantes inorgânicos por pressão [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	180
Figura 279 - Injeção de consolidantes inorgânicos por gravidade [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	180
Figura 280 – Silico-orgânicos [Argilés, Josep M. et al (1999b)]	182
Figura 281 – Cachorro na Torre de Belém antes da intervenção com consolidantes [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	184
Figura 282 – Cachorro na Torre de Belém depois da intervenção com consolidantes de resinas epóxicas [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]	184
Figura 283 – Tubos de injeção e purga aplicados [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]	186
Figura 284 – Injeções de caldas ligantes em alvenaria de tijolo [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]	187
Figura 285 – Injeção de fissura em arco de tijolo maciço [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]	187
Figura 286 - Aplicação de reboco com armadura metálica [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	189
Figura 287 - Fixação de armadura metálica com confinadores simples [Cóias, Vítor (2007)]	189
Figura 288 - Encamisamento de abóbada de alvenaria com lâmina superior de betão armado [Appleton, João (2003)]	190
Figura 289 - Furação por rotação, instalação de confinadores ou tirantes metálicos [LEB (2011b)]	191
Figura 290 - Confinamento transversal de elementos de alvenaria [Cóias, Vítor (2007)]	191
Figura 291 - Sistema de rótula constituído por semi-esfera e copo, permitindo a adaptação da fixação a qualquer inclinação do confinador [Cóias, Vítor (2007)]	191
Figura 292 - Confinador dotado de manga injectada [Cóias, Vítor (2007)]	192
Figura 293 - Aplicação de pregagens aderentes para reforço estrutural, Castelo de Paderne [LEB (2005)]	192
Figura 294 - Aplicação de pregagens aderentes para reforço estrutural de cunhal, Castelo de Paderne [LEB (2005)]	192

Figura 295 - Soluções de aplicação de pregagens dotadas de manga injectada para reforço de abóbadas [Cóias, Vítor (2007)]	193
Figura 296 - Reforço estrutural de abóbada com tirantes, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. <i>et al</i> (2008)]	194
Figura 297 - Sistema de ancoragem de tirantes dúctil [Cóias, Vítor (2007)]	195
Figura 298 - Sistema de ancoragem de tirantes em placa injectada, Convento das Maltezas, Estremoz [Foto do autor].....	195
Figura 299 - Aplicação de tirantes passivos não aderentes para estabilização de abóbada [Cóias, Vítor (2007)]	196
Figura 300 - Aplicação de tirantes passivos não aderentes para estabilização de abóbada, Convento das Maltezas, Estremoz [Foto do autor]	196
Figura 301 - Reforço de parede de alvenaria com faixas de laminados de carbono [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	197
Figura 302 - Preparação de extradorso de abóbada para colagem de laminados de carbono [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	197
Figura 303 - Aplicação de laminados de carbono para estabilização de abóbada [Cóias, Vítor (2007)]	197
Figura 304 - Reforço sísmico com recurso a contrafortes de alvenaria [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	198
Figura 305 - Injecção de calda de cimento no solo de fundação com tubos de “ <i>manchetes</i> ” [Cóias, Vítor (2007)]	200
Figura 306 - Injecção de resina hidroactiva no solo de fundação [Cóias, Vítor (2007)].....	200
Figura 307 - Bolbo de solo consolidado recuperado de ensaio [Cóias, Vítor (2007)]	200
Figura 308 - Alargamento de fundações com suspensão e transferência de carga [Cóias, Vítor (2007)]	201
Figura 309 - Alargamento de fundações sem suspensão de carga [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	202
Figura 310 - Alargamento de fundações sem suspensão de carga [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)].	202
Figura 311 - Recalçamento de fundações [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	202
Figura 312 - Recalçamento de fundações com execução de microstacas [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]	203
Figura 313 - Estacas helicoidais [Cóias, Vítor (2007)].....	203
Figura 314 - Microestacas [Cóias, Vítor (2007)]	204
Figura 315 - Maciços de encabeçamento de microestacas [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]	204
Figura 316 - Planta topográfica da cidade de Lisboa, segundo o novo alinhamento de Eugénio dos Santos Carvalho e Carlos Mardel, Extracto de Litografia, GRA 53, Museu da Cidade. [Rodrigues da Silva, Ana (2012)]	206
Figura 317 - Aspecto original do alçado da ala norte da Praça do Comércio com um arco de triunfo que monumentaliza a entrada da Rua Augusta, assinado Sebastião Joseph de Carvalho e Mello e Eugénio dos Santos, 1758, Palácio Galveias, cota: A24672, N22340. [Rodrigues da Silva, Ana (2012)].....	206
Figura 318 - Vista da Praça do Comércio de Lisboa, segundo o projeto de Eugénio dos Santos e Carlos Mardel, com a torre sineira, nunca construída. Óleo s/ folha de zinco de José Caetano Ciríaco, 1794. [Rodrigues da Silva, Ana (2012)]	207

Figura 319 - Excerto do Desenho do Alçado Norte da Praça do Comércio, Frontaria da arcada, de Eugénio dos Santos e Carlos Mardel, 1759. [Rodrigues da Silva, Ana (2012)]	207
Figura 320 - <i>Construção do Arco da "RUA AUGUSTA"</i> . Foto de Wenceslau Cifka, Prova em albumina montada em cartão, 1862. [Rodrigues da Silva, Ana (2012)]	208
Figura 321 - <i>O arco da "RUA AUGUSTA" em construção</i> . Foto de autor desconhecido, anterior a 1873. [Rodrigues da Silva, Ana (2012)]	208
Figura 322 - Arco da Rua Augusta ornamentado por ocasião do (casamento) aniversário de Dom Luís I (1862), em 1872. [Rodrigues da Silva, Ana (2012)]	208
Figura 323 - " <i>Glória coroando o Génio e o Valor</i> " e a inscrição em latim de Calmels, em De Olisipo a Lisboa, Estudos Olisiponenses, 1992 [Rodrigues da Silva, Ana (2012)]	208
Figura 324 - Unidade espacial B11.2 [Atelier 15 (2011)]	209
Figura 325 - Levantamento 3D laser, Corte transversal CT1 [Atelier 15 (2011)]	209
Figura 326 - Levantamento 3D laser, Alçado 01-02 [Atelier 15 (2011)]	209
Figura 327 - Excerto do Desenho 04, Corte C [Atelier 15 (2011)]	210
Figura 328 - Excerto do Desenho 03, Alçado Norte [Atelier 15 (2011)]	210
Figura 329 - Excerto do desenho 08, Pormenor G, Escultura alçado Sul [Atelier 15 (2011)]	210
Figura 330 - Depósitos superficiais de sujidade de cor escura [Atelier 15 (2011)]	211
Figura 331 - Manchas [Atelier 15 (2011)]	211
Figura 332 - Erosão, superfície fortemente erodida [Atelier 15 (2011)]	211
Figura 333 - Depósitos de escorrência brancos (arcos interiores) [Atelier 15 (2011)]	211
Figura 334 - Remendos e Reconstruções de cimento [Atelier 15 (2011)]	212
Figura 335 - Dejectos e outros depósitos de aves [Atelier 15 (2011)]	212
Figura 336 - Colonização biológica [Atelier 15 (2011)]	212
Figura 337 - Vegetação [Atelier 15 (2011)]	212
Figura 338 - Manifestações de vandalismo [Atelier 15 (2011)]	212
Figura 339 - Corrosão em elementos metálicos [Atelier 15 (2011)]	213
Figura 340 - Fractura com lascagem [Atelier 15 (2011)]	213
Figura 341 - Elemento arquitectónico com manifestações de instabilidade [Atelier 15 (2011)]	213
Figura 342 - Operações de limpeza [Fotografia José Aguiar]	214
Figura 343 - Limpeza com compressas [Fotografia José Aguiar]	214
Figura 344 - Correção áreas erodidas, zona de teste [Fotografia José Aguiar]	214
Figura 345 - Esculptura após tratamento [Fotografia José Aguiar]	214
Figura 346 - Planta geral das construções e definição de zona a intervir [LEB (2010a)]	216
Figura 347 - Vista aérea do Convento da Maltezas [LEB (2010a)]	216
Figura 348 - Espaços do claustro suportados por abóbadas de ogivas e arestas [LEB (2010a)]	217
Figura 349 - Arcadas do registo inferior com arcos e fustes de mármore [LEB (2010a)]	217
Figura 350 - Sistema de contrafortes para suporte das abóbadas do claustro [LEB (2010a)]	217
Figura 351 - Decoração das impostas em abóbadas de aresta [LEB (2010a)]	218
Figura 352 - Verificação geométrica de elementos de suporte [LEB (2010a)]	218
Figura 353 - Vista topográfica tridimensional do Claustro do Convento das Maltezas, levantamento 3D laser [LEB (2010a)]	218

Figura 354 - Definição geométrica de elementos estruturais existentes na construção com base no levantamento levantamento 3D laser [LEB (2010a)]	218
Figura 355 - Observação buroscopica de cavidades em abóbada [LEB (2010a)].....	219
Figura 356 - Execução de carotes ,material de carregó das abóbadas [LEB (2010a)]	219
Figura 357 - Excerto de desenho de mapeamento e classificação das anomalias [LEB (2010a)]	219
Figura 358 - Depósitos de sujidade e manchas em revestimentos [LEB (2010a)]	220
Figura 359 - Depósitos biológicos em contrafortes [LEB (2010a)]	220
Figura 360 - Destacamento de revestimentos [LEB (2010a)].....	220
Figura 361 - Elementos fissurados ou com lacunas [LEB (2010a)]	220
Figura 362 - Juntas abertas ou não funcionais em contrafortes [LEB (2010a)].....	221
Figura 363 - Fendas orientadas nas abóbadas do primeiro piso junto à fachada [LEB (2010a)]	221
Figura 364 - Deformação com fendilhação em duas direcções das abóbada do primeiro piso [LEB (2010a)].....	221
Figura 365 - Possível mecanismo de colapso em torno do ponto A [LEB (2010a)].....	222
Figura 366 - Possível mecanismo de colapso em torno do ponto B [LEB (2010a)].....	222
Figura 367 - Simulação numérica das linhas de pressão da abóbada do primeiro piso através de meios computacionais [LEB (2010a)].....	222
Figura 368 - Defenição geométrica rigorosa das abóbadas do primeiro piso e cobertura através dos resultados da nuvem de pontos do levantamento3D [LEB (2010a)]	223
Figura 369 - Execução de tirantes ao nível do primeiro piso e cobertura [LEB (2010a)]	224
Figura 370 - Excerto da planta de localização dos tirantes ao nível do primeiro piso [LEB (2010a)]	224
Figura 371 - Execução de microestacas [LEB (2010a)]	224
Figura 372 – Fachada Norte e portão principal [LEB (2010c)]	225
Figura 373 – Planta do conjunto com identificação dos edifícios A, B e C [LEB (2008)]	226
Figura 374 – Planta geral de coberturas do Piso 0 [LEB (2009)]	227
Figura 375 – Planta geral de coberturas do Piso 1 [LEB (2009)]	227
Figura 376 – Abóbadas de aresta [LEB (2008)]	227
Figura 377 – Abóbadas de berço [LEB (2008)]	227
Figura 378 – Abóbadas abatidas [LEB (2008)].....	227
Figura 379 – Abóbadas de barrete de clérigo [LEB (2008)]	227
Figura 380 – Parede de alvenaria interior [LEB (2008)]	228
Figura 381 – Pormenor de aparelhamento de um pilar de alvenaria cerâmica interior [LEB (2008)] ...	228
Figura 382 – Material de enchimento das abóbadas - carregó [LEB (2008)].....	228
Figura 383 – Cobertura em telha cerâmica [LEB (2008)].....	228
Figura 384 – Pormenor de cabeça de uma microestaca de reforço existente na base da fachada Oeste [LEB (2008)].....	228
Figura 385 – Membrana impermeabilizante em parede interior [LEB (2008)].....	229
Figura 386 – Medição de fendas com fissurómetro e fita métrica [LEB (2008)]	229
Figura 387 – Medição de humidade com humidímetro [LEB (2008)].....	229
Figura 388 e Figura 389 – Cortes na parede de alvenaria para instalação de macacos planos; Realização do ensaio [LEB (2008)]	229
Figura 390 – Fendilhação em paredes de alvenaria [LEB (2008)]	230

Figura 391 – Destacamento de revestimentos [LEB (2008)].....	230
Figura 392 – Manchas de humidade em abóbadas [LEB (2008)].....	230
Figura 393 – Manchas de humidade em parede interior [LEB (2008)].....	230
Figura 394 – Manchas de humidade em parede exterior [LEB (2008)]	230
Figura 395 – Fendilhação nas paredes de alvenaria [LEB (2008)]	231
Figura 396 – Deformação em paredes de alvenaria [LEB (2008)].....	231
Figura 397 – Fendilhação no pavimento - zona sul do edifício A [LEB (2008)].....	231
Figura 398 – Determinação da máxima capacidade de carga das abobadas individuais com recurso a programas de cálculo automático [LEB (2009)]	232
Figura 399 – Exemplo de Diagrama funicular das paredes exteriores para a ausência de sobrecarga [LEB (2009)].....	232
Figura 400 – Diagrama de equilíbrio para a ausência de sobrecarga [LEB (2009)].....	232
Figura 401 – Diagrama de equilíbrio para sobrecarga de $2,5\text{kN/m}^2$ [LEB (2009)].....	232
Figura 402 – Solução de equilíbrio para sobrecarga de $2,5\text{kN/m}^2$ com tirante [LEB (2009)]	233
Figura 403 – Secções críticas passíveis de serem aumentadas [LEB (2009)]	233
Figura 404 – Pregagens Aderentes com Manga Injectada [LEB (2010c)].....	235
Figura 405 – Execução de Tirantes Passivos não Aderentes [LEB (2010c)].....	235
Figura 406 – Execução de Micro–Pregagens Aderentes [LEB (2010c)].....	235
Figura 407 – Selagem e injeção de fendas [LEB (2010c)]	235
Figura 408 – Costura de fendas [LEB (2010c)]	236
Figura 409 – Nivelamento do Pavimento das Abobadas [LEB (2010c)]	236
Figura 410 – Sistema de drenagem de paredes interiores e exteriores [LEB (2010c)]	236
Figura 411 – Pintura dos revestimentos [LEB (2010c)]	236
Figura 412 – Arcos em pedra [www.arcsives.com]	238
Figura 413 - Aqueduto de Segóvia [http://en.wikipedia.org/]	238
Figura 414 – Arcos, Grande Mesquita de Kairouan [commons.wikimedia.org]	239
Figura 415 – Abobada Cerâmica [Barros, Luís Aires (2001)].....	242
Figura 416 - Abobadas,Collège Bernardins, Paris [commons.wikimedia.org]	243

CAPÍTULO 1 | INTRODUÇÃO

1.1 | TEMA E ENQUADRAMENTO

Testemunho da existência humana, o património arquitectónico é prova tangível da diversidade da vida, espelho do passado do homem mas também da sua existência presente. Nele estão registados saberes, modos de estar e de ser, de trabalho ou de organização social. Deslumbrando-nos e emocionando-nos, os edifícios antigos são manifestação de uma herança comum, elo de ligação entre gerações subsequentes, memória colectiva da humanidade.

“A memória histórica (...)”, disse Castilla del Pino, “(..)está nos papéis a que chamamos documentos e está nas pedras que denominamos uma vezes fósseis, outras ferramentas ou utensílios, esculturas, anfiteatros, calçadas, fustes, capiteis, templos.”¹

Independentemente da sua dimensão, da sua aparente insignificância ou grandiosidade, sob a forma de monumentos, castelos, velhas igrejas, palacetes esmorecidos, pequenas construções ou ruínas, os edifícios antigos transmitem-nos valores e ensinamentos essenciais, revestindo-se significados e do carácter distintivo que os constitui como objecto de preservação.

Inseridas no espesso conjunto que constitui aquilo a que se pode chamar de património, encontra-se um tipo de estruturas que ao longo de milénios tem maravilhado e estimulado a nossa curiosidade: as estruturas arqueadas.

Se é verdade que numa busca permanente, desde a antiguidade até aos nossos dias, o Homem sempre procurou novas soluções para vencer vãos e criar espaços arquitectonicamente distintos, é interessante verificar que a construção de estruturas arqueadas se assume inequivocamente como uma das mais antigas técnicas desenvolvidas com vista a alcançar esses objectivos. O seu funcionamento estrutural particular, diferente do lintel horizontal,

¹ Castilla del Pino, Carlos (1993) – *La Memoria y la Piedra, Patrimonio: ¿Memoria o pesadilla?.* Memoria 1990-1992. Diputació de Barcelona, Barcelona, citado por Moreno-Navarro, A. (1999) – *La restauración objectiva (Método SCCM de restauración monumental).* Memória SPAL 1993-1998. Diputació de Barcelona, Àrea de Cooperació Servei del Patrimoni Arquitectònic Local, Barcelona, p.17.

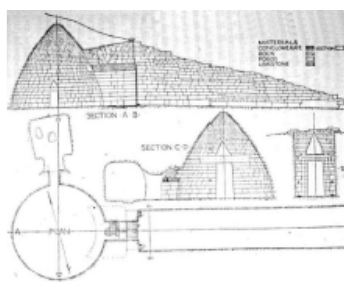
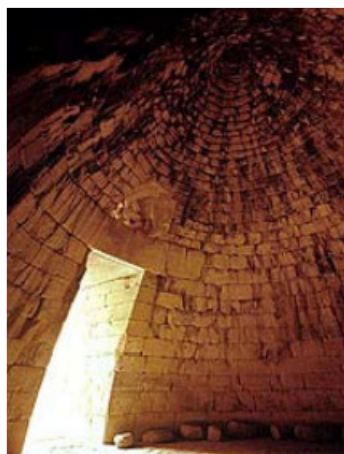


Figura 1 e 2 – Tumba de Atreu, Micenas

[Lau, Wanda W. (2006)]

deu lugar ao longo dos séculos à abertura de vãos cada vez maiores sem risco de colapso. Permitindo uma enorme variedade formal, que pode englobar todos os tipos de arcos, abóbadas ou cúpulas, para além da sua função prática as estruturas arqueadas possuem ainda fortes valores estéticos e simbólicos. Desde edifícios religiosos e monumentais a estruturas mais simples destinadas à habitação ou indústria, estabeleceram-se como elementos fundamentais da arquitectura desde tempos imemoriais, acompanhando ao longo dos tempos os desenvolvimentos sociais, artísticos e tecnológicos que marcaram cada época.

Indissociavelmente ligadas às culturas que lhes deram origem e dependentes da matéria-prima e técnicas construtivas disponíveis, são ainda hoje fortemente influenciadas pelas tradições locais e regionais de cada lugar. Devido ao arranjo no espaço dos elementos que as constituem, as estruturas arqueadas estão submetidas a forças internas favoráveis à utilização de materiais tradicionais, como as alvenarias de pedra, tijolo ou adobe e as argamassas de cal, gesso e terra, exibindo uma infindável diversidade de volumetrias, sistemas de funcionamento estrutural, materiais, texturas e cores, potenciando o seu conjunto de valores essenciais. Valores tangíveis como a forma e o aspecto definidos através da materialidade, estrutura e superfícies, mas também valores intangíveis como as relações espaciais que criam, o seu carácter histórico e tecnológico ou a sua identidade. Manifestando-se como continuidade dos saberes antigos, são testemunhos maiores da criatividade e engenho humanos, documentos materiais da história.

Com o passar do tempo sobre estas estruturas, decorrente de anos de uso, do envelhecimento próprio dos materiais devido à exposição aos agentes agressores, das alterações introduzidas por intervenções ao longo da sua exploração e utilização, ou mesmo devido a acidentes ou causas fortuitas, vamos assistindo à sua contínua e progressiva degradação. Neste contexto, as construções podem apresentar danos que limitem ou inviabilizem o seu uso ou apresentar-se apenas obsoletas e desadequadas face às novas exigências de vida.

À luz dos conhecimentos e práticas actuais a abrangência do conceito de *reabilitação* permite a resolução dos danos físicos e patologias existentes, assim como a promoção da melhoria das condições de uso e habitabilidade das construções permitindo-lhes satisfazer níveis

de desempenho actualizados², a que estará inevitavelmente associada a conservação dos valores fundamentais, integridade e autenticidade do objecto. *Conservação* que supõe a reutilização e integração máxima dos elementos pré-existentes, assegurando o respeito pelo seu valor documental, arquitectónico e simbólico e a sua salvaguarda para as gerações vindouras.

Para isso, é preciso conhecer profundamente o edifício ou elemento construtivo. Para além das questões éticas patentes nas cartas, normas e recomendações doutrinárias vigentes para a salvaguarda do património, importa reunir toda a informação relativa à sua caracterização histórica, material, construtiva e estrutural, bem como os processos de degradação ou alterações que sofreu e que deram origem à sua existência presente³.

O que pode existir de mais interessante que uma arquitectura onde é possível reconhecer um lugar habitado pela história, pela memória e pelo tempo? Ao conceito de reabilitação deverá estar sempre e inequivocamente associado o de conservação. Conservação daquilo que é genuíno, verdadeiro e original. E para conservar é necessário conhecer.

*“Encontra-se uma força especial nas coisas quotidianas (...) Apenas é preciso olhar o tempo suficiente para as ver”*⁴.

1.2 | MOTIVAÇÕES E OBJECTIVOS

Quer pela sua importância arquitectónica, quer pelas suas características estruturais, a construção de elementos arqueados reveste-se de enorme importância na composição das construções antigas, nomeadamente em edifícios históricos, o que leva a que a conservação deste tipo de estruturas se constitua cada vez mais como uma área essencial na reabilitação do património edificado existente.

Apesar de a sua deterioração ser um processo progressivo inevitável, seja devido ao reconhecimento dos seus valores fundamentais ou por



Figura 3 - Cúpula Panteão, Roma
[Foto do autor]

² Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de (2006) – *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, INH/LNEC, Lisboa, pp270.

³ Ramalho, M de Magalhães (2010) – *Arqueologia da Arquitectura ou o desvendar das idades da construção*. In *As Idades da construção - Técnicas e saberes da construção tradicional e sua aplicação à arquitectura contemporânea*. Ed IEFP, Lisboa, pp. 119-125.

⁴ Zumthor, Peter (2009) – *Atmosferas*, Editorial Gustavo Gili SL, Barcelona, p16.

razões económicas e utilitárias⁵, verificou-se desde sempre a necessidade do Homem em conservar e reutilizar continuamente algumas dessas construções.

Se no passado os meios disponíveis levaram a que a maior parte das intervenções de conservação em construções existentes fossem realizadas com os mesmos materiais e técnicas que foram usados na sua edificação⁶, com o advento do betão armado, material moldável, capaz de reproduzir qualquer forma que a imaginação ditasse e com um comportamento mecânico totalmente inovador, os antigos materiais e tecnologias de construção foram rapidamente postos de parte. Apesar de esta tendência se ter verificado apenas a partir de meados do século passado a realidade é que, devido ao abandono a que foram votados e à ausência de interesse das escolas de arquitectura e engenharia no seu estudo, ocorreu o gradual esquecimento das técnicas de produção, de dimensionamento e de aplicação dos materiais tradicionais⁷. Distanciando-nos progressivamente de matérias tão naturais como a madeira, o barro, a pedra e a cal, fomos perdendo saberes consagrados por séculos de experiência e começamos a conhecer cada vez menos a *alma* e as *entranhas* dos edifícios sobre os quais tínhamos um dia de intervir.

Nas últimas décadas, felizmente, com o aparecimento de novas disciplinas como a História da Construção e a Arqueologia da Arquitectura, os estudos sobre construções de alvenaria têm vindo a aumentar significativamente, e conseqüentemente, o aperfeiçoamento das técnicas de investigação e de análise tem conferido aos projectistas mais e melhores ferramentas para o planeamento das intervenções de conservação e reabilitação.

Se é verdade que do ponto de vista estrutural, o conhecimento relativo a arcos, abóbadas e cúpulas é bastante aprofundado e específico, existindo trabalhos recentes onde são identificados e expostos os principais mecanismos de comportamento e dimensionamento de estruturas arqueadas⁸ (dos quais se salientam

⁵ Verifica-se que ao longo dos tempos existiram espaços continuamente reutilizados e por consequência mantidos, apenas devido ao facto de ser menos dispendiosa a sua conservação e adaptação do que a sua substituição.

⁶ Deste modo era permitida a lenta sedimentação de elementos compatíveis e a manutenção do carácter original dos objectos.

⁷ Appleton, João (2003) – *Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e Técnicas de intervenção*, Orion, 1ª ed., Amadora.

⁸ Destes trabalhos destacam-se essencialmente os desenvolvidos por Jacques Heyman (1982, 1988, 1995, 1998, 1999 e 2008) Ainda neste âmbito, outros autores têm dado continuidade aos seus estudos no seio das universidades que integram,

os métodos de dimensionamento empíricos, gráficos e analíticos tradicionais), no que se refere às questões materiais e construtivas, o campo de estudo é muito mais vasto, tornando-se difícil a sua abordagem com o mesmo grau de eficiência. Nesta matéria têm sido desenvolvidos vários trabalhos⁹, nos quais se sistematizam em conjuntos organizados para vários tipos de elementos de construção de edifícios antigos, inúmeras questões relativas à sua materialidade, tecnologias construtivas utilizadas, às anomalias que geralmente os afectam e às soluções preconizadas para a sua intervenção. Salientam-se ainda neste âmbito o conjunto de estudos que têm vindo a ser realizados com vista à caracterização das alvenarias de pedra e tijolo¹⁰ ou de revestimentos¹¹ e que vieram conquistar o entusiasmo e o esforço de muitos. No entanto, salvo o mérito de todos estes documentos, a sua aplicação imediata às estruturas de alvenaria e, de forma ainda mais particular, às estruturas arqueadas, torna-se por vezes muito difícil dada a vastidão de temas tratados e do universo de construções abordadas.

Se no caso particular das estruturas arqueadas as intervenções conservação e de reabilitação assumem um carácter bastante específico, quer pela diversidade de elementos existentes, quer pelo tipo de patologia que lhes está geralmente associado, as dificuldades no estabelecimento de uma avaliação precisa dos fenómenos da sua deterioração e as incertezas assumidas na sua análise podem conduzir a conclusões de fiabilidade incerta, colocando em causa séculos de história e valores patrimoniais incalculáveis.

A par de uma necessidade cada vez maior de garantir a sobrevivência deste património construído, tendo como certeza que qualquer que seja o tipo de intervenção esta deverá ser realizada com base num entendimento total do objecto, vemo-nos agora obrigados a recuperar grande parte do conhecimento perdido. Este será imprescindível tanto para a compreensão e salvaguarda desse



Figura 4 - Abóbada cerâmica
[Ramalho (2008)]

como Ochsendorf (2002) em Cambridge, Block (2003) no IMT, Huerta (1999, 2001, 2003 e 2004), ou Gago (2004) no IST.

⁹ Destes salientam-se a nível internacional as compilações de Argilés *et al* (1999a, 1999b e 1999c), Feilden (2003), ou de Croci (2012). A nível nacional destacam-se os trabalhos de Appleton (2003), Aguiar & Paiva (2006), Córias (2007) e Branco & Brito (2010).

¹⁰ Salientam-se internacionalmente os trabalhos de Franke *et al* (1998) no que diz respeito à caracterização das alvenarias de tijolo e a nível nacional o trabalho de Barros (2001) relativamente á alvenaria de pedra.

¹¹ Destacando-se os trabalhos Aguiar (1999), Aguiar & Veiga (2003 e 2005) ou Veiga (2001, 2003, 2007b, 2010).

objecto por si só, como para a sua aplicação em soluções de intervenção, já que as técnicas de construção tradicionais serão com frequência as mais recomendáveis em termos de compatibilidade e eficácia¹².

Alimentada por uma curiosidade sempre maior sobre a singularidade das estruturas arqueadas e das antigas matérias que lhes dão corpo, a motivação para o desenvolvimento da presente dissertação resulta assim da consideração conjunta dos seguintes aspectos: (i) importância arquitectónica das estruturas arqueadas na reabilitação do património edificado; (ii) perda de saber relativo às técnicas de produção, de dimensionamento e de aplicação dos materiais tradicionais que as constituem; (iii) dispersão existente relativamente ao conhecimento sobre estas estruturas; (iv) a necessidade cada vez maior de conhecer estes objectos profundamente com vista à sua preservação.

O presente trabalho tem assim como principais objectivos a compilação do estado da arte no domínio envolvendo a sistematização de conhecimentos de ordem ética, histórica, tecnológica e científica, resultando na produção de uma metodologia de abordagem que:

- permita uma melhor compreensão e avaliação do funcionamento e patologia das construções arqueadas;
- se constitua como base de apoio na definição de estratégias e estabelecimento de soluções no âmbito de uma intervenção de conservação e reabilitação sobre estas estruturas.

1.3 | METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi desenvolvido em termos metodológicos fundamentalmente segundo dois aspectos:

- O primeiro, de natureza teórica, envolvendo o estudo do enquadramento doutrinário e metodológico que rege a actividade de conservação e salvaguarda do património arquitectónico e a caracterização das questões culturais, materiais, construtivas e estruturais das estruturas arqueadas, com base nas quais se procurou definir procedimentos associados à sua conservação, reabilitação e reforço.
- O segundo, de natureza teórico-prática, onde se apresenta a exposição e análise de três casos de estudo baseados em

¹² Appleton, João, *ob. cit.*, (2003).

intervenções de reabilitação/reforço, já projectadas e executadas e que permitem validar as metodologias e abordagem desenvolvidas.

Com vista ao desenvolvimento dos temas atrás referidos a presente dissertação encontra-se organizado em nove capítulos:

- **CAPÍTULO 1 | INTRODUÇÃO:** Onde se procura enquadrar o tema desenvolvido e explicitar as motivações e objectivos que se pretenderam alcançar com o trabalho.
- **CAPÍTULO 2 | CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO. ENQUADRAMENTO TEÓRICO E DOCTRINÁRIO:** Onde são apresentadas as principais teorias da conservação e o modo como evoluíram ao longo dos séculos. São enunciadas e sumariamente descritas as principais Cartas, Normas e Recomendações existentes, bem como os critérios orientadores e instrumentos hoje disponíveis para a prática da conservação e reabilitação. No seguimento desta exposição, é apresentado o conceito de conservação e reabilitação patrimonial e o conjunto de princípios e valores que lhe estão associados.
- **CAPÍTULO 3 | METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO. DA INVESTIGAÇÃO AO PROJECTO E EXECUÇÃO:** Reservado à apresentação das linhas orientadoras e metodológicas das intervenções de conservação e reabilitação. Desenvolvidas faseadamente, são neste capítulo definidos os objectivos específicos bem como as acções a desenvolver no âmbito da fase de investigação, análise e diagnóstico, passando pelas fases de projecto e execução. Dada a sua importância no processo são ainda apresentadas com mais pormenor as acções interessadas na fase de investigação e de recolha de informação, nomeadamente as inspecções, levantamentos e caracterização experimental.
- **CAPÍTULO 4 | ARCOS, ABÓBADAS E CÚPULAS. CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICA E CONSTRUTIVA:** No qual é realizada a contextualização histórica das estruturas arqueadas onde são explorados os principais avanços culturais, conceptuais e tecnológicos que impulsionaram a sua evolução ao longo do tempo. No seguimento desta exposição é apresentada a caracterização construtiva das construções arqueadas incluindo a sua definição material bem como as tecnologias e processos construtivos que lhes deram origem.
- **CAPÍTULO 5 | MECÂNICA DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL. A ACTUALIDADE DO SABER ANTIGO:** Com bases científicas sólidas, mas sem o recurso a cálculos matemáticos complexos, efectua-se neste capítulo



Figura 5 - Arcos, Caesarea, Israel
[Gago, António (2014)]

uma incursão ao modo de funcionamento estrutural das estruturas arqueadas. Para isso, são explicadas de forma breve as principais características mecânicas do material alvenaria e o modo de funcionamento estrutural do arco, o qual é generalizado para as abóbadas e cúpulas. Posteriormente são apresentados os principais métodos de dimensionamento usados desde a antiguidade passíveis de serem recuperados e a sua evolução até aos nossos dias.

- **CAPÍTULO 6 | PATOLOGIA ESTRUTURAL E CONSTRUTIVA FUNDAMENTAL:** Onde são sistematizadas as principais anomalias de carácter estrutural e não estrutural que afectam as estruturas arqueadas de alvenaria de tijolo cerâmico ou pedra e os seus revestimentos. Numa perspectiva pedagógica e na tentativa de uma maior clarificação do que poderá ser o quadro patológico deste tipo de estruturas, considerou-se importante fazer a sua associação às principais causas que lhes possam ter dado origem e aos mecanismos de degradação que lhes estão associados.
- **CAPÍTULO 7 | PRINCIPAIS SOLUÇÕES DE INTERVENÇÃO:** Onde se sistematizam as estratégias e técnicas de intervenção mais comuns para a conservação e reabilitação de estruturas arqueadas. Esta sistematização está associada a níveis ou graus de intervenção, podendo as acções desenvolver-se num contexto não estrutural ou estrutural.
- **CAPÍTULO 8 | CASOS DE ESTUDO:** Com o objectivo de demonstrar aplicabilidade da informação recolhida e apresentada no presente trabalho, apresentam-se neste capítulo três estudos de caso. Pela sua abrangência e pertinência seleccionaram-se: o Projecto de Conservação e Restauro do Arco da Rua Augusta da; o Projecto de Conservação e Consolidação Estrutural do Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz e o Projecto Reabilitação dos Antigos Celeiros da EPAC em Évora.
- **CAPÍTULO 9 | CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS:** No qual se apresentam as principais conclusões do trabalho desenvolvido, bem como alguns aspectos que podem ser objecto de futuros desenvolvimentos.

CAPÍTULO 2 | CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO. ENQUADRAMENTO TEÓRICO E DOUTRINÁRIO

2.1 | ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO

Desenvolver uma tipificação para as metodologias de conservação e reabilitação de estruturas antigas é uma tarefa extremamente difícil, resultante de um longo processo iterativo e interdisciplinar. À multiplicidade de conhecimento e de decisões envolvidas, acresce ainda a especificidade de cada construção e a complexidade do meio ambiente que a envolve, transformando cada intervenção num momento único e irrepetível da história, assim como o objecto sobre o qual é realizada.

Face às dificuldades descritas, considera-se importante identificar genericamente aquilo que é o enquadramento teórico e doutrinário da prática da conservação.

No âmbito do presente capítulo, serão apresentadas as principais teorias da conservação bem como as principais Cartas, Normas e Recomendações existentes. No seguimento desta exposição, tentar-se-á fazer a clarificação do que hoje se entende por conservação e reabilitação patrimonial, bem como dos conceitos e valores que lhe estão associados.

2.2 | HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DAS TEORIAS DA CONSERVAÇÃO

2.2.1 | PONTO DE PARTIDA

Durante muito tempo e até ao século VII, palácios, capelas, igrejas, foram edificados segundo os saberes construtivos, as normas e o estilo vigente, sobre a ruína parcial ou reutilizando construções disponíveis. As novas composições integravam-se e mesclavam-se com as novas arquitecturas agora renovadas.

Com o Renascimento Italiano dos séculos XIV a XVI surgem novas formas de olhar para o património construído, estabelecendo-se

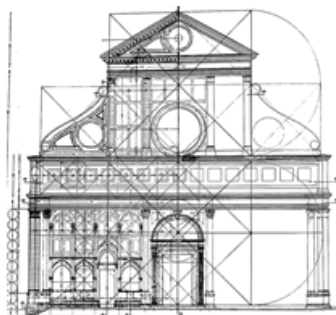


Figura 6 - Esquema da fachada da Igreja de Santa Maria Novella, León Batista Alberti, Relações entre preexistências e obra nova [Fernández Alba, Antonio et al. (1997)]



Figura 7 - Fachada da Igreja de Santa Maria Novella [Fernández Alba, Antonio et al. (1997)]

como a época onde nasceram e tiveram origem os primeiros conceitos referentes à teoria e história da conservação¹³.

Este passa a ser apreciado e estimado como herança cultural e vestígio da antiguidade clássica, altamente valorizada à época. É ao papado que cabe a liderança das acções de conservação, chegando a ser emitida legislação que incluía disposições para evitar a destruição dos monumentos, a utilização de partes destes como materiais de novas construções, ou a pilhagem de achados arqueológicos. Exemplos relevantes foram o Papa Martinho V (1425) que cria o posto de *magistri viarium* com o objectivo da reparação de ruas, muros e de edifícios, o Papa Pio II (1462) que ameaçava de excomunhão quem se atrevesse a demolir ou *convertesse em cal* as pedras dos edifícios da Antiguidade, mesmo que em propriedade privada e o Papa Sisto IV (1574)¹⁴.

Durante este período são realizados os primeiros restauros do Coliseu em Roma e do Fórum de Trajano, sendo o trabalho de arquitectos como Brunelleschi ou Alberti¹⁵ impulsionado pela redescoberta dos textos de Vitruvius *De Architectura*.

Durante os séculos XVI e XVII restaurar significava de forma geral o reutilizar de uma construção disponível, recuperada ou renovada através de interpretações contemporâneas do passado clássico. Deste modo, a preservação do património ou de partes deste, era então realizada através da adaptação ou alteração do uso da própria construção, sucessivamente ocupada e reaproveitada.

¹³ Sobre as teorias e história da conservação existem estudos bastante completos de diversos autores dos quais se tomaram como referência os trabalhos de: Ceschi, Carlo (1970) – *Teoria e storia del restauro*, Mario Bulzoni Editore, Roma; Choay, Françoise (1992) – *L'allegorie du Patrimoine*, Ed du Seuil, Paris; Jokilehto, J. Toronto (1986); *A History of Architectural Conservation, The contribution of English, French, German and Italian thought towards an international approach to the conservation of cultural property*, Ph.D. Dissertation, The University of York, York. Para além destes, recorreu-se à compilação realizada por Aguiar, José (1999) – *Estudos Cromáticos nas Intervenções de Conservação em Centros Históricos: Bases para a sua aplicação à realidade portuguesa*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Conservação do Património Arquitectónico. Tese elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade de Évora, Évora e ao trabalho AA.VV. (1999) – *Teoria e Historia de la Rehabilitacion: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla;Léria, Madrid.

¹⁴ Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capítulo 2, p.12.

¹⁵ Nos dez livros do *De Re Aedificatoria* de Alberti ecoa conscientemente a escrita de Vitruvius. Permanecendo como o tratado clássico sobre arquitectura do século XVI ao XVIII, contém no último dos livros - *Restauração de Edifícios* - a estruturação da primeira teoria de projecto que lida com a conservação de pré-existências e a sua reutilização. Veja-se Choay, Françoise, *ob. cit.*, (1992), p.17.

Miguel Ângelo converte nesta altura as Termas de Diocleciano na Igreja de Santa Maria dos Anjos, e aproveita os revestimentos pétreos do Coliseu (fora de uso) para vestir as suas obras. Também Bernini no Panteão faz uma total renovação, quando ao reutilizar o edifício existente, introduz os campanários convertendo-o em igreja, do qual as ferragens de cobre foram mais tarde arrancadas para fabricar o Baldaquino em São Pedro.

Só a partir de finais do séc. XVIII surge verdadeiramente uma ideia de restauro que se aproxima do significado actual. Com o classicismo setecentista o gosto pela cultura da antiguidade é de novo reavivado. Potenciadas pelas descobertas arqueológicas de Pompeia e Herculano e pelas campanhas na Magna Grécia, a Arqueologia e a História de Arte afirmam-se como disciplinas essenciais para o conhecimento objectivo do *Monumento Histórico*, merecendo grande atenção das academias e dos teóricos.

Através de rigorosos levantamentos de arqueológicos e do conhecimento científico e histórico das construções, a Arquitectura passa agora a ser perfeitamente classificada e encaixada dentro de estilos e épocas. *O passado é encerrado em limites precisos, surgindo no mesmo momento um novo espaço-tempo de distanciação para com a contemporaneidade. A noção de antiguidade adquire uma dimensão estética, a apreciação da beleza do passado introduz a necessidade de garantir a preservação de valores cuja consciência é então adquirida de forma intensa e definitiva pela cultura ocidental*¹⁶.

2.2.2 | REVOLUÇÃO FRANCESA E INDUSTRIAL. AS BASES DO RESTAURO MODERNO

Com o vendaval da Revolução Francesa na entrada para o século XIX, nasce em França a necessidade de se combater a onda de vandalismo ideológico que se instala sobre muitos monumentos ligados às estruturas monárquicas absolutistas e à igreja. Tentando travar a anarquia e a destruição do património histórico edificado, ressalta o nome e a voz de Abbé Henri Grégoire (1750-1831) membro do comité de instrução pública¹⁷: “*Os bárbaros e os escravos detestam*



Figura 8 - Termas de Diocleciano
[<http://www.disfrutaroma.com/>]



Figura 9 - Panteão de Roma, primeiro decénio do século XVIII
[<http://prabowoherry.wordpress.com/>]



Figura 10 - Pompeia
[<http://www.institutoandreluiz.org/>]

¹⁶ Referido por Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capitulo 2, p.13.

¹⁷ É ele o criador da palavra “vandalismo” e a quem se devem importantes relatórios de real valor sobre a conservação do património, salientando já nesta altura que os monumentos devem ser preservados como um todo e mantidos nos seus lugares originais. Veja-se Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capitulo 2, p.14.



Figura 11 - Revolução Francesa, Delacroix

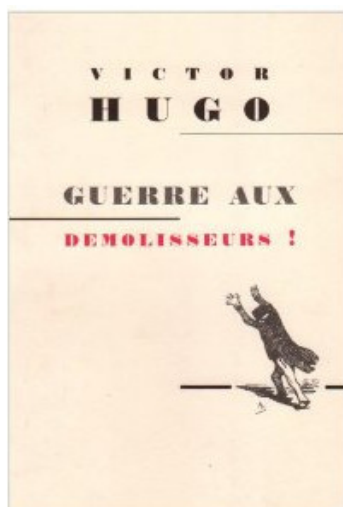


Figura 12 - *Guerre Aux Démolisseurs!* de Vitor Hugo

as ciências e destroem os monumentos das artes, os homens livres amam-nos e conserva-nos". No seguimento deste apelo, são então criadas estruturas normativas que prevêm a punição para aqueles que destruíam os edifícios ou monumentos cujo valor educativo como património cultural do país justificava o dever da sua salvaguarda.

Com a nacionalização de bens do clero, dos emigrados e da coroa, o património da nação aumentava de dia para dia, urgindo a sua conservação. Neste contexto é realizado o inventário sistemático de todos os bens móveis e imóveis com valor e realizada a sua classificação, sendo ainda definidos os critérios para a sua protecção e gestão. Entre 1790 e 1793 é criada uma comissão de controlo e de execução prática, a *Commission des Monuments*¹⁸ e publicadas as *Instruções sur la manière d'inventaire e de conserver* para a preservação das obras de arte e de monumentos.

É no seguimento deste contexto de classificação e reorganização do sistema de gestão do património, que em 1831 é criado em França o cargo de *Inspecteur Général des Monuments*, atribuído a Ludovic Vitet (1802-1873). Com a mesma função segue-se Prosper Mérimée¹⁹ (1803-1870). Durante os seus quase 30 anos de actividade são classificados milhares de edifícios e criam-se sólidas bases para o desenvolvimento do Restauro Estilístico, o qual atingirá o seu auge com Viollet-Le-Duc.

Após os tempos revolucionários Franceses e da explosão plena da Revolução Industrial, com o anúncio de um novo mundo, redescobri-se o valor do que se perde, reforçando-se a consciência e sensibilidade face ao património histórico e aos testemunhos culturais do passado.

A procura de meios de preservação teoricamente cada vez mais sólidos conduz então ao desenho de várias linhas de pensamento que conduzirão a estratégias de intervenção distintas. Em França Viollet-Le-Duc defende o Restauro Estilístico, que em Inglaterra é contraposto por John Ruskin e pelo Restauro Romântico ou a chamada Conservação Estrita. Por sua vez em Itália, alguns anos

¹⁸ Choay, Françoise, *ob. cit.*, (1992), p.79.

¹⁹ Tal como o seu antecessor, foi apoiado por uma comissão de notáveis da qual fizeram parte Vitor Hugo, Montalbert ou Vitor Coussin. Sobre esta matéria ver Hugo, Vitor (1990) – *Guerre aux démolisseurs*, em *Notre Dame de Paris*, Galimard, Paris e Choay, Françoise, *ob. cit.*, (1992), pp.112-115, referidos por Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capitulo 2, p.16.

antes e no seio de uma política de actuação mais moderada, Stern e Valadier vão definir a corrente a que se chamou Restauro Arqueológico.

2.2.3 | RESTAURO ESTILÍSTICO “VERSUS” CONSERVAÇÃO ESTRITA

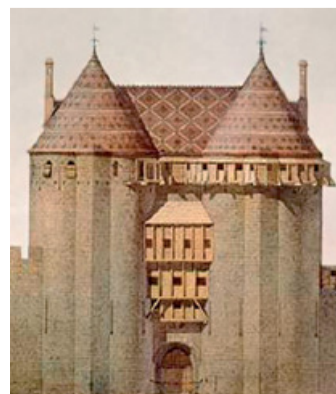
Durante o segundo quartel do século XIX, influenciado pelos avanços da Arqueologia, Ciências Naturais, e História da Arquitectura, Viollet-Le-Duc (1814-1879) propõe o restauro através da recomposição e reconstituição da construção tendo por referência escrupulosa o seu estilo original unitário²⁰. No decorrer da catalogação e associação do edifício a uma determinada época, assumia-se que este teria sido concebido segundo uma lógica estilística particular, devendo o processo de restauro ser orientado e para a recuperação total da linguagem primitiva inicial.

Deste modo, era totalmente aceite e defendida a cópia e reprodução das formas, proporções e motivos análogos, previamente pesquisados e consultados em arquivos históricos, no próprio monumento, ou em monumentos da mesma época no mesmo país. Mais grave, seria a ideia de que o objecto de restauro deveria ser liberto de todos os elementos arquitectónicos acrescentados ao longo do tempo pelas gerações subsequentes.

“Restaurer un édifice, ce n’est pas l’entretenir, le réparer ou le refaire, c’est le rétablir dans un état complet qui peut n’avoir jamais existé à un moment donné”²¹.

Esta abertura à reconstrução mimética e à expurgação de tudo o que contrariasse o *estilo original*, nem sempre controlada pela verdade histórica mas influenciada por ideais historicistas e nacionalistas, levou a que se permitissem acções excessivamente imaginativas e à falsificação de muitos monumentos, de que é exemplo Pierrefonds.

Contudo, foram inúmeros os seguidores de Viollet-Le-Duc, não só em França mas em toda a Europa, mantendo-se entre nós a sua influência até meados do século XX, ressurgindo em muitas ocasiões no seguimento da destruição causada pelas duas Grandes Guerras



Figuras 13 e 14 - Estudos de Viollet-Le-Duc para o restauro de Carcassonne
[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]



Figura 15 - Pierrefonds antes do restauro
[<http://38.media.tumblr.com/>]



Figura 16 - Pierrefonds após o restauro
[<http://webtournaire.com/>]

²⁰ As suas ideias e teorias foram expostas e compiladas na extensa obra em dez volumes *Dictionnaire Raisonée de l’Architecture Française*, cuja acção se fez sentir em inúmeros monumentos dos quais se destacam a basílica de Sainte Marie-Madeleine de Vézelay, ou as catedrais de Amiens, de Reims ou de Clermont-Ferrand e ainda a cidade fortificada de Carcassonne.

²¹ Em Viollet-le-Duc, Eugène (1866) – *Restauration, Dictionnaire Raisonée de l’Architecture Française du XI^e au XII^e siècle*, Tomo 8, A. Morel Éditeur, Paris, citado por Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capítulo 2, p.23.



Figura 17 - Sé do Porto antes do restauro (1945)
[Ramalho, M. de Magalhães (2008/2009)]

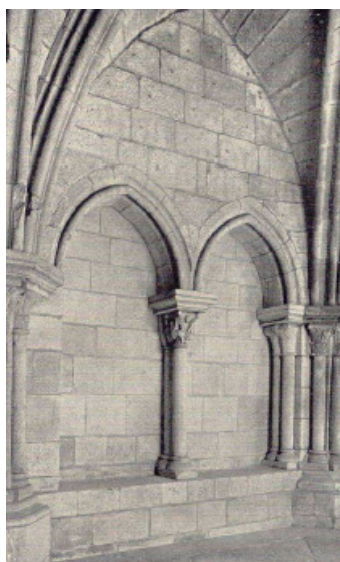


Figura 18 - Sé do Porto após o restauro (1946)
[Ramalho, M. de Magalhães (2008/2009)]

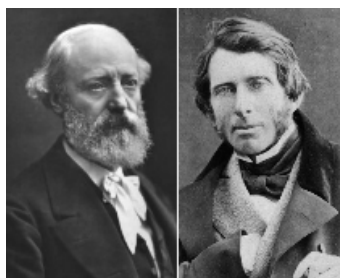


Figura 19 - Eugène Viollet-le-Duc (Esquerda) e John Ruskin (Direita)
[<http://en.wikipedia.org/>]

Mundiais. Exemplo são em Portugal os trabalhos de restauro da Sé de Lisboa e do Porto que levaram à remoção de importantes estuques e talhas dos séculos XVII e XVIII, e a remoção dos acrescentos Barrocos do Mosteiro de Alcobaça²².

Contemporâneo de Viollet-Le-Duc e opositor às suas ideias é o inglês John Ruskin. Este liderava uma corrente antagónica à Francesa, considerando que as marcas do tempo faziam parte da essência do monumento e, como tal, pertenciam a toda a Humanidade devendo ser respeitadas e conservadas no seu todo.

Com todas as suas depurações, o Restauro Estilístico provocava uma perda irreparável do conteúdo histórico e documental das construções, bem como o seu valor memorial e poético. Ruskin condenou fortemente este pensamento colocando em causa a objectividade do método de Viollet e por consequência, a *verdade* e *autenticidade* do objecto restaurado. Sustentando a conservação como alternativa ao restauro, as suas ideias foram publicadas em dois textos fundamentais: *The Seven Lamps of Architecture* (1849) e *The Stones of Venice* (1853).

Ruskin considerava que os monumentos tinham um ciclo de vida assim como os organismos vivos, uma descontinuidade desse ciclo constituía-se como um sacrilégio, um lapso no tempo, uma interrupção na História. Deste modo, a sua contribuição ideológica fundava-se na conservação estrita e na intervenção mínima. A defesa e preservação do valor da memória e do passar dos séculos sobre os objectos tornava-se então fundamental, bem como o valor do seu uso por gerações sucessivas, com todos os acrescentos, transformações e decaimento sofridos. O monumento é consagrado como *Monumento Histórico*, sendo proclamada a sua conservação como tal²³.

*“We have no right whatever to touch them. They are not ours. They belong partly to those who built them and partly to all the generations of mankind who are to follow us (...)”*²⁴.

²² Gomes da Silva, Henrique (1935) – *Monumentos Nacionais, orientação técnica a seguir no seu restauro*, em *Boletim da Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais*, nº1, Setembro, pp.9-20, citado por Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capítulo 2, p.25.

²³ Só mais tarde, já nos finais do século XIX estas concepções encontram expressão, generalizando-se em Inglaterra com o movimento *Arts and Crafts* de William Morris, e com a *Society for the Protection of Ancient Buildings* (SPAB), suportando parte dos ideais que hoje conhecemos.

²⁴ John Ruskin – *The Seven Lamps of Architecture*, publicado pela primeira vez em 1849, citado por Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capítulo 2, p.28.

2.2.4 | RESTAURO ARQUEOLÓGICO

Por outro lado, em Itália, já na primeira metade do séc. XIX, Raffaele Stern (1774-1820) e Giuseppe Valadier (1762- 1839) conduzem a prática do que se clarificou como Restauro Arqueológico, protagonizando um caminho mais equilibrado entre aquilo que seria a reconstituição arqueológica Francesa e a conservação estrita Inglesa.

Dos seus trabalhos salienta-se a intervenção para a recuperação do Arco de Tito (1817-1821), no decorrer da qual são reintegradas na construção existente as peças em falta descobertas no decorrer das obras, sendo as lacunas preenchidas com um material diferente do original, essencializando as formas. Deste modo era possível a distinção entre o material pré-existente e a nova intervenção, mantendo a unidade do conjunto, operação a que hoje se dá o nome de *anastylosis*. De Stern é também o primeiro restauro do Coliseu de Roma (1807-1826), que consolida o lado Sul com um sólido muro estrutural de um novo material distinto do original, preenchendo os ocos periclitantes da estrutura em pré-ruína e *congelando* a sua posição no tempo e espaço. Mais tarde (1823) é a extremidade voltada para o Fórum que será rematada por Valadier que procede a reconstituição parcial das zonas em falta através da utilização de materiais também diferentes das originais, porém totalmente integrados no conjunto.

Para estes arquitectos, o papel do restauro seria o de garantir a recomposição adequada e diferenciada de determinados elementos essenciais, removendo apenas acrescentos sem valor arquitectónico ou histórico, sendo a conservação usada como garantia da imutabilidade da unidade formal e visual do objecto, concepção esta extremamente actual.

2.2.5 | DO RESTAURO HISTÓRICO, AO RESTAURO CIENTÍFICO E CARTA DE ATENAS

Em Itália, durante as últimas décadas do século XIX as críticas a Viollet-Le-Duc e Ruskin e às suas doutrinas consideradas exageradas mantêm-se conduzindo a posições teóricas mais moderadas na continuidade do trabalho de Stern e Valadier.

Nascem então novas teorias baseadas nos ideais de Camilo Boito (1836-1914) e de Luca Beltrami (1854-1933) seu discípulo, definindo-



Figura 20 - Arco de Tito actual, Roma

[Foto do autor]

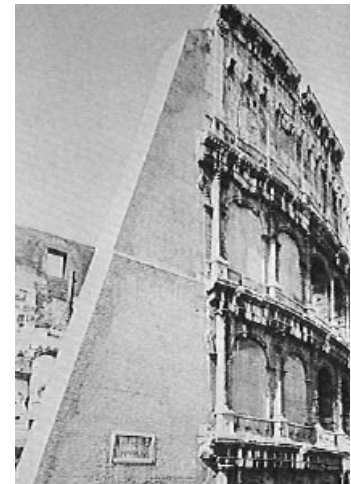


Figura 21 - Restauros de Stern no Coliseu, Roma

[Fernández Alba, Antonio *et al.* (1997)]



Figura 22 - Restauros de Valadier no Coliseu, Roma

[Fernández Alba, Antonio *et al.* (1997)]



Figura 23 - O Campanile destruído, Praça de São Marcos, Veneza
[Fernández Alba, Antonio et al. (1997)]



Figura 24 - O Campanile actual, Praça de São Marcos, Veneza
[Foto do autor]

se a corrente a que se chama Restauro Histórico²⁵. Neste contexto qualquer intervenção teria de se apoiar obrigatoriamente em dados objectivos, vestígios físicos, desenhos, documentação, referências e toda a informação disponível para a reconstituição do edifício, considerando os seus diferentes tempos históricos e fases construtivas²⁶.

O *com'era, dov'era* de Luca Beltrami exprime esse acto de reconstrução assente em métodos de investigação rigorosos que não permitiam a especulação do Restauro Estilístico. Foi com base nas suas teorias que se *reproduziu ou ripristinou*²⁷ o Campanile da Praça de S. Marcos em Veneza (1912), reconstruindo integralmente o objecto original usando soluções estruturais modernas, ou o Castelo Sforzesco em Milão (1893). Porém, a cópia ou a *reconstrução conforme o original*, mesmo que estética, construtiva e materialmente idêntica, levantou e continua a levantar questões de autenticidade, só muito mais tarde colocadas.

Camilo Boito é quem finalmente legitima e potencia a prática da conservação do património não admitindo o *falso histórico*, na corrente conhecida por Restauro Filológico. É então compreendido para além do valor artístico, o valor histórico do monumento enquanto testemunho, preferindo-se a conservação ao restauro. Caso o último seja inevitável, as intervenções realizadas deverão ser distintas da construção original permitindo uma adequada leitura do conjunto.

No III Congresso de Arquitectos e Engenheiros Civis de Roma (1883), Camilo Boito expõe os seus princípios enunciados nas *Risoluzione*, cujo conteúdo reverteu para a primeira legislação Italiana sobre conservação do património, e dos quais se destacam as seguintes linhas²⁸:

- Os monumentos são documentos privilegiados da História, logo a sua alteração não era admitida.

²⁵ Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capitulo 2, p.30.

²⁶ Argilés, Josep M. et al (1999a) - *Teoria e Historia de la Rehabilitacion: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla; Léria, Madrid, p.32.

²⁷ Define-se ripristinação como ato ou efeito de ripristinar; restauração funcional ao estado primitivo; restabelecimento de uma condição anterior; restauração do aspecto ou forma primitiva, extirpando o que lhe havia sido eventualmente acrescentado.

²⁸ Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capitulo 2, p.34.

- *A intervenção deveria ser limitada aos mínimos necessários “(...) antes consolidado que reparado, antes reparado que restaurado (...)”*
- Os acrescentos ou renovações só seriam permitidos por motivos de força maior, devendo identificar-se a sua contemporaneidade sem colidir com o carácter da construção original. Deverá existir diferenciação de materiais e seu emprego, sendo permitida a simplificação da ornamentação nos novos elementos.
- Considerava-se inaceitável a depuração para obter unidade estilística, devendo ser preservados todos os acrescentos desde que tenham valor.
- Deveria ser elaborada a memória descritiva do processo de intervenção bem como registo gráfico de todas as fases dos trabalhos, com publicação de elementos. As zonas restauradas deveriam ser identificadas permitindo um fácil reconhecimento.

A estas ideias junta-se ainda o contributo de Gustavo Giovannoni (1873-1947), aluno de Boito e precursor do Restauro Científico. Legítimo seguidor de Boito, Giovannoni continua a defender a autenticidade dos monumentos enquanto documentos históricos e obras de arte, entendendo o rigor científico como instrumento essencial ao esclarecimento de questões essenciais, sustentando o princípio da intervenção mínima, a preferência por uma consolidação estrita em oposição ao restauro e à necessidade de preservação e manutenção regular dos monumentos.

Giovannoni considerava a existência de cinco modelos possíveis de actuação, ordenados pela sua prioridade: (i) consolidação que poderia ser realizada com materiais e tecnologias novas desde que focassem ocultos; (ii) recomposição ou *anastylosis* recuperando a imagem do monumento; (iii) completamento assente em sólidas bases documentais; (iv) remoção de partes não originais que carecem de valor patrimonial; (v) inovação admitida quando inevitável e garantindo a sua identificação clara.

O interesse que tinha pelo ambiente e urbanidade da envolvente dos monumentos conduziu à ampliação do corpo de actuação da conservação. Deste modo valoriza as chamadas *arquitecturas menores* como contexto e matriz onde *arquitectura monumental* se insere e se enquadra. Estas reflexões conduzem-no à valorização do



Figura 25 e 26 - Reconstrução por Luca Beltrami da torre central do Castelo dos Sforza, Milão
[Fernández Alba, Antonio *et al.* (1997)]

papel da cidade e do património urbano²⁹, à condenação dos esventramentos higienistas das envolventes e centros históricos, que deveriam ser defendidos e protegidos à semelhança do que acontecia para os monumentos.

Os seus princípios e ideias foram compilados numa bibliografia extensa e valiosa da qual se destacam as *Questioni d'architecture* (1924) e *Il restauro dei monumenti* (1945), onde se expõem as questões fundamentais do seu pensamento.

Em 1931 dá um importante contributo para a elaboração da *Carta de Atenas* redigida no seguimento da Conferência Internacional sobre a Protecção e Conservação de Monumentos de Arte e História. Neste documento eram compiladas pela primeira vez as preocupações nacionais de diversos países com a preservação do seu património, bem como os ideais das correntes teóricas mais influentes à época, dos quais se destacam:

- O restauro baseado em restituições integrais deve ser evitado em favor da conservação da sua autenticidade. Deve ser fomentada a manutenção regular e a preservação dos vestígios das diversas épocas históricas.
- Os monumentos são bens públicos, pelo que se defende a primazia do interesse colectivo sobre o privado.
- A utilização funcional dos monumentos deve ser a adequada
- É desencorajada a remoção de obras de arte do seu contexto físico, sendo a anastylosis legitimada desde que os novos materiais sejam claramente reconhecíveis.
- Aceita-se a utilização de materiais modernos desde que não se altere o aspecto exterior do monumento.
- Recomenda-se o recurso á ciência e a uma prática pluridisciplinar, assim como a difusão dos resultados obtidos e dos procedimentos metodológicos mais adequados à conservação.

No conjunto de princípios e recomendações que encerra, a *Carta de Atenas*, constitui-se assim como aquele que foi considerado o primeiro acto normativo internacional exclusivamente dedicado à conservação do património.

²⁹ Um século antes Ruskin tinha já sido acérrimo militante da preservação das cidades históricas, atribuindo aos conjuntos urbanos históricos o valor da ligação memorial e cultural entre gerações

2.2.6 | O RESTAURO CRÍTICO DE CESARE BRANDI

Com as destruições massivas da Segunda Grande Guerra e com a necessidade de recuperar rapidamente as cidades europeias em muitos casos totalmente destruídas, as teorias e lentas práticas do Restauro Científico foram abandonadas, passando a usar-se quando necessário, metodologias mais expeditas de restauro ou de reconstrução, das quais foi exemplo o caso de Varsóvia.

Surgem então vozes dissonantes alertando para os perigos das novas correntes, originando um novo movimento, o *Restauro Crítico*, do qual foram protagonistas Robert Pane e Cesare Brandi. Segundo a teoria de Brandi, a qualidade de uma intervenção está ligada ao reconhecimento do objecto como *obra de arte*, estética e historicamente, com vista à sua transmissão para o futuro. Para Brandi a obra de arte constitui uma unidade pelo que não pode considerar-se composta por partes, logo, na sua reconstituição devemos limitar-nos a seguir “(...) *as sugestões implícitas nos seus próprios fragmentos ou obtidas em testemunhos autênticos do (seu) estado original*”³⁰ negando a possibilidade de intervir por *analogia* numa obra de arte fragmentada e evitando a todo o custo a produção de um falso histórico.

A reconstituição de uma obra de arte deveria então obedecer aos seguintes princípios gerais³¹:

- As integrações deveriam ser reconhecíveis sem prejudicar a unidade, ou seja, invisíveis à distância e imediatamente identificáveis quando observadas em detalhe
- A matéria é sempre insubstituível se colaborar na imagem enquanto aspecto e não estrutura.
- Qualquer intervenção de restauro deve permitir e facilitar intervenções futuras.
- Na colmatação das lacunas devem reintegrar-se as partes em falta com materiais e texturas que permitam obter tons e cores com luminosidades próximas da composição envolvente, de modo a conseguir neutralizar o padrão figurativo que as lacunas geralmente apresentam.



Figura 27 - Destruições massivas da Segunda Grande Guerra [Aguiar, José (2011/2012)]



Figura 28 e 29 - Reconstrução mimética de fachadas de edifícios antigos destruídos com elementos prefabricados de betão, Varsóvia e Berlim

[Aguiar, José (2011/2012) e Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006) respectivamente]

³⁰ Brandi, Cesare (1963) – *Teoria do Restauro*, Piccola Biblioteca Einaudi, (2ª ed. de 1997), Turim, p.17.

³¹ Cesare Brandi, *ob. cit.*, (1963), pp.17-18, referido por Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capítulo 3, p.6.



Figura 30 - Teoria do Restauro de Cesare Brandi

Por outro lado, Brandi defendia que “(...) o restauro para apresentar uma operação legítima, não deveria presumir nem o tempo como reversível nem a abolição da História”³², devendo ele próprio ser incluído no próprio processo histórico da obra. Para tal dever-se-ia: (i) diferenciar as zonas integradas do original, tendo em conta a posição do observador; (ii) respeitar a acção do tempo sobre a obra; (iii) preservar e amostras e partes originais que representassem o objecto original antes do restauro. No seguimento destes princípios, é sublinhada a importância da conservação de acrescentos e vestígios de anteriores intervenções, pois também elas fazem parte da historicidade do objecto considerando que a “destruição de um documento não se documenta a si mesma”³³ abolindo um lapso de tempo.

Obedecendo a um rigoroso processo metodológico e de análise histórica e científica, é então instaurada a acção que deverá ser reduzida ao mínimo, respeitando os materiais originais e toda a sua história e registando com rigor todo o processo que se tornará também ele parte da história do objecto.

As propostas e princípios de Brandi viriam assim a instaurar as bases da teoria de conservação e reabilitação modernas, pelo seu equilíbrio e abrangência. Ficavam assim lançadas as primeiras regras para a conservação do património arquitectónico, cujos princípios iriam influenciar decisivamente as normas internacionais e os documentos fundamentais hoje existentes.

2.3 | CARTAS, NORMAS E RECOMENDAÇÕES

2.3.1 | ORGANISMOS REPRESENTATIVOS E DOCUMENTOS RELEVANTES

Após a II Guerra Mundial (1939-1945) foi criada a Organização Mundial das Nações Unidas (ONU) e no seu âmbito, em 1945, a United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Tendo um papel fundamental na salvaguarda do Património Cultural a nível global, esta organização promoveu a elaboração de convenções e recomendações, e encorajou a criação de diversas organizações especializadas, tais como o Conselho Internacional de Museus (ICOM), fundado em 1946, e o Centro

³² Cesare Brandi, *ob. cit.*, (1963), p.27, referido por Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capítulo 3, p.8.

³³ Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capítulo 3, p.9.

Internacional de Estudo para a Conservação e o Restauro dos Bens Culturais (ICCROM), em 1957.

Com o objectivo da defesa dos valores de âmbito social, económico, cultural, científico e administrativo, foi criado ainda em 1949 o Conselho da Europa, estando este na origem de novos princípios e filosofias de abordagem do património cujo conceito tem vindo a ser alargado progressivamente.

Em 1964 na sequência do II Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos dos Monumentos Históricos, com o apoio da UNESCO, do Conselho da Europa, do ICCROM e do ICOM, funda-se o Conselho Internacional dos Monumentos e dos Sítios (ICOMOS) que, para além do contributo essencial que tem dado na preparação de diversas recomendações é responsável pela elaboração da lista do Património Mundial da UNESCO.

Em Portugal é criado em 1980 o Instituto Português do Património Cultural (IPPC), que se desdobra entre 1991 e 1992 no Instituto Português do Património Arquitectónico e Arqueologia (IPPAR) e no Instituto Português dos Museus (IPM). Mais tarde, em 1996, a partir do IPPAR nasce o Instituto Português do Património Arquitectónico (IPPAR) e o Instituto Português de Arqueologia (IPA).

Como já se verificou, a progressiva consciencialização da noção de património e da sua salvaguarda tem dado origem a uma inúmeras correntes de pensamento, de teorias e de abordagens sobre o valor dos bens a preservar e a melhor forma de o fazer. Neste contexto, os organismos internacionais acima referidos têm feito um enorme esforço de debate e reflexão sobre o tema, produzindo ao longo dos anos, com uma constante acumulação de experiência, cartas, orientações, princípios, resoluções, recomendações, convenções e tratados com um carácter orientador ou vinculativo, constituindo-se hoje como um conjunto de normas vigente para a salvaguarda do património.

Do contributo teórico dos vários organismos abordaremos os que nos parecem de maior relevância no âmbito da salvaguarda do património no que se refere às questões construtivas, tecnológicas e materiais, fundamentais para o desenvolvimento do presente trabalho. Pela sua importância e actualidade, destacam-se:

- *Carta de Veneza (1964) – Sobre a conservação dos Monumentos e dos Sítios.*
- *Carta de Washington (1987) – Para a salvaguarda das Cidades Históricas.*

- *Documento de Nara (1994) – Sobre a autenticidade.*
- *Carta de Cracóvia (2000) – Princípios para a Conservação e o Restauro do Património Construído.*
- *Recomendações do ISCARSAH / ICOMOS (2003) – Para a análise, conservação e restauro estrutural do Património Arquitectónico.*
- *Princípios La Valeta (2011) – Para a salvaguarda e gestão dos conjuntos e áreas urbanas históricas.*

2.3.2 | CARTA DE VENEZA (1964)

Da realização do II Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos dos Monumentos Históricos em Maio de 1964, que contou com a participação de 61 países da Europa, África, Ásia e Oceânia, resultou a aprovação da *Carta Internacional sobre a Conservação e o Restauro dos Monumentos e dos Sítios*, a chamada *Carta de Veneza*, considerado um dos mais importantes e divulgados documentos doutrinários alguma vez elaborados. O seu conteúdo manteve uma actualidade notável, servindo de base a inúmeras legislações nacionais e à produção normativa do ICOMOS até aos dias de hoje.

De uma análise da *Carta de Veneza* e dos seus princípios ainda actuais destacam-se:

- *O conceito de monumento histórico é alargado passando a abranger (...) não só as criações arquitectónicas isoladamente, mas também os sítios, urbanos ou rurais (...) com significado cultural e histórico.*
- *Sempre que existe uma envolvente ao monumento tradicional, esta deve ser preservada, não devendo admitir-se alterações volumétricas nem cromáticas.*
- *Um monumento é inseparável da sua história (...) e do enquadramento em que existe, pelo que não é permitida a remoção ou movimentação do todo ou partes do monumento, incluindo os artigos de escultura, pintura ou decoração (...), excepto quando a sua salvaguarda o exija.*
- *A reutilização funcional é desejável sendo o programa a adaptar-se ao monumento sem alterar a disposição interna ou a decoração do edifício e não o contrário.*
- *O restauro destina-se a preservar e revelar o valor estético e histórico do monumento baseando-se no respeito pelos materiais originais e por documentos autenticados. Onde seja necessária a intervenção, esta dever ser distinguível do original.*
- *Quando as técnicas tradicionais demonstram ser inadequadas (...) admite-se o recurso a técnicas modernas de conservação e*

construção desde que a sua eficácia tenha sido demonstrada (...).

- Os monumentos devem ser salvaguardados *não apenas como obras de arte, mas como evidências históricas*. Assim, *devem ser respeitadas as contribuições de todos os períodos*, não sendo permitida a remoção de acrescentos, a não ser em circunstâncias especiais e quando estes tenham pouco valor face ao valor do elemento que vai ser descoberto.
- *A substituição de partes em falta deve integrar-se harmoniosamente no conjunto*, distinguindo-se sempre do original.
- Todos os trabalhos devem ser acompanhados de relatórios e elementos gráficos, postos à disposição dos profissionais da investigação e do público em geral.

Anexo às resoluções do Congresso foi acrescentado um documento relativo à *Protecção e Reabilitação de Centros Históricos*. Neste apelava-se ao desenvolvimento de espaços para a sua salvaguarda e integração.

Nos dias de hoje têm surgido várias críticas sobre a abrangência da *Carta de Veneza*, considerando-se que esta apenas contempla a construção tipicamente europeia muito concentrada nos monumentos de pedra, não englobando as tecnologias ou materiais mais precários tais como a madeira, a terra ou as fibras vegetais tipicamente usadas noutras culturas não ocidentais.

2.3.3 | CARTA DE WASHINGTON (1987)

Com o alargamento da noção de património, a necessidade de salvaguarda e protecção passou não só a incidir sobre os monumentos mas também sobre o tecido urbano ou a paisagem rural que os envolve. Estes são expressão material da sociedade, documentos e valores de tradição, de saber e de memória que importa conservar.

Será em 1975, no seguimento do Ano do Património Arquitectónico Europeu, com a redacção da *Carta de Amsterdão*, e em 1986 com a *Carta Internacional para a Salvaguarda das Cidades Históricas* (Toledo), que se fixarão as bases de natureza internacional para a conservação de cidades históricas e património urbano. Seguindo estes princípios, durante a 8.ª Assembleia Geral do ICOMOS (1987) em Washington, numa tentativa de colmatar as recomendações



Figura 31 - Excerto do Estudo de arranjo e salubridade do Barredo, José Júlio Afonso, Porto, 1949

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]



Figura 32 - Centro histórico de Lisboa, Bica

[Foto do autor]



Figura 33 - Centro histórico de Monsaraz

[Foto do autor]



Figura 34 – Vale do Douro
[<http://duas-ou-tres.blogspot.no/>]



Figura 35 - Terraços de arroz, China
[historiasdovento.com]

existentes, o documento de Toledo foi adoptado e ratificado, ficando conhecido como *Carta de Washington*.

O reconhecimento de que o *carácter cultural, social e mesmo económico* das cidades históricas está em risco de degradação e destruição dramáticas levou à proposta de princípios e objectivos concretos. No âmbito do presente trabalho destaca-se o carácter histórico, a forma urbana, as relações entre os diferentes espaços urbanos (construídos e livres), a forma e o aspecto dos edifícios (interior e exterior), as relações entre a cidade e o seu enquadramento natural ou humanizado e as funções vocacionais diversas que a cidade adquiriu ao longo dos anos, devem ser preservados, ultrapassando-se a preocupação sobre apenas a estrutura física das construções.

Pela primeira vez são definidas metodologias e instrumentos concretos como é o caso do *Plano de Salvaguarda*. Este deverá ser precedido de estudos e análises históricas, arqueológicas, arquitectónicas, técnicas, sociais e económicas, com vista a definir as principais orientações e acções a empreender para a protecção dos edifícios, conjunto de edifícios, bairros históricos e sua articulação harmoniosa com a cidade.

Reconhece-se ainda a importância da *manutenção permanente do que está construído*, devendo as novas funções exigidas pela vida contemporânea adaptar-se e respeitar as especificidades (organização espacial, escala, tecnologias construtivas, materiais) das cidades históricas e não o contrário.

É ainda referida a importância da participação activa e implicação dos habitantes bem como a de uma formação técnica especializada na área da conservação, restauro e reabilitação do construído.

2.3.4 | DOCUMENTO DE NARA SOBRE A AUTENTICIDADE (1994)

“If authenticity is defined as genuineness, even the replacement of one timber would result in the violation of authenticity”³⁴

A autenticidade, como conceito básico fundamental para definição e reconhecimento dos valores do património, esteve presente ao longo de toda a História e evolução das teorias da conservação e restauro. Com efeito, já Cesare Brandi enfatizava a questão da autenticidade

³⁴ Ito, Nobuo (1994) - “Authenticity” inherent in cultural heritage in Asia and Japan, em A.A. V.V., *Nara Conference on Authenticity*, Japan 1994, UNESCO/ICCROM/ICOMOS, Tapir Publishers, Trondheim, p. 44, citado por Aguiar, José, *ob. cit.*, (1999), Capitulo 3, p.29.

na construção da sua *Teoria do Restauro*, defendendo como metodologia o respeito pela unidade fundamental do objecto, pelos seus materiais originais e pela passagem do tempo sobre estes, evitando a todo o custo a produção de falsos históricos.

No seguimento da criação da Lista do Património Mundial da UNESCO (1978) é a autenticidade o factor determinante e indispensável para que se considere que um qualquer bem patrimonial tem valor universal excepcional para nela figurar. Desta forma, o teste da “autenticidade” da UNESCO englobava a avaliação de quatro aspectos essenciais que incluíam: (i) a autenticidade da forma, no que é relativo à estética arquitectónica; (ii/iii) a autenticidade material e dos processos tecnológicos originais; (iv) a autenticidade na implantação, mantendo-se a relação entre o bem patrimonial e o sítio ou envolvente onde foi implantado.

A autenticidade que é importante reconhecer e preservar, depende assim de um conjunto de valores que encerram em si próprios implicações estéticas e éticas cuja abrangência foi sendo alargada e clarificada com o passar do tempo e após longo debate. Dado que na realidade não existe apenas um único conceito de autenticidade, todos em sua medida deverão servir de suporte a uma acção de intervenção sobre o património.

Num mundo cada vez mais globalizado e homogeneizado, a identidade de cada povo é cada vez mais importante. O *Documento de Nara sobre a autenticidade*³⁵ espelha essa preocupação, remetendo para a protecção e valorização da diversidade cultural e patrimonial de todas as sociedades. Dado que todo o julgamento de valor, bem como toda a credibilidade associada a esse julgamento difere de cultura para cultura, como estabelecer princípios claros de definição de autenticidade que possam ser aplicados a todos os países?

Na sequência destas e de muitas questões, foi originada uma longa discussão internacional sobre o tema da autenticidade que resultou em 1994 no *Documento de Nara sobre a Autenticidade*, do qual se destacam os seguintes aspectos:

- Assume-se a dependência do conceito *autenticidade* das diversas realidades culturais. A expressão dos valores genuínos



Figura 36 - Laocoon restaurado por Montorsoli (fragmentos transformados numa obra maneirista)
[Aguiar, José (2010)]



Figura 37 - Laocoon depois da descoberta de fragmentos em falta (braço)
[Aguiar, José (2010)]

³⁵ ICOMOS (1987 – *Carta de Washington. Carta Internacional para a Salvaguarda das Cidades Históricas*, ICOMOS ; Conselho Internacional dos Monumentos e dos Sítios.

de uma determinada cultura será o factor essencial para que se considere um determinado objecto autêntico.

- *Não é possível basearem-se os julgamentos de valores e de autenticidade de acordo com critérios fixos. Pelo contrário, o respeito devido a todas as culturas exige que as propriedades do património sejam consideradas e julgadas dentro dos contextos culturais a que pertencem.* Assim, considerando as normas e recomendações internacionais, não se devem impor fórmulas ou procedimentos mecanizados iguais em todos os países, sendo a definição dos valores específicos de cada cultura fundamental.
- Fundamental é também o conhecimento destes valores para a preservação da autenticidade de um objecto numa intervenção de conservação, restauro ou reabilitação, pelo que será de extrema importância a condução de investigação científica e histórica que informe todo o processo de projecto e de tomada de decisão.
- De entre os aspectos fundamentais que passarão a definir o julgamento do valor da autenticidade passam a ser: *a concepção e a forma, os materiais e a substância, o uso e a função, a tradição e a técnica, a situação e a implantação, o espírito e o sentimento.*

O documento de Nara incorpora assim uma nova abertura na interpretação das doutrinas e normas internacionais, que passa a depender do contexto e especificidades técnico-culturais existentes em cada país.

2.3.5 | CARTA DE CRACÓVIA (2000)

No seguimento da Conferência Internacional sobre Conservação, foi publicada em 2000 a *Carta de Cracóvia - Princípios para a Conservação e o Restauro do Património Construído*. Actuando no espírito da *Carta de Veneza* e tendo em consideração as recomendações internacionais que foram sendo produzidas, tais como a *Carta de Washington* e o *Documenta de Nara sobre a Autenticidade* entre outros, esta carta compila de uma forma geral os princípios para a conservação e restauro de um património construído cada vez mais plural, remetendo a cada comunidade a identificação e gestão do seu património.

Como principais princípios para a conservação e gestão do património introduzidos destacam-se:

- O objectivo principal é a conservação. Esta pode ser realizada através do controlo ambiental, da manutenção, da reparação, do restauro, da renovação e reabilitação.
- Considera-se que a recolha de informação para a compreensão do edifício ou sítio. Investigação, testes, inspecções, estudos de materiais ou estruturas, análises dimensionais, históricas, culturais, tudo serve para informar a tomada de decisão. A estratégia a seguir e as opções técnicas a tomar serão as constantes no *Projecto de Restauro*, e resultantes do conhecimento e processo interdisciplinar prévio.
- Devem ser evitadas as reconstruções, apenas sendo permitidas em casas muito excepcionais e totalmente fundamentadas em documentos irrefutáveis.

Outro aspecto relevante da *Carta de Cracóvia* é a distinção clara entre os vários tipos de património construído particularizando pela primeira vez várias técnicas de intervenção e conservação distintas, afectas a cada um. Nos anteriores documentos, os métodos de intervenção eram definidos de forma genérica para todo o tipo de património, independentemente da sua origem.

No âmbito do presente trabalho refere-se:

- *Os edifícios que constituem as zonas históricas, podendo não se destacar pelo seu valor arquitectónico especial, devem ser salvaguardados como elementos de continuidade, devido às suas características dimensionais, técnicas, espaciais, decorativas e cromáticas, insubstituíveis na unidade da cidade.*
- No que respeita às técnicas de conservação, estas *devem estar intimamente ligadas à investigação pluridisciplinar sobre os materiais e tecnologias usadas na construção, reparação e restauro do património edificado.* Admitindo-se a utilização de novos materiais e tecnologias, é no entanto exigido o seu teste prévio e controlo ao longo do tempo, bem como a garantia de compatibilidade com os materiais, estruturas e valores existentes. É estimulado o conhecimento dos materiais e técnicas tradicionais de construção, bem como o seu emprego, considerando-as componentes fundamentais do património cultural.

No contexto desta carta são ainda definidos os princípios para a gestão do património, bem como recomendações para a formação dos profissionais, técnicos e especialistas de conservação,

salientando-se ainda a importância da adopção de medidas legais de protecção e conservação do património construído.

2.3.6 | RECOMENDAÇÕES DO ISCARSAH/ICOMOS (2003)

Tomando como base os princípios de salvaguarda da *Carta de Veneza* e absorvendo as recomendações doutrinárias resultantes de décadas de debate, o ICOMOS emite em 2003 na sequência da XIV Assembleia Geral no Zimbabué as *Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico*. Estas materializarão o conceito de *Conservação e Restauro Estrutural*, estabelecendo o conjunto de princípios a que uma intervenção estrutural num bem patrimonial deve respeitar.

Dada a necessidade de manutenção do valor dos edifícios em paralelo com a melhoria das condições de segurança, habitabilidade e conforto (tendo em conta os padrões actuais) e considerando as qualidades únicas das estruturas do património arquitectónico no que se refere à sua materialidade e constituição, chama-se a atenção para a dificuldade de aplicação das exigências regulamentares e metodologias de cálculo hoje convencionais.

As recomendações incluem duas partes: Na primeira são definidos os princípios e conceitos básicos da conservação, na segunda é definido o guião, ou seja, as regras e metodologia de abordagem no projecto de conservação e restauro estrutural. Devido ao seu enquadramento, clareza e actualidade, considera-se de extrema importância a sua referência e análise no âmbito do presente estudo.

Nas intervenções de alcance estrutural, destacam-se o seguinte conjunto de critérios princípios a seguir:

a) Critérios gerais

- A autenticidade deve ser considerada no contexto cultural a que pertence (incorporando as recomendações do *Documento de Nara*)
- O valor de cada construção está na integridade de todos os seus elementos como um *todo e produto único da tecnologia de construção específica do seu tempo e local. (...) A recriação da estrutura interna mantendo as fachadas não se adequa aos critérios da conservação.*
- É aceite a alteração do uso.

- A abordagem da intervenção deve ser multidisciplinar e obedecer a uma metodologia científica semelhante à usada em medicina incluindo *anamnese, diagnóstico, terapia e controlo*.
- *Nenhuma acção deve ser empreendida sem averiguar o benefício e prejuízo prováveis a curto e longo prazo, devendo as medidas de protecção urgentes evitar alterações permanentes.*

b) Investigação e diagnóstico

- *A compreensão completa do comportamento estrutural e dos materiais é fundamental.* É essencial conhecer a estrutura no seu estado original, bem como as técnicas usadas na sua construção, alterações e acções históricas e finalmente o seu estado de conservação presente.
- O diagnóstico é baseado em abordagens qualitativas e quantitativas. A abordagem qualitativa inclui a observação directa do dano estrutural e da deterioração dos materiais bem como a investigação histórica e arqueológica. A abordagem quantitativa inclui a realização de ensaios, a análise estrutural e a monitorização da estrutura.
- Com base na informação recolhida são determinadas as causas dos danos e deterioração, e é feita a avaliação da segurança da estrutura para o nível de danos e degradação existente.
- *Toda a informação adquirida, o diagnóstico e qualquer decisão de intervenção devem ser descritos em detalhe num Relatório de Avaliação.*

c) Medidas de Consolidação e Controlo

- A terapia deve ser dirigida à origem das causas.
- Nenhuma acção deve ser levada a cabo se não se revelar indispensável, devendo limitar-se à intervenção mínima.
- A escolha entre técnicas e materiais *tradicionais* ou *inovadores* deve preferir os menos invasivos e mais compatíveis com o existente, garantindo o menor dano possível para o valor patrimonial e as exigências de segurança e de durabilidade.
- As medidas adoptadas devem ser reversíveis e quando tal não for possível as intervenções não devem comprometer intervenções posteriores.
- *Qualquer intervenção deve (...) respeitar a concepção e técnicas de construção originais, bem como a evidência histórica que representam.*



Figura 38 e Figura 39 - Matadouro Lagazpi em Madrid, Projecto de Reabilitação de Arturo Franco Diaz e Fabrice Van Teslaar [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]

- A remoção ou a alteração de qualquer material histórico, bem como a reparação de imperfeições e alterações que se tornarem parte da história da estrutura deve ser evitada
- *O desmonte e a reconstrução só devem ser efectuados quando exigido pela natureza dos materiais e estrutura e/ou quando a conservação por outros meios é mais danosa.*
- Todas as medidas que não se possam controlar durante a execução ou no futuro não devem ser permitidas, sendo a monitorização, o controlo e o registo documental de extrema importância.

A metodologia de projecto e as bases e critérios para o seu desenvolvimento (passo por passo) fazem parte do exposto na segunda parte das recomendações, ou seja, no chamado *Guião*. Não tendo o estatuto de documento aprovado/rectificado pelo ICOMOS, constituem ainda assim uma das mais completas abordagens ao tema, pelo que, dada a sua importância, será abordado em capítulo próprio.

2.3.7 | PRINCÍPIOS DE LA VALETTA (2011)

No seguimento da XVII Assembleia Geral do ICOMOS em Novembro de 2011 foram actualizadas as considerações contidas na *Carta de Washington*, tomando em consideração a evolução significativa das definições e metodologias existentes no que se refere à salvaguarda e gestão das áreas urbanas históricas hoje sujeitas a importantes e diferentes pressões económicas e sociais.

Na luta vital pela procura de um novo equilíbrio entre a cidade histórica e as necessidades sociais, culturais e económicas contemporâneas, os *Princípios de La Valetta para a Salvaguarda e Gestão dos Conjuntos e Áreas Urbanas Históricas* expressam um alargamento do conceito de património histórico.

Dos critérios de intervenção propostos destacam-se pela sua incidência no tema da dissertação os seguintes pontos:

- Toda a intervenção deve respeitar os valores materiais e imateriais do lugar.
- Deve ter como objectivo a melhoria da qualidade devida dos habitantes e meio ambiente.
- Grandes alterações devem ser evitadas.
- *Cada conjunto histórico e o seu meio devem considerar-se como um todo coerente em equilíbrio, assim todos os elementos*

incluindo actividades humanas, têm em relação com o conjunto um significado que importa respeitar.

- A salvaguarda e gestão devem apoiar-se em estudos preliminares multidisciplinares com vista a determinar os valores a conservar, sendo imprescindível um conhecimento profundo do lugar.
- É essencial estabelecer o equilíbrio que permita manter o património inserido na plenitude da diversidade cultural e tradicional das comunidades que o habitam.

Finalmente, como propostas e estratégias, consideram-se relevantes as seguintes:

- Devem ser preservados: (i) a autenticidade e integridade materiais e imateriais da forma e aspecto (interior e exterior), da estrutura, volume, estilo, materiais e cor; (ii) as diferentes funções que a cidade e os edifícios incorporaram ao longo da sua história; (iii) as tradições culturais, as técnicas construtivas tradicionais, o espírito do lugar e tudo o que possa contribuir para a sua identidade; (iv) as relações entre o lugar e as partes que o constituem; (v) a diversidade cultural.
- *As novas funções devem ser compatíveis com o carácter, vocação e estrutura dos conjuntos ou áreas urbanas históricas,* deste modo a introdução de novos usos deve permitir a manutenção dos usos tradicionais e da diversidade cultural e histórica.
- Quando for necessário adaptar os edifícios existentes, a arquitectura contemporânea se utilizada, deve ser coerente com a estrutura espacial existente, estabelecendo relações de respeito com esta, nomeadamente nas questões da forma, materiais, cores, perspectivas, para além do ponto de vista funcional.
- A instalação de equipamentos em edifícios históricos é algo que não se pode evitar devendo estar previstos nos planos urbanísticos de protecção de conjuntos e áreas urbanas históricas.
- Toda a intervenção deve orientar-se no sentido da melhoria da eficiência energética, devendo reforçar-se a utilização de fontes de energia renováveis, sempre respeitando o património.

2.3.8 | EVOLUÇÃO DOUTRINÁRIA. SÍNTESE CONCLUSIVA.

Do anteriormente exposto verifica-se então, que com o evoluir da ética e doutrina de conservação ao longo dos anos, houve um



Figura 40 – Casa do Infante no Porto, antes da intervenção
[Ramalho, M. de Magalhães (2008)]



Figura 41 - Casa do Infante no Porto, depois da intervenção em 1961
[Ramalho, M. de Magalhães (2008)]

alargamento do conceito de património e dos seus valores. Considerando como objecto de estudo o património construído, do qual nos interessarão em particular as já referidas questões da matéria e tecnologia construtiva e a sua influência no valor das construções, dada a quantidade de informação constante nas cartas e recomendações apresentadas no ponto 2.2³⁶, entendeu-se importante fazer uma breve súpula do exposto destacando-se os critérios orientadores fundamentais para a prática da sua preservação.

A Carta de Atenas (1931) começou então por estabelecer que a conservação era garantida pelo peso da intervenção. A confiança nos novos materiais e tecnologias era uma realidade, o uso de betão e outro novos matérias e técnicas para efeitos de restauro era permitida e mesmo recomendada, sendo os elementos adicionais devidamente escondidos para evitar alterações de aspecto da estrutura. Em contraponto, existia uma incerteza relativamente aos materiais originais naquilo que dizia respeito ao seu desempenho, pensando-se que este poderia ser melhorado. Deste modo, o valor da estrutura original e dos seus sistemas e materiais estruturais não era reconhecido e a importância do estudo e diagnóstico da estrutura não eram ainda muito valorizados.

Com a Carta de Veneza (1964) eram introduzidas finalmente as bases daquilo que é a compreensão actual sobre a conservação e o respeito relativamente à autenticidade das construções. Esta defendia a noção de que a conservação se deverá basear no conhecimento e compreensão da natureza das construções e das possíveis causas das alterações ou de danos que sofreu. A importância do estabelecimento de um diagnóstico resultante da avaliação de aspectos históricos, materiais e estruturais, numa atitude totalmente multidisciplinar que requeria a cooperação de historiadores, arquitectos, engenheiros, e outros, passaria a ser uma realidade. A partir desta data, estabelece-se que a intervenção deverá ser a mínima, reversível e pouco ou nada intrusiva. Deste modo, é recomendada a utilização de materiais tradicionais e históricos nas intervenções, sendo o uso de novos materiais reservado para os casos onde não seja possível a aplicação das técnicas e materiais tradicionais.

³⁶ A qual decorre já de uma selecção prévia inserida no contexto do presente trabalho.

Com as recomendações do ISCARSAH (2001) reforça-se a importância de uma abordagem científica e multidisciplinar em qualquer intervenção de conservação ou reabilitação e estabelece-se uma metodologia científica semelhante à usada em medicina, envolvendo investigação histórica, inspecções, monitorização, modelação e análise estrutural. O conhecimento da materialidade da estrutura passa a ser fundamental, bem como da sua história, técnicas de construção originais, alterações que sofreu e estado de conservação presente, entre outras informações. *“A compreensão completa do comportamento estrutural e dos materiais é fundamental”*. Reconhece-se ainda que as técnicas de cálculo e regulamentos actuais podem não adequados a estruturas antigas, devendo procurar-se o conhecimento métodos de cálculo mais convenientes. Reconhece de forma inequívoca que o valor da construção histórica e a sua autenticidade (anteriormente debatida no documento de Nara) não esta apenas na aparência dos elementos, mas na integridade de todos os seus componentes como um produto único da tecnologia da construção especifica de cada tempo e lugar. Deste modo, *a recriação da estrutura interna mantendo as fachadas não se adequa aos critérios da conservação*. Qualquer intervenção deverá respeitar o máximo possível a concepção, técnicas de construção originais bem como o valor da evidência histórica que representa, devendo limitar-se à intervenção mínima, sendo as medidas adoptadas o mais reversíveis e menos intrusivas possível, não comprometendo acções posteriores.

Posteriormente, para além das claríssimas recomendações do ICOMOS, nos Princípios de La Valetta (2011) que vêm complementar a carta de Washington (Carta das Cidades Históricas), afirmam-se como propostas e estratégias a preservação da autenticidade e integridade materiais e imateriais. Entre outros aspectos, estes defendem tanto a forma e aspecto (interior e exterior) dos edifícios definidos através da sua estrutura, volume, estilo, escala, materiais e cor, como as tradições culturais, as técnicas construtivas tradicionais, o espírito do lugar e tudo o que possa contribuir para a sua identificação ou identidade.

2.4 | PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO OBJECTO A PROTEGER

2.4.1 | EDIFÍCIOS ANTIGOS: MEMÓRIA HISTÓRICA SEDIMENTADA

Do anteriormente exposto, verifica-se que com a evolução e difusão mundial da ética e doutrina de conservação e restauro, houve no



Figura 42 - Mosteiro de Santa Clara-a-Velha de Coimbra
[Ramalho, M. de Magalhães (2008),
Fotografia de Artur Corte-Real]



Figura 43 – Catedral De s. Pedro de Geneve durante a campanha arqueológica
[Ramalho, M. de Magalhães (2008)]



Figura 44 – Banho Árabe de Churriana de La Veja
[Ramalho, M. de Magalhães (2008)]



Figura 45 – Calatrava la Vieia
[Ramalho, M. de Magalhães (2008)]

decorrer dos anos uma progressiva consciencialização sobre a importância da preservação do património. No caso particular do património arquitectónico edificado, é hoje claramente aceite e entendido, que este engloba não só os monumentos e edifícios de grande importância, mas também os simples edifícios habitacionais ou industriais que, isoladamente ou em conjunto, ajudam a entender e a representar a forma como ao longo dos séculos o homem se organizou, viveu, ou trabalhou³⁷.

Verdadeiro testemunho da existência humana, à semelhança da obra de arte, o património arquitectónico é prova tangível da riqueza e diversidade da vida, espelhando em cada instante da história, o passado do homem e a sua existência presente. Nele estão registados os saberes, as técnicas, as formas de produção e de expressão, os conhecimentos e práticas vitais, materializados na linguagem dos edifícios antigos, deslumbrando-nos e emocionando-nos.

Fundadores da realidade oferecem ao homem o seu referencial no tempo e no espaço, estabelecendo-se como elo entre gerações subsequentes, ao serem sucessivamente habitados, preservados e transformados. Num acumular de sedimentos da história, neles é lido o progresso da arte de construir e de intervir sobre o meio que nos rodeia, as necessidades e as relações sociais, a identidade dos povos, a diversidade da sua cultura, crenças, costumes ou tradições.

Independentemente da sua dimensão, da sua aparente insignificância ou grandiosidade, monumentos ou não, castelos, velhas igrejas, palacetes esmorecidos, pequenas construções à escala da pequena ruína ou à escala da cidade, os edifícios antigos tomam sobre si a responsabilidade de transmitir valores e ensinamentos essenciais, revestindo-se de um enorme significado e do carácter distintivo que os constitui como objecto a preservar. Testemunhos de uma herança comum são presença viva do passado, memória colectiva da humanidade.

“A memória histórica (...)”, disse Castilla del Pino, “(..)está nos papéis a que chamamos documentos, e está nas pedras que denominamos uma vez fósseis, outras ferramentas ou utensílios, outras esculturas, anfiteatros, calçadas, fustes, capiteis, templos.”³⁸

³⁷ Appleton, João (2003) - *Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e Técnicas de intervenção*, Orion, 1ª ed., Amadora, p.1.

³⁸ Castilla del Pino, Carlos (1993) – *La Memoria y la Piedra, Patrimonio: ¿Memoria o pesadilla?. Memoria 1990-1992*. Diputació de Barcelona, Barcelona, citado por

2.4.2 | A IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA

Um objecto de arquitectura constitui-se por meio de um processo que ordena no espaço uma serie de materiais manufacturados ou que adquirem forma definitiva durante a sua aplicação *in situ*.

Num edifício histórico produzido no passado e que conseguiu perdurar alcançando o momento presente, esta disposição de materiais no espaço está necessariamente associada a um enorme processo de transformação temporal. Se podemos afirmar que a história dos edifícios está inevitavelmente marcada por um processo de alteração contínua ao longo do tempo, adaptando-se às necessidades do meio em que se situam e da sociedade que os utiliza, também por força da mutabilidade própria da matéria a sua alteração é inevitável. Partindo do edifício primogénito e através de sucessivas eliminações, conservações e sobreposições de matéria, podemos afirmar que existe uma relação directa entre a disposição no espaço de cada um dos materiais que o configuram e a história desse edifício.

Através da matéria construtiva estabelece-se um vínculo directo entre a pessoa que a colocou na sua posição original e nós próprios. Este vínculo não está apenas associado ao material em si mesmo, mas sobretudo às relações que se estabelecem entre este e tudo o que o rodeia: composição, forma, dimensões originais, o modo como foi colocado e aparelhado, todas variáveis dependentes dos contextos sociais e culturais em que se produz o acto de construir, documento da vivência passada do homem³⁹.

Se o edifício é assumidamente documento histórico, importa conhecer toda a informação relativa aos materiais, técnicas e sistemas construtivos que deram origem à sua existência, sejam eles originais ou posteriores à sua edificação⁴⁰. Estas questões têm sido particularmente abordadas por novas disciplinas como a Arqueologia

Moreno-Navarro, A. (1999) – *La restauración objectiva (Método SCCM de restauración monumental)*. Memória SPAL 1993-1998. Diputació de Barcelona, Àrea de Cooperació Servei del Patrimoni Arquitectònic Local, Barcelona, p.17.

³⁹ González-Moro, Pablo (2002) – *La condición arqueológica de la arquitectura histórica: El caso de la Catedral de Santa Maria de Vitória*; 2ª Bienal de la Restaración Monumental, Vitoria-Gasteiz.

⁴⁰ Ramalho, M de Magalhães (2010) – *Arqueologia da Arquitectura ou o desvendar das idades da construção*. In *As Idades da construção - Técnicas e saberes da construção tradicional e sua aplicação à arquitectura contemporânea*. Ed IEPF, Lisboa, pp. 119-125.



Figura 46 e Figura 47 – Castelo de Paderne
[Foto LEB]

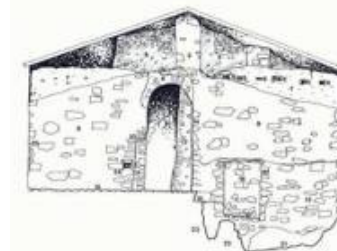


Figura 48 e Figura 49 - Levantamento gráfico simplificado a diversas escalas
[Ramalho, M. de Magalhães (2008)]



Figura 50 e Figura 51 – O manejo da pedra e os seus instrumentos [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]

da Arquitectura, a qual considera o processo de transformação material e construtiva ao longo do tempo como uma sucessiva estratificação da história.

Deste modo, o reconhecimento material de uma estrutura constitui-se hoje como um critério fundamental para a sua análise. Este reconhecimento fornece-nos informações várias. Desde antigas matérias-primas, organização dos estaleiros de obra, faseamentos construtivos, diferentes técnicas de produção utilizadas no fabrico dos elementos (de que são exemplo as alvenarias), tipologia dos aparelhos e do talhe da pedra, instrumentos utilizados, marcas de canteiro... até o próprio gesto de saber fazer. Da análise dos modos de construir retiramos um conhecimento aprofundado sobre os recursos disponíveis, sobre a organização laboral, nível tecnológico e cultural e modos de vida. Através de argumentos absolutamente racionais, observáveis, e concretos dependentes da materialidade da estrutura arquitectónica conservada, podemos chegar à sua significação histórica, arquitectónica ou mesmo simbólica.

Importando a sua preservação, dado que o projecto de conservação e reabilitação supõe a sua transformação inevitável, a investigação e conhecimento material e construtivo de um elemento arquitectónico, permitirá ainda reflectir sobre o que é eliminado, conservado ou adicionado, e os limites dentro dos quais estas acções são levadas a cabo. Para além das questões éticas, a valorização e conhecimento das antigas tecnologias e materias é um primeiro e imprescindível passo para a garantia do correcto funcionamento material e estrutural no caso de uma intervenção de conservação. O sucesso na escolha das estratégias, técnicas e materiais a utilizar dependerá da sua correcta compatibilização com os existentes. A aplicação de materiais com diferentes propriedades mecânicas e físicas poderá ter efeitos desastrosos se não for devidamente controlada e conhecida.

Desde longa data que a investigação e conhecimento dos edifícios utilizam essencialmente fontes escritas ou iconográficas. Hoje porém é proposta uma nova abordagem: será o próprio edifício a contar a sua história, a sua glória e a sua decadência. Ele é o testemunho da vida do homem aprisionado em matéria. É ele que providenciará a informação fundamental que levará à sua própria preservação.

2.4.3 | DIMENSÕES E VALORES FUNDAMENTAIS A SALVAGUARDAR

Como se verificará adiante, em cada acção sobre património edificado, particularmente no caso das estruturas arqueadas, a compreensão clara dos seus valores fundamentais será decisiva. É a partir deste entendimento que se definirão os critérios e princípios de intervenção, bem como os limites e estratégia de actuação, para que a mensagem essencial da construção existente seja respeitada e mantida.

Considerando o anteriormente exposto, e dado que esta avaliação deve ser tão objectiva e justa quanto possível, admitiu-se como necessária a apresentação sumária dos valores fundamentais a salvaguardar. Da recolha efectuada, verifica-se que estes são caracterizados através de três dimensões base, cuja nomenclatura poderá variar consoante os autores, mantendo no entanto a mesma essência e abrangência. No presente texto seguiu-se a proposta por Moreno-Navarro e pelo *Método SCCM de Restauración Monumental*.

Totalmente interdependentes, e variáveis no tempo e história do objecto, consideram-se as dimensões⁴¹: documental, arquitectónica e significativa. Três dimensões cujos valores associados são essenciais para que se reconheça a importância patrimonial do objecto, três dimensões que toda a intervenção de conservação ou reabilitação deve contemplar, assumir e respeitar.

- **Dimensão ou valor documental:** Resultante da acção de gerações sucessivas, desde o momento da sua edificação condicionado pela memória histórica da época, passando pelas sucessivas alterações que a construção sofreu com o passar do tempo. Cristalizadas no objecto ficam as contribuições decorrentes de cada século de história, ficam os dados relativos à arquitectura, estética, materiais, processos e tecnologias construtivas utilizadas no passado, mas também informações sobre o conhecimento dos povos, hábitos residenciais e comportamentais, relações sociais e outros referentes à mentalidade do país e história do lugar.
- **Dimensão ou valor arquitectónico:** Na sua dimensão arquitectónica, o valor de uma obra radica essencialmente na eficiência com que responde à função para a qual foi criada



Figura 52 e 53 – Palazzo Bizzarini após a intervenção de restauro (manutenção das marcas da história)

[Ramalho, M. de Magalhães (2008), Foto de Francesco Doglioni]

⁴¹ Moreno-Navarro, A. (1999) – *La restauración objectiva (Método SCCM de restauración monumental)*. Memória SPAL 1993-1998. Diputació de Barcelona, Àrea de Cooperació Servei del Patrimoni Arquitectònic Local, Barcelona, p.17.



Figura 54 – Teatro La Fenice em Veneza, século XIX
[Aguiar, José (2010)]



Figura 55 – Teatro La Fenice destruído após o incêndio de 1996
[Aguiar, José (2010)]

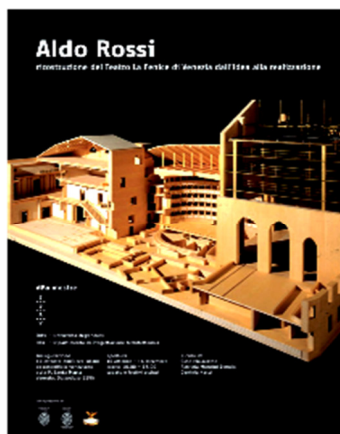


Figura 56 – Maquete e estudo de Aldo Rossi para a reconstrução do La Fenice
[Aguiar, José (2010)]



Figura 57 – Reconstrução do teatro, 2008
[Aguiar, José (2010), Foto de David Levantim]

(*utilitas*), na sua beleza, forma e espacialidade (*venustas*) e na racionalidade do emprego dos materiais e sistemas construtivos disponíveis (*firmitas*). Em complemento, para além destes aspectos destaca-se o modo como o homem percorre e vive o espaço e as sensações que este lhe transmite, remetendo estas para o valor simbólico, da qual o valor arquitectónico é dependente. A possibilidade de um edifício ou espaço admitir novos usos e de sobreviver às transformações é por si só uma prova inexorável do seu valor arquitectónico, uma prova de que o objecto responde a algo mais profundo que apenas a função, o aspecto, ou a estrutura continuamente modificados. Uma prova de que é parte de algo maior, peça identitária, tipológica, hierarquizante e enriquecedora da cidade e do território.

- **Dimensão ou valor simbólico:** Intangível e subjectivo, está relacionado com as emoções, com aquilo que o objecto arquitectónico me transmite e me faz sentir. Cada espaço participa em nós de forma diferente, suscita em nós uma experiência única e, em cada experiência, faz-nos ser com ele. É dessa acção, dessa troca, que se extrai o valor simbólico, o carácter único e a sua identidade, a sua poesia, aquilo que o torna insubstituível.

*A Arquitectura não existe num mundo puramente objectivo, mensurável e material. Ela tem necessariamente de actuar sobre nós e participar na vida existencial do Homem.*⁴²

Por razões diversas, esse valor simbólico pode ser partilhado por toda uma comunidade. Para um povo, a sua igreja, colectividade, castelo ou praça, são o seu bem mais precioso, mesmo que o seu valor arquitectónico ou documental possam não ser relevantes.

2.4.4 | UMA QUESTÃO DE AUTENTICIDADE

Se é verdade que com o passar do tempo sobre os edifícios vamos assistindo à sua contínua e progressiva degradação, verifica-se desde sempre a necessidade do Homem em preservar e transmitir algumas dessas construções. O património de um povo é propriedade de tanto das gerações presentes como das futuras e para elas deve ser preservado tão bem quanto possível. É por isso fundamental durante a sua intervenção usar da maior cautela, de modo que se mantenha

⁴² MARQUES ABREU, Pedro (2007) – “Palácios da Memória II - A Revelação da Arquitectura, Volume I - Secção Teórica, O Processo de Leitura do Monumento”, Tese para a obtenção do grau de Doutor em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura - Universidade Técnica de Lisboa, p. 81.

ou restabeleça a unidade do edifício dentro daquilo que é o seu valor e autenticidade, evitando sempre a sua falsificação.

No passado, os limitados meios levaram a que a maior parte das intervenções em construções existentes fossem realizadas com os mesmos materiais e técnicas tradicionais que foram usadas na sua edificação. Tal facto permitiu que o carácter original dos objectos não fosse alterado devido à lenta sedimentação de matérias sucessivamente compatíveis. Porém, com o advento do betão armado tornaram-se frequentes os atentados à originalidade dos edifícios antigos. Infelizmente, e por este motivo, se justifica o presente ponto.

Verifica-se hoje ainda, que apesar do debate aprofundado sobre o tema, da imensa sensibilização levada a cabo e da definição existente sobre os critérios de autenticidade a cumprir, continuamos a perpetrar os mesmos erros do passado, ou em muitos casos a cometer outros ainda maiores. A tendência que muitas vezes se verifica de aproveitar apenas a “pele” dos antigos edifícios, preenchendo o seu interior com materiais e estrutura modernos sob pretexto de exigências funcionais ou de segurança, é exemplo do que são as operações meramente *fachadistas*, que em Portugal têm ainda larga propensão de ocorrência, quando a cedência aos interesses imobiliários ou a ignorância falam mais alto⁴³. E todos sabemos o quão alto falam.

*“Não podemos aceitar a destruição ou substituição sistemática da substância física daquilo que pretendemos conservar. Caso contrário o futuro que tentamos assegurar para esses testemunhos passará a estar alicerçado numa mentira. (...) É ainda frequente a convicção de que se a aparência exterior é a mesma o resto não interessa. É ignorar o conhecimento da concepção global original e tentar generalizar um tipo de intervenção que reduz o património a uma fachada. Será melhor então aprender a fazer cenários.”*⁴⁴

Em contraponto a este espírito, muitas operações sobre património arquitectónico começam felizmente a ser conduzidas com mais respeito e compreensão, tirando o máximo proveito dos materiais e estrutura originais. Nos últimos tempos tem vindo a desenvolver-se



Figura 58 – Operação de fachadismo Rua Castilho, Lisboa [Ramalho, M. de Magalhães (2008)]

43 Córias, Victor (2007) – *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*, Argumentum Geocorpa, Lisboa, pp.27-38.

44 Infante, Sérgio (1992) – *A segurança e a Salvaguarda do Património Arquitectónico 10 anos após o Sismo do Açores de 1 de Janeiro de 1980*, citado por Vítor Córias, *ob. cit.*, (2007), p. 30.

com cada vez intensidade a ideia de que a salvaguarda do “*valor tecnológico*”⁴⁵ e da autenticidade das construções não só tem vantagens ao nível da preservação documental, arquitectónica e simbólica, como também, se bem planeada, ser menos dispendiosa e mais valorizada economicamente que uma intervenção *fachadista*⁴⁶.

Se em tempos se considerou como autêntico o objecto arquitectónico no seu estado original, desprezando a contribuição das épocas subsequentes à sua construção, conduzindo a inúmeras amputações⁴⁷ e dando origem a edifícios que podem nunca ter existido, com a *Carta de Veneza* e mais tarde com o *Documento de Nara*, seriam definidos e os aspectos fundamentais para o julgamento do valor da sua autenticidade e reforçada a importância do contributo da passagem do tempo sobre estes.

Da análise das cartas e recomendações aplicáveis, pode finalmente afirmar-se que uma intervenção de conservação e reabilitação implicará sempre a manutenção das ideias originais a que obedeceu a concepção da estrutura e as alterações que tenham sido introduzidas ao longo dos anos, não sendo permitidas quaisquer falsificações de evidências históricas existente. Devem ainda respeitar-se e manter-se os materiais existentes, bem como as técnicas de construção tradicionais presentes, sendo que qualquer remoção constituirá sempre uma perda do valor documental, arquitectónico e simbólico. Um elemento arquitectónico não pode ser encarado isoladamente, ele está inserido no seu contexto natural, rural ou urbano, contexto que será importante preservar, mantendo a unidade e o valor do conjunto.

Nada mais interessante para o utilizador que uma arquitectura onde é possível reconhecer um lugar habitado pela história, pela memória e pelo tempo... Ao conceito de reabilitação deverá estar sempre e

⁴⁵ Mateus, J. Mascarenhas (2002) – *Técnicas Tradicionais de Construção de Alvenarias*. Livros Horizonte, Lisboa, citado por Vítor Cóias, *ob. cit.*, (2007), p. 29.

⁴⁶ De acordo com esta percepção, a promoção do máximo aproveitamento das construções e estruturas existentes, com a redução das demolições e intervenções ao mínimo, contribui para evitar o desperdício de materiais, energia e espaço, sendo mais económica e sustentável. Para além deste facto, o reconhecimento e validação da identidade e genuinidade do objecto, provoca um aumento do seu valor monetário. Fomentada pelos clientes imobiliários que procuram na sua habitação ou local de trabalho um símbolo de prestígio social, ou pela competição existente entre destinos turísticos culturais, a valorização económica do património arquitectónico é uma evidência

⁴⁷ Como foi o caso da Sé do Porto, a Sé de Lisboa e o Mosteiro de Alcobaça. Veja-se ponto 2.1.3.

inequivocamente associado o de conservação. Conservação daquilo que é genuíno e verdadeiro. Conservação daquilo que é autêntico.

2.5 | A ACÇÃO DE CONSERVAR E REABILITAR. PRESENTE E FUTURO.

2.5.1 | QUESTÕES DE TERMINOLOGIA

Apesar da frequente partilha de um vocabulário comum entre as várias especialidades envolvidas na acção de conservação e de reabilitação, verifica-se que nem sempre este se refere às mesmas ideias ou interpretações, sendo aplicado indiscriminadamente em variados contextos.

Confirma-se então que um dos principais problemas de qualquer actividade é o entendimento e a transmissão de informação de forma clara e precisa entre todos os intervenientes. Deste modo, entendeu-se que seria útil fixar de forma breve uma terminologia que a partir deste ponto, permitisse a compreensão inequívoca dos vários conceitos que serão abordados, a qual se apresenta de seguida⁴⁸.

- **Conservação:** Conjunto de acções destinadas a prolongar o tempo de vida de uma dada edificação histórica. Esta poderá e englobar acções de manutenção, reparação, restauro, ou outras, estado sempre e inevitavelmente integrada em qualquer acção de reabilitação.
- **Manutenção:** Conjunto de operações de prevenção destinadas a manter em bom funcionamento, quer a totalidade de uma edificação, quer apenas algumas das suas partes constituintes. Esta poderá incluir um vasto conjunto de operações, das quais se destacam inspecções de rotina, limpeza e aplicação de sistemas de protecção.
- **Reparação:** Conjunto de operações destinadas a corrigir anomalias existentes. Muitas vezes sob esta designação, quando as anomalias afectam as características mecânicas ou resistentes dos materiais, o conceito de reparação pode englobar termos mais específicos como a consolidação ou a substituição de partes degradadas.
- **Consolidação:** Adição ou aplicação de materiais que ao penetrar em profundidade restituem a coesão entre as

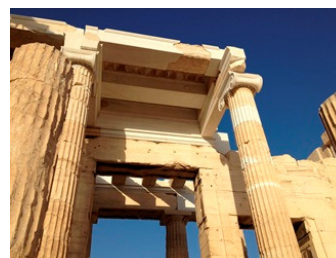


Figura 59 e Figura 60 –
Intervenções de restauro na
Acrópole, Grécia
[Foto do autor]

⁴⁸ A terminologia aqui apresentada teve como fonte a síntese realizada por Fernando Henriques (1991a)- *A Conservação do Património Histórico Edificado*, LNEC, Lisboa. Esta síntese, foi baseada em algumas das mais conceituadas referências neste domínio, das quais se destacam os trabalhos de Jukka Jokilehto, Bernard Feildem, Cesare Brandi entre outros.



Figura 61 e Figura 62 – Mosteiro de Tibães

[Ramalho, M. de Magalhães (2008), Foto de Luís Alves]

partículas do material desintegrado, repondo ou melhorando as suas características mecânicas.

- **Restauro:** Intervenção destinada a restabelecer a unidade, legibilidade e concepção originais, ou relativas a uma dada época ou conjunto de épocas. Este deve ser baseado em investigações e análises históricas inquestionáveis e utilizar materiais que permitam uma clara distinção entre original e não-original.
- **Reabilitação:** Todo o conjunto de operações destinado a repor ou aumentar os níveis de qualidade funcional ou estrutural de um edifício existente. Este tipo de intervenção é utilizado sempre que se pretenda adaptar o edifício para uma utilização diferente daquela para que foi concebido ou, simplesmente torná-lo utilizável de acordo com os padrões actuais, pressupondo sempre e em qualquer situação, a sua conservação.
- **Reconstrução:** Acção de construir de novo a totalidade de uma edificação ou algumas das suas partes. Este tipo de acção apenas é aceitável em condições muito especiais, nomeadamente nos casos de destruição de estruturas por cataclismos ou guerras, ou na eminência da sua futura destruição. Nestas situações, as estruturas podem ser desmontadas e transportadas para local seguro, dentro dos limites éticos observáveis. Em qualquer dos casos referidos anteriormente, a reconstrução deve ser baseada em evidências históricas indiscutíveis, sendo em quaisquer outras circunstâncias inaceitável.

2.5.2 | OBJECTIVOS FUNDAMENTAIS DO ACTO DE REABILITAR

Com o passar do tempo sobre a cidade vamos assistindo à contínua e progressiva degradação das suas estruturas, dos seus edifícios. Uma degradação decorrente de anos de uso, do envelhecimento próprio mais ou menos acelerado pela exposição aos agentes agressores, das alterações introduzidas ao longo da sua exploração e utilização, ou mesmo devida a causas fortuitas ou acidentais.

Neste contexto, os edifícios degradados podem apresentar deficiências que limitem ou inviabilizem o seu uso, ou podem simplesmente encontrar-se obsoletos e desadequados face aos novos modelos e exigências de vida. *Um edifício sem uso é um*

edifício morto.⁴⁹ Importa assim dotar os edifícios de vida, atribuindo-lhes uma utilidade ou um uso, fazendo a mediação entre o seu passado e futuro, ou seja, reabilitando-os.

À luz dos conhecimentos e práticas actuais, qualquer acção de reabilitação tem como objectivos fundamentais:

- A resolução dos danos físicos existentes e patologias associadas.
- Promover uma beneficiação⁵⁰ geral, através da melhoria das condições de uso e habitabilidade das construções, permitindo-lhes satisfazer os níveis de desempenho e exigências funcionais pretendidos.
- A conservação do carácter original dos elementos, da sua alma e capacidade expressiva, assegurando o respeito pelo seu valor documental, arquitectónico e simbólico. Deste modo, deverá maximizar-se a reutilização e integração dos elementos pré-existentes (o que poderá incluir a sua manutenção, reparação, restauro ou reconstrução), assegurando a sua salvaguarda para as gerações vindouras⁵¹. Independentemente da escala do elemento a preservar (urbano, edifício, pormenor construtivo), a sua reabilitação incluirá sempre a identificação dos seus valores e o acto essencial da sua salvaguarda e conservação.

A filosofia geral das intervenções de reabilitação deverá em qualquer caso seguir a doutrina sobre a salvaguarda e defesa do património e respeitar os princípios e *ética da conservação* reflectidos nas cartas, recomendações e legislação internacional e a nacional a que Portugal aderiu.

2.5.3 | CRITÉRIOS E PRINCÍPIOS DE ACTUAÇÃO

Face ao exposto, enunciam-se de seguida os principais critérios e princípios que hoje devem orientar às acções sobre o património edificado:

- **Salvaguarda:** Numa intervenção de conservação e restauro não devem ser adulteradas, destruídas ou removidas as evidências

⁴⁹ Citação corrente de autor desconhecido.

⁵⁰ Beneficiação: reabilitação destinada a proporcionar desempenho superior ao inicial. Fonte: Abreu, M. Mendes; Lucas, J. Carvalho (2002) – *Terminologia geral sobre a patologia da construção*. LNEC, Lisboa.

⁵¹ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006) – *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, INH/LNEC, Lisboa, p. 270.

ou traços da história do objecto. Deve ainda promover-se o máximo aproveitamento possível de elementos e materiais originais antes de se prever a sua substituição⁵².

- **Intervenção mínima:** Nenhuma acção deve ser levada a cabo se não se revelar indispensável e sem avaliar a sua repercussão sobre a obra de modo que esta seja a menor possível, garantindo o respeito pelos valores documental, arquitectónico e simbólico e pela autenticidade do objecto.
- **Reversibilidade:** Deverão ser evitadas soluções que resultem em transformações irreversíveis ou em modificações pesadas e rígidas que impossibilitem ou tornem difícil futuras intervenções de beneficiação ou adaptação.
- **Autenticidade:** Deve ser garantida a autenticidades construtiva e tecnológica, respeitando e preservando as tecnologias e materiais existentes e promovendo o correcto uso das novas soluções. Para além desta, deve ser mantida a autenticidade estética, histórica e de carácter, preservando os conceitos arquitectónicos que constituíram os espaços reflectindo o espírito de diversas épocas, bem como os contextos onde estes estão inseridos.
- **Compatibilidade:** Todos os materiais usados deverão ser adequados e compatíveis com as características das construções existentes, sobretudo dos pontos de vista mecânico, físico e químico. Deve assegurar-se tanto a compatibilidade sob o ponto de vista tecnológico como arquitectónico, garantindo a sua integração harmoniosa, e identificação futura, diferenciando-se o que é novo do que é antigo, evitando a falsificação. Devem preferir-se materiais e tecnologias tradicionais a técnicas e produtos muito sofisticados.
- **Durabilidade:** Toda a intervenção deve ser realizada com recurso a técnicas e materiais cuja durabilidade seja conhecida, compatível e comparável com a da estrutura a preservar. Dado que os períodos de vida dos edifícios antigos são muito maiores que para os edifícios modernos, as exigências de durabilidade naturalmente serão mais severas⁵³.

⁵² O aproveitamento dos elementos originais justifica-se tanto por razões de valor patrimonial, como de coerência construtiva, compatibilidade, e durabilidade, já que se verificam muitas vezes dificuldades de convivência entre novas e antigas práticas de construção. A salvaguarda máxima das construções permite ainda economia de recursos e de meios.

⁵³ Ainda que por vezes de difícil resolução, a aplicação de materiais com períodos de vida de 10 ou 20 anos em edifícios com séculos corresponderá a uma transferência

- **Qualidade:** Toda a intervenção deve contribuir para a melhoria do desempenho da construção, não sendo permitido em nenhum caso que a qualidade arquitectónica, funcional e construtiva resulte inferior à pré-existente.
- **Registo:** A realidade pré-existente, bem como todas as alterações, materiais e tecnologias usados na sua conservação devem ser objecto de registo detalhado, tão completo quanto possível.
- **Eficiência e eficácia:** A intervenção deve ser realizada com o menor consumo possível de recursos e sempre que possível com o menor custo, assegurando que as soluções propostas cumprirão os objectivos pretendidos.

De acordo com estes princípios é possível não só dotar os edifícios antigos com as condições de habitabilidade, conforto e segurança exigidas pelos padrões actuais, como salvaguardar o seu valor enquanto património, dentro de limites económicos atractivos face a novas construções ou intervenções *fachadistas*.

CAPÍTULO 3 | METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO. DA INVESTIGAÇÃO AO PROJECTO E EXECUÇÃO

3.1 | ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO

Uma intervenção de reabilitação constitui-se sempre como um todo e não como um somatório de acções pontuais. Esta incluirá sempre para além de problemas tecnológicos e estruturais, a necessidade de lidar com valores históricos, culturais e estéticos cuja salvaguarda e conservação é imprescindível. A multidisciplinariedade do processo envolverá portanto inevitavelmente, a contribuição de vários especialistas devidamente compatibilizados entre si, permitindo a conciliação de todos os princípios que importa cumprir e dos problemas a resolver.

Assim, de modo a assegurar o envolvimento de todos os intervenientes e a alcançar os objectivos propostos em cada intervenção, será então necessária a aplicação de uma metodologia de trabalho predefinida que permita o correcto desenvolvimento de todas as acções e a sua eficácia final. Independentemente do tipo de edifício ou construção no qual se pretende intervir, esta metodologia envolverá invariavelmente as seguintes fases⁵⁴:

- Fase de investigação, análise e de diagnóstico
- Fase de projecto
- Fase de execução

A fase de investigação, análise de diagnóstico, deverá englobar a recolha e avaliação da toda a informação disponível sobre a construção, com vista à elaboração de um diagnóstico sobre o seu estado de conservação e segurança. Após a realização do diagnóstico poderá então ser iniciada a fase de projecto com o estabelecimento da terapia, ou seja, do conjunto todas as estratégias e técnicas de intervenção a adoptar de modo a atingir os objectivos definidos. Finalmente desenvolve-se a fase de execução, na qual em obra se materializarão todas as opções e decisões de projecto.

⁵⁴ Veja-se Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), pp. 295-296.

No presente capítulo serão apresentados as linhas orientadoras e metodológicas da intervenção de conservação e reabilitação. Desde a fase de investigação, análise e de diagnóstico, passando pelo projecto e execução, serão definidos para cada uma os seus objectivos específicos bem como as acções a desenvolver no seu âmbito. Dada a sua importância, será ainda reservada uma secção que engloba informação mais pormenorizada relativamente às inspecções, levantamentos e caracterização experimental.

3.2 | PLANO METODOLÓGICO

3.2.1 | FASE DE INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DE DIAGNÓSTICO

Na fase de investigação, análise e diagnóstico, o tipo de informação recolhida e as disciplinas envolvidas no seu tratamento e avaliação, são extremamente variados. Se é verdade que a investigação histórica e cultural poderá ajudar a responder a questões de natureza estrutural e científica, o seu inverso também o é. A abordagem a levar a cabo será sempre interdisciplinar e holística, sendo a combinação dos vários tipos de conhecimento com a experiência dos intervenientes, factores fundamentais para a salvaguarda dos valores do património.

Considerando o contributo doutrinário das várias cartas e legislação existente, as *Recomendações do ICOMOS (2003) para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico*, vieram assim propor, para além do conjunto de princípios nos quais os conceitos básicos sobre conservação são apresentados⁵⁵, uma metodologia de trabalho que contribuísse para o esclarecimento dos projectistas e fosse útil a todos os envolvidos nas acções de conservação e reabilitação estrutural⁵⁶.

⁵⁵ Veja-se ponto 2.2.6.

⁵⁶ Esta metodologia ou “Guião” inclui as regras e os métodos a seguir desde a fase de investigação, análise e diagnóstico à fase de decisão: *Informação e investigação: obtenção de dados; Comportamento estrutural; Diagnóstico e Avaliação da segurança*). Para além destas, contém ainda recomendações sobre as medidas de intervenção a serem aplicadas em cada situação ou seja, a fase de projecto: *Danos estruturais, degradação dos materiais e medidas de intervenção*.

De forma simplificada, segundo a metodologia do ICOMOS, a fase de investigação, análise e diagnóstico deverá integrar as seguintes etapas:

- Investigação e recolha de informação: obtenção de dados
- Modelação do comportamento estrutural
- Avaliação da segurança e Diagnóstico

Estas etapas implicarão um grande investimento na fase inicial de modo a obter um conhecimento profundo do objecto, mas serão essenciais para o desenvolvimento do projecto e sua execução. Seguidamente analisam-se com mais pormenor as especificidade e exigências de cada uma delas.

3.2.1.1 | INVESTIGAÇÃO E RECOLHA DE INFORMAÇÃO

O conhecimento da estrutura através da investigação e recolha de informação pode ser atingido através da realização das seguintes acções.⁵⁷

a) Investigação histórica, estrutural e arquitectónica⁵⁸:

Durante esta investigação deve proceder-se à recolha de todos os elementos relevantes sobre a construção, abrangendo diversos pontos de vista e significados, desde o arquitectónico, histórico e cultural, ao tecnológico e construtivo⁵⁹.

Esta investigação tem por objectivo a compreensão da concepção e da importância da construção, as técnicas e mão-de-obra utilizadas na sua execução, materiais originais, as alterações posteriores tanto na estrutura como na sua envolvente e quaisquer ocorrências (...) ou acontecimentos durante a vida da estrutura que a possam ter afectado. Deve ser prestada atenção especial a quaisquer danos, colapsos, reconstruções, acrescentos, alterações, trabalhos de restauro, modificações estruturais e quaisquer modificações no uso da construção que conduziram à sua condição presente.

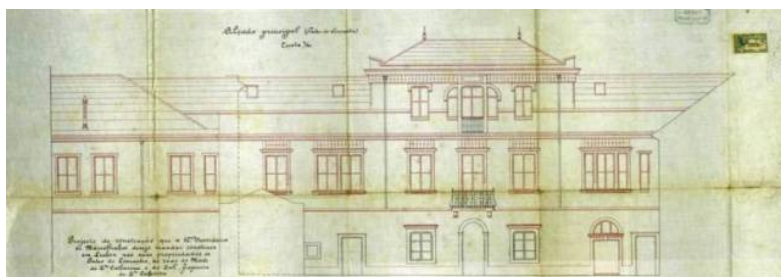
⁵⁷ ICOMOS (2003) – *Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico*, ICOMOS, Conselho Internacional dos Monumentos e dos Sítios.

⁵⁸ Relativamente às construções arqueadas, para informação histórica, estrutural e arquitectónica veja-se pontos 4.1, 4.2, 4.3 e 5.1 do presente trabalho.

⁵⁹ Veja-se Quadro 23 em Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), p. 298.

Para além deste dados, devem procurar-se conhecer todos os elementos de projecto disponíveis, relatos de obra e de vistorias anteriores e outras informações que se considerem pertinentes. A interpretação correcta das várias fontes, essencialmente documentais, é essencial para a produção de informação fidedigna e para a reprodução correcta da história da construção. Todos os documentos utilizados nesta tarefa devem ser registados.

Figura 63 – Alçado datado de 1905, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [LEB (2011)]



Esta acção deve ser precedida de uma inspecção preliminar de reconhecimento, de modo a orientar os estudos.

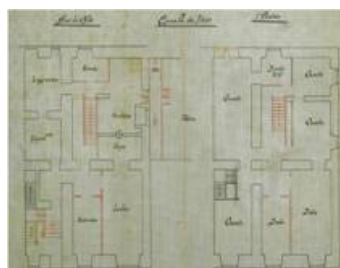


Figura 64 – Alçado datado de 1905, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [LEB (2011)]

b) Inspeção visual da construção⁶⁰:

Normalmente efectuada por uma equipa especializada, a observação directa é uma fase fundamental do estudo, permitindo fornecer um entendimento geral da estrutura e servir de base para as investigações subsequentes que se revelem necessárias.

Os objectivos principais do levantamento visual incluem:

- *identificar degradações e danos (anomalias);*
- *determinar se os fenómenos estão ou não estabilizados;*
- *decidir se existe ou não risco imediato e, se necessário, definir medidas urgentes a serem tomadas;*
- *identificar quaisquer efeitos do meio ambiente sobre a construção.*

O estudo das deficiências começa pelo levantamento das anomalias visíveis, devendo procurar-se à partida e *in loco*, compreender o desenvolvimento dos principais mecanismos de degradação, comportamento estrutural e as causas a estes associadas⁶¹.

⁶⁰ Devido à sua importância, as técnicas de Inspeção serão abordadas com mais pormenor no ponto 3.2.2.

⁶¹ Para informação relativa à manifestação e natureza dos principais tipos de anomalias em estruturas arqueadas veja-se ponto 6.3.

Durante o levantamento é realizado o mapeamento do observado, sendo posteriormente produzidos desenhos de inspecção e outras peças gráficas que se consideram essenciais para o registo claro do existente. *Os desenhos de inspecção deverão representar os diferentes tipo de materiais, indicar quaisquer degradações, irregularidades estruturais e danos prestando especial atenção aos padrões de fendilhação e aos fenómenos de esmagamento*⁶².

c) Investigação no local e laboratório através de ensaios⁶³:

À semelhança dos exames e testes clínicos comumente utilizados pelos médicos, sempre que necessário deve proceder-se à realização de ensaios sobre a própria construção, ou sobre provetes.

Os ensaios tentam normalmente identificar as características mecânicas (resistência, deformabilidade, etc.), físicas (porosidade, etc.) e químicas (composição, etc.) dos materiais, as tensões e deformações da estrutura, a presença de descontinuidades, etc.

*Em regra, a programação dos ensaios deve ser dividida em fases, efectuando primeiro a aquisição dos resultados fundamentais e prosseguindo com uma análise mais detalhada*⁶⁴.

Devem preferir-se ensaios não-destrutivos àqueles que envolvem aberturas, intervenções e perdas de material na estrutura. Nos casos em que os ensaios não destrutivos forem insuficientes é necessário avaliar o benefício a obter com a realização de ensaios mais intrusivos.

d) Monitorização:

A monitorização consiste de modo geral na medição precisa de fenómenos não estabilizados, tais como como deformações, movimentos de juntas, aberturas de fendas, nivelamento dos elementos, verticalidade, variações de temperatura, variações humidade, etc.⁶⁵.



Figura 65 – Caroteamento para observação da composição do material de carregamento das abóbadas, Convento das Maltezas, Estremoz



Figura 66 – Extracção de carote em abóbada para observação da sua composição (tijolo cerâmico e argamassa de cal)

[Lourenço, Paulo B. et al (2008)]

⁶²ICOMOS, *ob. cit.*, (2003).

⁶³ À semelhança das anteriores, as técnicas de levantamento e caracterização experimental (ensaio) serão abordadas em pormenor no ponto 3.2.3.

⁶⁴ ICOMOS, *ob. cit.*, (2003).

⁶⁵ Costa A., Arede A. (2006) – *Strengthening of structures damaged by the Azores earthquake of 1998*, *Construction and building Materials*, Vol. 20, Issue 4, pp. 252-268.

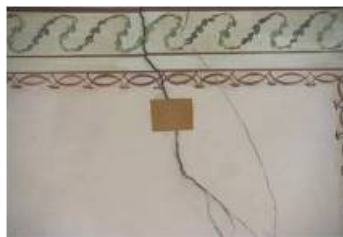


Figura 67 - Fendilhação da parede de alvenaria, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa [LEB (2011)]

Os sistemas de monitorização podem tomar a forma de simples testemunhos ou fissurómetros, ou requer o uso de dispositivos de medição computadorizados. Através da instrumentação das construções, pode avaliar-se em tempo real o comportamento estrutural e material dos elementos em estudo.

A observação da evolução das patologias permite a clarificação das causas que lhe deram origem, dos fenómenos de degradação que lhes estão associados e da verificação da sua estabilização. Através da monitorização, pode ainda ser verificada a continuidade das acções deteriorantes ou a sua ausência no presente, permitindo inferir sobre as consequências das anomalias no futuro para além do que é observado.

Dependendo da situação em causa, a monitorização constitui-se como um meio auxiliar fundamental para a definição da estratégia de intervenção e das medidas a adoptar.

3.2.1.2 | MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

O comportamento estrutural depende de três factores essenciais: da definição do esquema estrutural, das características dos materiais de construção e das acções impostas⁶⁶.

a) Definição do esquema estrutural⁶⁷:

Com a necessidade de compreender o funcionamento estrutural e de proceder à avaliação da segurança dos elementos, são geralmente definidos modelos ou esquemas estruturais simplificados. Estes representam a geometria e ligações da estrutura, simulando o seu comportamento face às acções actuantes.

A mesma estrutura poderá ser representada através de diferentes esquemas, cada um com diferentes graus de complexidade, e de aproximação à realidade.

Os esquemas ou modelos de comportamento estrutural devem contemplar as alterações introduzidas nas construções, quer devidas às anomalias verificadas (fendas, lacunas, inclinações, deformações impostas, variações de acções, etc.) quer devidas a

⁶⁶ ICOMOS, *ob. cit.*, (2003).

⁶⁷ Para informação relativa aos esquemas e comportamento estrutural de estruturas arqueadas veja-se pontos 5.1 e 5.2 do presente trabalho.

anteriores intervenções e acções humanas, permitindo uma correcta aproximação à realidade.

b) Características dos materiais

Para uma correcta avaliação da segurança e comportamento da estrutura, devem considerar-se as propriedades dos materiais (particularmente as resistências), reduzidas devido à degradação provocada pelas acções químicas, físicas ou biológicas.

Para tal podem ser utilizados coeficientes de redução das propriedades, que tenham em consideração a velocidade dos fenómenos de degradação e os sistemas de protecção e manutenção existentes.

c) Caracterização das acções

As *acções* são definidas como qualquer agente (forças, deformações, etc.) que produza tensões e deformações na estrutura (acções mecânicas estáticas ou dinâmicas) e qualquer fenómeno (físico, químico, biológico, etc.) que afecte os materiais, normalmente reduzindo a sua resistência.

Estas actuam sobre a estrutura, sendo a causa de anomalias, devendo ser claramente identificadas e avaliadas. Podem ter origem na acção do homem ou da natureza⁶⁸.

3.2.1.3 | AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA, DIAGNÓSTICO E RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO

Após a fase de recolha de informação e da modelação do comportamento estrutural, é feita a avaliação da segurança e o diagnóstico da estrutura. Estes são dois passos consecutivos e interdependentes que permitem determinar a necessidade e extensão das medidas de intervenção.

Enquanto que no diagnóstico o objectivo é identificar as causas de danos e degradações, na avaliação da segurança pretende-se verificar se os níveis de segurança são aceitáveis ou não, recorrendo a uma análise do estado actual da estrutura e dos materiais⁶⁹.

A avaliação da segurança e o diagnóstico da estrutura são então realizados com base em três tipos de análise fundamentais complementares:

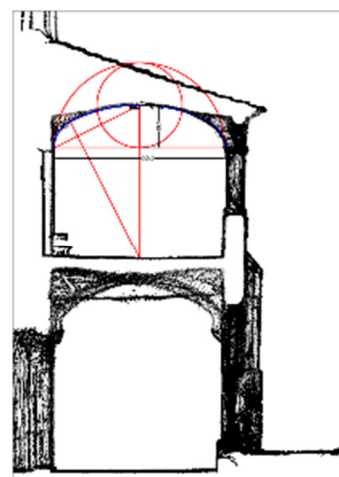


Figura 68 – Levantamento 3D laser, corte transversal do claustro, Convento das Maltezas, Estremoz
[LEB (2010a)]

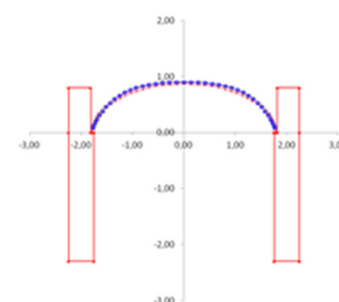


Figura 69 – Modelo de linha de pressões da Abóbada de Cobertura, Convento das Maltezas, Estremoz
[LEB (2010a)]

⁶⁸ A definição detalhada das acções actuantes sobre estruturas arqueadas far-se-á no ponto 6.2.

⁶⁹ ICOMOS, *ob. cit.*, (2003).

- análise histórica;
- análise qualitativa;
- análise quantitativa.

a) Análise histórica:

O conhecimento do que aconteceu no passado pode ajudar a prever o comportamento futuro (...). A história é o laboratório experimental mais completo, à escala real. Ela demonstra como o tipo de estrutura, os materiais de construção, as ligações, as juntas, as adições e as alterações interagiram com diferentes acções. Acções como acréscimos de carga, sismos, deslizamentos de terras, variações de temperatura, poluição atmosférica, ou outras, possivelmente alterando o comportamento original da estrutura causando fendas, fissuras, esmagamentos, movimentos para fora do plano, degradações, colapsos, etc.⁷⁰.

Para além destas informações, a análise histórica permite também a consciencialização sobre a importância patrimonial em termos dos valores documental, arquitectónico e simbólico, fundamentais, constituindo-se como uma ferramenta importantíssima na tomada de decisão sobre a intervenção a adoptar de modo que se garanta a preservação do carácter e unidade da estrutura.

b) Análise qualitativa:

Esta abordagem é baseada numa comparação entre o estado actual da estrutura e o estado de estruturas semelhantes cujo comportamento seja já compreendido⁷¹.

Pela observação directa das anomalias estruturais e materiais provocadas por diferentes tipos de acções, é possível a extrapolação de informação que permita prever o comportamento da estrutura em análise, quando comparadas com outras construções similares.

A fiabilidade desta avaliação dependerá do número de estruturas observadas e, conseqüentemente, da experiência e conhecimentos dos técnicos envolvidos.

⁷⁰ ICOMOS, *ob. cit.*, (2003).

⁷¹ ICOMOS, *ob. cit.*, (2003).

c) Análise quantitativa (analítica e experimental):

Esta abordagem utiliza os métodos da análise estrutural (gráficos, analíticos, computacionais, etc.), os quais, com base em determinadas hipóteses (...), apresentam conclusões baseadas em cálculos matemáticos⁷².

Para tal análise, há que ter em conta tanto a incerteza associada aos dados recolhidos (anomalias presentes, acções, resultados dos ensaios realizados, características dos materiais, etc.), como a dificuldade em representar por modelos numéricos os fenómenos reais de um modo exacto. Deste modo, a definição e calibração de modelos estruturais e de degradação que descrevam o mais adequadamente possível o comportamento da estrutura é fundamental.

A análise analítica (matemática) será sempre indispensável, mas a esta deverá associar-se necessariamente a identificação do nível fiabilidade considerado e a utilização de coeficientes de segurança que permitam algum grau de precaução nas medidas propostas. Deve assim ter-se em atenção, que os coeficientes de segurança utilizados para a verificação da segurança das estruturas novas indicados na regulamentação em vigor, não são na maioria das vezes adequados à análise de estruturas antigas, dado serem muito conservativos. Em estruturas existentes, o comportamento real pode ser medido e observado (através de ensaios e monitorização). Deste modo, pode ser obtida informação mais fidedigna com redução do grau de incerteza sobre o construído, permitindo a utilização de menores coeficientes teóricos (com a devida justificação do projectista) sem redução da segurança real.

O cruzamento dos resultados obtidos através das análises anteriormente descritas dará origem à avaliação e ao diagnóstico sobre os seguintes aspectos:

- estado de conservação e segurança da construção;
- nível de conforto habitacional que ele oferece;
- especificidades e implicações arquitectónicas.

Todos os dados relativos à avaliação e diagnóstico dos aspectos acima referidos (os que interessarem ao estudo e causa), bem como a toda a informação previamente recolhida, será claramente exposta

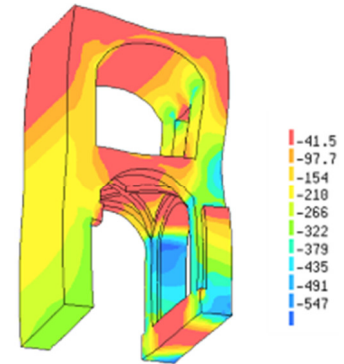


Figura 70 – Tensões principais mínimas, modelo de elementos finitos

[Lourenço, Paulo B. et al (2008)]

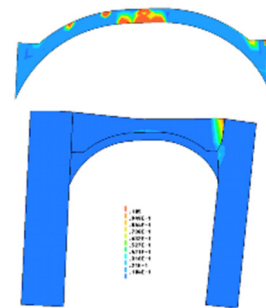


Figura 71 – Danos espectáveis na Estrutura, modelo de elementos finitos

[Lourenço, Paulo B. et al (2008)]

⁷² ICOMOS, ob. cit., (2003). Sobre os métodos de análise quantitativa de estruturas arqueadas ver ponto 5.2.



Figura 72 – O Coordenador de Projecto deve ter uma formação suficientemente abrangente para poder verificar e avaliar o desenvolvimento do projecto [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]



Figura 73 – Lista de Documentos de Homologação LNEC [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]



Figura 74 – Alguns documentos com aspectos jurídico/administrativos condicionantes [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

no *Relatório de Avaliação*. Neste documento serão também apresentadas as possibilidades e alternativas de decisão existentes no que se refere às medidas de intervenção a adoptar, bem como a fixação de prazos limite para a sua implementação.

Importa ainda referir que os factores subjacentes à definição de um prazo limite de intervenção dependerão: da estabilização ou não dos processos de degradação (assentamentos de apoio, deformações, etc.); da existência de fenómenos de natureza cíclica (variações de temperatura, humidade, etc.) que produzirão degradações crescentes; e de fenómenos que poderão ocorrer repentinamente e para os quais a estrutura não está preparada (ventos fortes, sismos, etc.).

3.2.2 | FASE DE PROJECTO

a) Elaboração do projecto

Tal como anteriormente referido, a produção de um diagnóstico fiável é fundamental para a qualidade dos trabalhos a desenvolver. Com os todos elementos recolhidos e expostos no *Relatório de Avaliação*, pode-se então definir a estratégia de intervenção e as medidas técnicas a adoptar no programa definitivo⁷³.

Compatibilizando as possibilidades e vocações da construção com os interesses e objectivos do cliente, respeitando as restrições físicas e normativas existentes bem como os princípios, critérios e valores de actuação sobre património, pode então ser desenvolvido o projecto de conservação e reabilitação.

Como foi já amplamente referido, este deverá procurar levar ao extremo a exploração dos recursos existentes, tirando proveito das melhores características do edifício sobre o qual incide, não só em termos de espaço e linguagem arquitectónica como em termos da maximização da recuperação e aproveitamento do sistema estrutural e materiais originais.

Reforça-se a importância da escolha de soluções que garantam a intrusividade mínima e a máxima reversibilidade, dando-se especial atenção às questões da compatibilidade entre materiais e processos construtivos novos e pré-existentes.

⁷³ Sobre as principais estratégias de intervenção e técnicas de reabilitação e conservação em estruturas arqueadas ver pontos 7.1, 7.2 e 7.3.

É também na fase de projecto particularmente importante a participação de especialistas nos vários domínios com experiência em conservação e reabilitação. Cada equipa de especialidade deverá então definir completamente os seus elementos, com a descrição e justificação das soluções preconizadas. Estas serão coordenadas por um técnico⁷⁴, que assegurará a imprescindível articulação de todas as decisões sobre o quadro geral da operação⁷⁵.

O projecto de conservação e reabilitação deve:

- especificar as estratégias e os trabalhos a desenvolver de modo a satisfazer os objectivos definidos para a intervenção;
- identificar claramente as características dos materiais, tecnologias e processos construtivos a utilizar;
- cumprir a normativa aplicável, os critérios e princípios de intervenção sobre património e as regras da boa arte, referindo todos os critérios de verificação e aceitação;
- indicar as exigências funcionais de utilização da construção, designadamente de exploração e manutenção;
- definir objectivamente os critérios de medição a aplicar;
- estabelecer um orçamento discriminado, apoiado num mapa de quantidades de trabalhos a realizar, com a definição objectiva dos critérios de medição a aplicar;
- indicar as exigências em fase de obra relativamente à segurança, higiene e saúde;
- conter todas as informações necessárias para a verificação e validação do projecto.

b) Elementos de projecto

Os elementos constituintes do projecto podem apresentar-se sob a forma de peças escritas (*Memória descritiva e Justificativa, Memória de Cálculo, Caderno de Encargos e Cláusulas Técnicas Especiais, Medições e Orçamento, Planos de Segurança e Saúde* entre outros) ou peças desenhadas (*Desenhos de Projecto*). Estas devem estar devidamente identificadas e listadas, de modo a permitir o correcto seguimento em obra das versões mais recentes e actualizadas.

Destaca-se a especial importância dos *Desenhos de Projecto* e *Caderno de Encargos*. São estes documentos que em obra

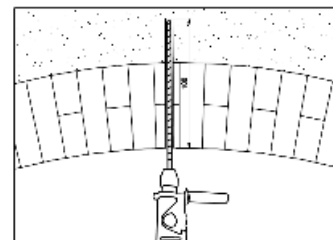


Figura 75 – Detalhe construtivo do reforço de um arco, Ex Celeiros EPAC, Évora [LEB (2010c)]

⁷⁴ Na figura do *Coordenador de Projecto*.

⁷⁵ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), p.302.

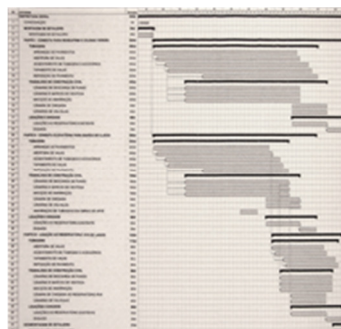


Figura 76 – Diagrama de Gantt para planeamento de trabalhos [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

definirão as características dos materiais a utilizar, os trabalhos a realizar e o seu modo de realização. Quanto mais completa for a informação neles contida, menos lugar haverá a dúvidas e a diferentes interpretações sobre o que deverá ser executado.

A definição dos materiais a aplicar deve ser exigencial e não prescritiva, indicando as características e propriedades dos materiais a utilizar mas não a sua marca ou designação comercial. Os materiais e sistemas indicados deverão obedecer aos Documentos de Homologação, Aprovações Técnicas Europeias, Certificados de Conformidade de Produtos ou Boletins de Ensaio realizados por entidades competentes e idóneas.

Quanto às peças desenhadas, estas devem de observar de rigor dimensional e gráfico, já que um erro pode ter custos económicos e técnicos graves. É imprescindível que nestas fiquem registadas todas as acções previstas, bem como a correcta definição das pré-existências.

3.2.3 | FASE DE EXECUÇÃO

a) Qualidade e organização dos trabalhos

Durante a execução importa garantir acima de tudo a qualificação das empresas que executam a intervenção, bem como o cumprimento de todos os requisitos definidos para a realização da obra. Neste âmbito, será imprescindível a devida coordenação e fiscalização dos trabalhos e a responsabilização de cada interveniente.

Os trabalhos deverão ser planeados identificando as actividades a realizar e estabelecendo a sua interligação sequencial e temporal, bem como os métodos e os recursos a eles afectos. Deste modo, o *Plano de Trabalhos* permitirá não só definir a cronologia das actividades, mas também controlar as durações, prazos e custos a elas associados. Através deste documento poderá definir-se o *caminho crítico*, identificado pelas actividades nas quais qualquer alteração terá imediatas repercussões na obra e sobre as quais se deverá exercer maior atenção.

O *Plano de Trabalhos* deve⁷⁶:

- fixar objectivos (qualitativos, financeiros temporais);
- definir a sequência e prazos dos trabalhos a desenvolver;

⁷⁶ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), pp.308-309.

- identificar intervenientes em cada trabalho e qualificações requeridas;
- métodos e tecnologias a empregar;
- atribuir competência e identificar responsabilidades.

Muitas vezes as obras de reabilitação são desenvolvidas por pequenas empresas e com poucos recursos. Nestas situações a duração das actividades será mais condicionada, já que a disponibilidade de meios é menor, facto que deverá ser avaliado quer por quem planeia quer por quem promove a intervenção.

Chama-se ainda a atenção para o facto de grande parte dos edifícios a reabilitar estarem ocupados. Caso não sejam previstas medidas de realojamento, existirão sempre questões de segurança, conforto e rentabilidade dos trabalhos que terão de ser avaliadas.

b) Trabalhos preparatórios e de consolidação preventiva

Na sequência da organização e preparação de um estaleiro de obra, é necessária a realização de trabalhos preparatórios. Estes assumem extrema importância no decorrer da intervenção, particularmente em acções de conservação e reabilitação, e, poderão envolver⁷⁷:

- escoramento de fundações, paredes, contrafortes, pisos, das estruturas existentes (na construção a intervir ou em edifícios contíguos);
- eventuais reforços estruturais provisórios para permitir acesso e execução dos trabalhos;
- execução de drenagens para protecção de elementos existentes;
- protecção à chuva de partes ou da totalidade da estrutura;
- cerramento provisório de vãos exteriores para protecção da chuva, detritos, animais e vandalismo.

c) Realização da obra

Durante a obra todos os intervenientes devem dispor da informação necessária para que todos os trabalhos possam ser levados a cabo correctamente.

Todos os procedimentos estabelecidos para a recepção, aceitação e aplicação dos materiais devem ser cumpridos, atendendo não só às especificações do *Caderno de Encargos e*



Figura 77 – Escoramento do cesso principal, Arco de Monserate, Sintra
[Foto LEB]



Figura 78 – Protecção de estrutura intervencionada, Travessa da Peixeira, Lisboa
[Foto LEB]

⁷⁷ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), p.314.



Figura 79 – Cinta de Reforço,
Museu de Portimão
[Foto LEB]



Figura 80 – Estruturas treliçadas,
Museu de Portimão
[Foto LEB]

Desenhos de Projecto, mas também a todas as especificações contratuais, às normas e recomendações aplicáveis e às boas regras de arte.

Deve ainda dar-se especial atenção à questão da segurança e dos prazos de execução, principalmente nos casos em que os edifícios se encontrem ocupados.

Na fase de execução é conveniente a realização frequente de reuniões periódicas, de modo a avaliar as dificuldades enfrentadas e o cumprimento das decisões anteriormente tomadas, bem como para o esclarecimento de dúvidas entre intervenientes. Estas são especialmente importantes no caso de intervenções de conservação e reabilitação, dada a frequência com que surgem novos dados sobre o edifício ou imprevistos⁷⁸.

3.3 | A IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO E RECOLHA DE INFORMAÇÃO: TÉCNICAS DE INSPECÇÃO, LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

3.3.1 | NOTA PRÉVIA

No âmbito da tomada das decisões que conduzem à definição das estratégias, soluções de intervenção e à elaboração do *Projecto de Conservação e Reabilitação*, por todos os motivos apresentados anteriormente, considera-se que o conhecimento profundo do objecto de estudo será sempre fundamental. A fase de investigação e recolha de informação é assim crucial em todo o desenvolvimento do processo. Deste modo, para além das questões relacionadas com a investigação histórica, deverá ser sempre realizada a inspecção visual da construção e a investigação através de técnicas de levantamento e caracterização experimental complementares (ensaios no local ou laboratório). É sobre estas que nos debruçaremos nos pontos seguintes.

Para que possuam a necessária fiabilidade, importa referir que as inspecções e ensaios devem ser levadas a cabo por técnicos experientes e qualificados, conhecedores da metodologia de análise científica, histórica e conservativa, com recurso a instrumentos devidamente calibrados e certificados. Os mapas resultantes do processamento dos dados recolhidos pelos métodos descritos deverão ser acompanhados de um relatório complementar. Neste

⁷⁸ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), p.315.

relatório devem constar as metodologias de ensaio adoptadas, as características dos dispositivos e aparelhos de medição e recolha de dados utilizados, incluindo os erros, tolerâncias e factores externos associados aos mesmos e que possam ser passíveis de influenciar a análise e interpretação dos resultados. Para além destes, deverão ainda constar do relatório todos dados recolhidos e os métodos de processamento utilizados.

3.3.2 | INSPECÇÕES

a) Informação a recolher

Embora existam diversos tipos e níveis de inspecção, todas têm como objectivo a observação *in-situ* da construção com vista ao pleno conhecimento do seu estado corrente e do desempenho que apresenta face às solicitações a que está sujeita.

Das principais informações a recolher durante uma actividade de inspecção e ensaios destacam-se:

- definição geométrica da construção existente;
- identificação de todos os materiais constituintes, incluindo a avaliação das suas propriedades;
- sistemas construtivos presentes;
- identificação de alterações ou intervenções anteriores;
- caracterização dos agentes agressores e acções naturais ou humanas actuantes;
- tipo, zonamento, extensão e severidade das anomalias;
- sistemas de funcionamento estrutural;
- comportamento e resposta da estrutura às acções da envolvente, em particular quando submetidas a forças ou acelerações.
- Como amplamente descrito no ponto 3.1.2.1 uma inspecção é normalmente precedida de uma recolha prévia de toda a informação documental disponível, de modo a dirigir-se especial atenção a determinadas anomalias detectadas e à completa avaliação do seu estado/progressão.

b) Visita preliminar

Em muitos casos justifica-se a realização de uma visita prévia preliminar na qual se dá o primeiro contacto *in-loco* com a estrutura. Durante esta é realizado um primeiro registo fotográfico dos problemas mais graves que sobressaem à vista desarmada e são identificados de forma expedita os

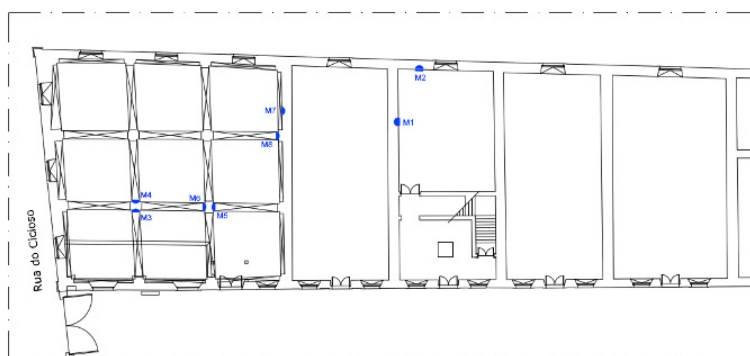
equipamentos necessários e quaisquer outras precauções que facilitem a futura actividade de inspecção e ensaio.

c) Planeamento dos trabalhos

Qualquer inspecção deve ser realizada de forma sistemática seguindo uma rotina previamente definida de modo a que nenhum elemento seja esquecido. É nesta fase que se decidem os seus objectivos, âmbito e extensão, quais as zonas a inspecionar tendo em conta as condições de acesso e o tipo e número de ensaios ou levantamentos complementares a realizar.

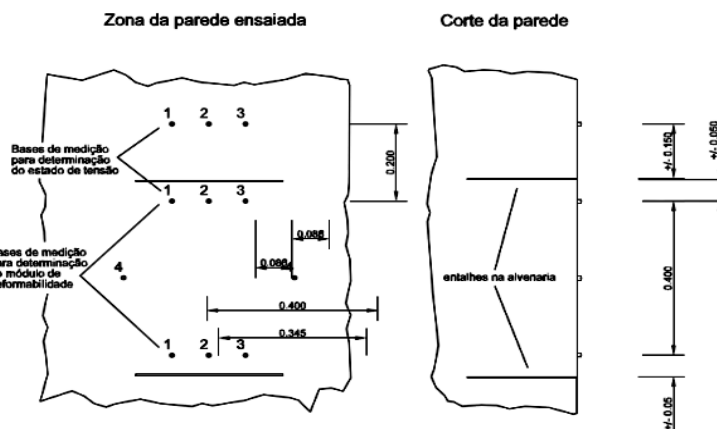
O planeamento geral dos trabalhos é influenciado pelas técnicas de caracterização utilizar, visto que estas podem ser usadas para analisar a totalidade da estrutura, alinhamentos ou apenas pontos específicos. O número e tipo de ensaios a realizar dependerá então do seu custo, da diversidade de elementos a caracterizar e do tempo necessário para a sua execução⁷⁹.

Figura 81 – Excerto de planta com definição de localização dos ensaios, Ex Celeiros EPAC, Évora [OZ (2008)]



Nesta fase são ainda definidos os meios de acesso necessários, restrições ao uso da estrutura durante os trabalhos de inspecção, bem com os equipamentos e meios técnicos a providenciar.

Figura 82 – Esquema tipo dos ensaios duplos, Ex Celeiros EPAC, Évora [OZ (2008)]



⁷⁹ Córias, Victor (2007) – Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos, Argumentum Geocorpa, Lisboa, pp. 121-122.

d) Inspeção visual

A inspeção visual é geralmente o modo mais eficiente e imediato para a caracterização rigorosa da construção e para a observação e medição de anomalias.

Todas as observações são geralmente registadas de um modo esquemático através do seu mapeamento nas peças desenhadas previamente preparadas, sendo acompanhadas de um registo fotográfico complementar que evidencie a sua localização, dimensão e importância. Os dados recolhidos são geralmente trabalhados e tratados em fase posterior, através de meios computacionais, de forma a ilustrar a realidade das observações efectuadas.

No caso da definição geométrica, construtiva e funcional, é de referir que a exactidão dos dados recolhidos sobre a estrutura existente, recorrendo a elementos de projecto existentes e/ou baseada em levantamentos de campo, permite detectar à partida eventuais anomalias estruturais, tais como deformações excessivas, possíveis processos de desenvolvimento de fendilhação ou rotura, bem como a ausência ou deterioração grave de elementos constituintes, alterações, substituições e ampliações ocorridas durante a vida do edifícios.

Nos casos em que a recolha de dados por observação directa exija a colocação a descoberto dos elementos a observar (alvenarias, paredes, contrafortes, muros de suporte, fundações, extradorso e intradorso de abobadas, arcos ou abóbadas, etc.) deve ter-se especial atenção à segurança das operações.

O tipo de equipamento necessário para a realização de uma inspeção visual varia consoante a estrutura a analisar. É porém de referir, devido à sua utilização corrente e eficiente utilidade, o seguinte conjunto de instrumentos de uso simplificado e pouco intrusivo⁸⁰



Figura 83 – Medição da espessura de elemento cerâmico do pavimento com uma craveira, Convento das Maltezas, Estremoz [Foto do autor]

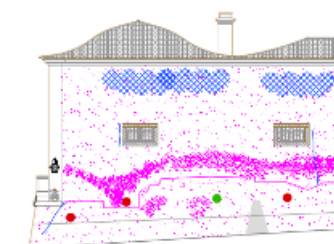
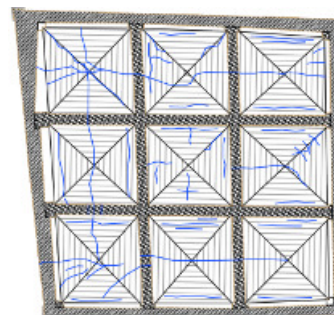


Figura 84 – Excerto de mapeamento de anomalias em plantas e alçados, Ex Celeiros EPAC, Évora [LEB (2010c)]



Figura 85 – Abertura de janela de inspeção e ensaios, Ex Celeiros EPAC, Évora [Foto LEB]

⁸⁰ Adaptado de Córias, Victor (2006) – Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios, IST Press, Lisboa.

DESIGNAÇÃO	UTILIZAÇÃO
Martelo geólogo	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação expedita da compactidade, da resistência e do estado da argamassa ou da pedra - Execução de pequenas cavidades para determinação da profundidade de carbonatação da argamassa através da reacção da fenolftaleína - Recolha de amostras de pedra ou argamassa - Detecção expedita, por percussão, de vazios e delaminações, etc
Pequeno berbequim recarregável com concha ou tubo para recolha de pó	- Recolha de pó de argamassa para ensaio laboratorial de avaliação do teor de cloretos ou outros sais
Solução de fenolftaleína em aerossol	- Determinação da profundidade de carbonatação da cai
Comparador visual de fissuras	- Medição rápida da largura de fissuras, por comparação
Fissurómetro	- Monitorização simples e relativamente rigorosa de fissuras
Medidor de humidade	<ul style="list-style-type: none"> - Detecção da humidade - Levantamento expedito da distribuição do teor de humidade
Fita métrica ou distanciómetro	- Execução de medições e levantamento expeditos
Decímetro, duplo decímetro ou pequena escala	<ul style="list-style-type: none"> - Medição de pormenores - Obtenção de fotografias com escala
Sacos para recolha de amostras	- Recolha de pequenas amostras (pedras, pó de argamassa)
Lupa para fissuras com escala decimimétrica	- Observação e medição mais rigorosa de fissuras e outros pormenores
Lanterna eléctrica, gambiarra	- Iluminação do local e dos elementos a inspeccionar
Espelho com aste	- Inspeção de zonas de difícil acesso
Bloco rígido e impresso para relatório de visita à obra	- Recolha sistemática em obra da informação básica relevante
Máquina fotográfica	- Obtenção de fotografias
Setas e números	- Identificação fotográfica de pormenores
Canivete sulço	- Ferramenta útil, em obra, para vários propósitos
Etiquetas autocolantes	- Identificação de amostras
Nível de pedreiro	- Detecção expedita de desníveis e inclinações
Fio de prumo	- Detecção expedita de desaprumos
Trincha, escova de cerda, escova metálica, vassourinha	- Limpeza das superfícies a inspeccionar, remoção localizada de detritos ou revestimentos

e) Técnicas de levantamento complementares à inspeção visual

Em complemento à observação visual é muitas vezes necessário o recurso a técnicas de levantamento e caracterização mais exactas, com vista à correcta avaliação da geometria da estrutura, características dos materiais e elementos construtivos, anomalias, grau de degradação e do seu efectivo nível de desempenho. Estes levantamentos podem ser realizados por vários meios, mais ou menos complexos ou dispendiosos consoante o tipo de elementos a avaliar e o seu estado de conservação.

De entre as principais técnicas de levantamento complementares destacam-se as seguintes:

- **Fotogrametria:** Método de levantamento baseado na observação do mesmo objecto de dois ou três ângulos diferentes, possibilitando a reconstituição de uma imagem espacial a partir de imagens bidimensionais⁸¹. As fotografias tiradas são georreferenciadas por processos topográficos correntes. A partir destas é feita a reconstituição da geometria total (bidimensional e tridimensional) do objecto através de meios computacionais, bem como a caracterização da construção e a referenciação das anomalias levantadas.
- **Levantamento topográfico tradicional ou por varrimento laser 3D:** Consiste na representação planimétrica e altimétrica dos pontos notáveis e outros pormenores de uma construção. Este é geralmente realizado através de métodos topográficos tradicionais ou com uma estação total por varrimento a laser 3D. Nos métodos tradicionais o levantamento é realizado com o apoio de uma poligonal formada pelos pontos correspondentes às estações onde são feitas as medições com recurso a um teodolito e uma mira. O varrimento laser é uma tecnologia de alta precisão que permite executar levantamentos tri ou bidimensionais. Baseado no princípio da transmissão da luz laser, o ambiente é varrido ponto por ponto e a luz reflectida é detectada, sendo possível determinar valores de distância angulares horizontal e vertical nas coordenadas XYZ e valores de reflectividade dos objectos. O resultado é uma nuvem de pontos 3D, que representam a imagem georreferenciada do objecto ou espaço varrido.
- **Medição de inclinações:** Para a medição dos desvios angulares a técnica mais correntemente utilizada é a do transdutor electrolítico, que ao medir alterações da posição angular relativamente à vertical as converte em variações de resistência eléctrica. Para além da medição pontual dos desvios angulares, pode ser usado para o acompanhamento da sua evolução ao longo do tempo. Em superfícies horizontais, a leitura pode ser feita em duas direcções ortogonais.
- **Medição da abertura de fendas:** Existem vários dispositivos e meios para a medição da dimensão da abertura de fendas,



Figura 86 – Ortofotomapa corrigido
[Ramalho, M. de Magalhães (2008/2009)]



Figura 87 – Estrutura real
[Ramalho, M. de Magalhães (2008/2009)]

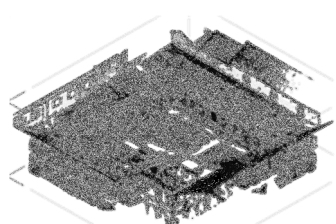


Figura 88 – Levantamento 3D, Ex Celeiros EPAC, Évora
[LEB (2010c)]



Figura 89 – Comparador de Fissuras
[Foto LEB]

⁸¹ Métodos de Inspeção e Diagnóstico – Levantamento Fotogramétrico de Monumentos e de Edifícios Antigos, Oz Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda, disponível em www.oz-diagnostico.pt/



Figura 90 – Videoscópio
[Foto LEB]

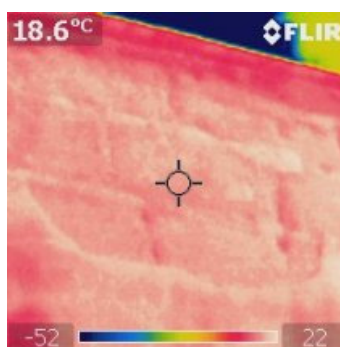
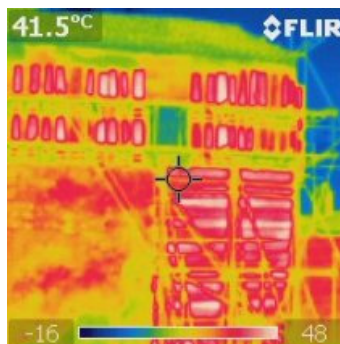


Figura 91 – Ensaio termográfico para observação dos paramentos de alvenaria, Casa das Almeidas
[Foto LEB]

instantaneamente ou ao longo do tempo (monitorização). Devido à sua corrente utilização, referem-se as seguintes ferramentas de avaliação *in-situ*: alongâmetro, fissurómetro simples, comparador de fissuras e medidor óptico.

- **Observação boroscópica de cavidades e fendas:** A baroscopia é uma técnica que permite através do auxílio de um instrumento óptico, o baroscópio, realizar de forma pouco intrusiva, inspecções em zonas de acesso limitado tais como furos, cavidades e fendas. Constituído por um tubo flexível com aproximadamente 10mm de diâmetro, munido de uma câmara numa das extremidades e um dispositivo de visualização na outra, pode ser ligado directamente a um computador de forma a permitir o registo das observações efectuadas.

3.3.3 | ENSAIOS E TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

Como complemento das inspecções, é muitas vezes necessária a realização de ensaios *in situ* bem como a recolha de amostras para ensaios laboratoriais.

Estes podem ser classificados em destrutivos, ligeiramente destrutivos e não-destrutivos. Tendo em conta que, regra geral, as construções a analisar têm elevada importância histórica, devem preferir-se em primeiro lugar ensaios não destrutivos de largo espectro com o objectivo de localizar os problemas, seguindo-se as técnicas pouco destrutivas e, se necessário, as destrutivas nas zonas onde a estrutura é mais estável e em número o mais reduzido possível.

a) Técnicas não destrutivas

Das técnicas não-destrutivas de largo espectro correntemente usadas em estruturas de alvenaria, e que permitem observar diferentes camadas e materiais, zonas com perda de aderência e coesão em revestimentos, vazios, fendas, teores de água elevados, e outras heterogeneidades destacam-se:

- **Termografia:** Tendo como base a diferente reacção dos materiais às solicitações térmicas provenientes do exterior, é possível visualizar e registar os diferentes graus de emissão de radiação térmica característica a cada um (infravermelhos). O equipamento de processamento de imagem permite o posterior tratamento dos termogramas em computador e diferenciação entre materiais e descontinuidades da construção.

- **Ensaio de radiação:** Baseia-se na absorção diferenciada da radiação penetrante na peça inspeccionada.
- **Geo-radar:** Sabendo que as propriedades electromagnéticas dos materiais estão relacionadas com a sua composição e com o seu conteúdo em água, através do tempo de percurso de uma onda electromagnética emitida por um gerador de sinal e transmitida através de antenas, podem observar-se à semelhança do ensaio anterior, diferenças de densidade, variações de espessura, ou de material.
- **Impacto-eco:** Consiste num impacto mecânico na superfície da estrutura produzindo uma perturbação que se propaga através dos elementos sob a forma de ondas. A frequência da chegada das ondas ao receptor permite a determinação de espessuras, a localização de descontinuidades, e a medição da profundidade de fendas.

De aplicação mais localizada, e usados na caracterização mecânica dos materiais:

- **Impulsos mecânicos (sónicos):** Aplicando um impulso mecânico num determinado ponto e medindo o sinal recebido no ponto oposto, pode avaliar-se a velocidade de propagação das ondas através dos elementos em estudo. Esta técnica permite determinar as características mecânicas dos materiais, conhecida a espessura do elemento.
- **Ultra-sónicos:** Baseiam-se na técnica dos ultra-sons por aplicação de um impulso num ponto e medindo o sinal recebido no ponto oposto. À semelhança dos ensaios por impulsos mecânicos, é avaliada a velocidade de propagação das ondas.
- **Esclerómetro e pêndulo:** Através do choque de uma massa com a superfície a ensaiar a qual reage provocando um resalto no instrumento de medida, pode determinar-se a resistência à compressão dos materiais. Quanto maior o resalto registado, mais dura e compacta será a superfície, logo mais resistente. É de referir que os valores obtidos são representativos do material até 5 cm de profundidade, sendo o ensaio útil para avaliar a homogeneidade do betão, ou a verificação da existência de um nível mínimo de resistência, não substituindo a determinação da tensão de rotura à compressão através de provetes em laboratório.

Usados para a avaliação do comportamento à água e presença de sais, destacam-se:

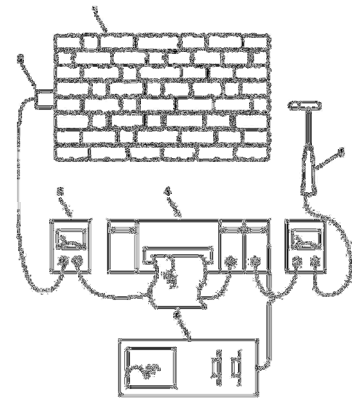


Figura 92 – Equipamento para a determinação da velocidade de impulsos mecânicos
[Alves, Ana (2009)]



Figura 93 - Ensaio esclerométrico
[<http://www.oz-diagnostico.pt/fichas>]



Figura 94 – Medição da humidade superficial, Ex Celeiros EPAC, Évora
[Foto LEB]



Figura 95 – Ensaio com tubo de Karsten
[Tomázio, Carole (2013)]

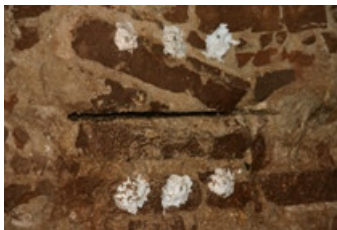


Figura 96 e 97 – Ensaio com macacos planos
[Foto LEB]

- **Medição da humidade superficial:** Através de humídmetro, por contacto com a superfície dos materiais é possível a determinação do seu teor de humidade superficial.
- **Ensaio de Karsten:** Permite a avaliação da porosidade superficial das alvenarias. Por enchimento com água de um tubo de plástico (designado por tubo de Karsten) fixo à superfície, é medido o abaixamento do nível de água.
- **Fitas e kits colorimétricos:** Permitem a detecção de sais que contenham iões cloretos, nitratos e sulfatos. Deve proceder-se à remoção de uma amostra de eflorescência em estado puro a qual é dissolvida em água destilada, sendo a solução aquosa resultante analisada através da leitura da sua reacção com um reagente ou fitas colorimétricas.

b) Técnicas semi-destrutivas

Nos casos em que se revele necessário, poderão ser usadas técnicas semi-destrutivas que provocam na construção pequenos danos localizados porém reparáveis. De entre as mais comuns destacam-se pela sua importância:

- **Macacos Planos:** Utilizados na avaliação do estado de tensão das características mecânicas das estruturas de alvenaria, tais como o módulo de elasticidade e características de deformação. Baseia-se na medição do estado de tensão instalado, devido à aplicação de cargas através de macacos planos inseridos previamente em entalhes realizados na estrutura. Nos entalhes realizados a libertação de tensão provoca o fecho do corte, quantificado pela medição da convergência entre pares de pontos dispostos simetricamente em relação a este. Posteriormente são inseridos macacos planos nos entalhes, e a pressão é gradualmente aumentada até que tenha sido eliminada a convergência medida anteriormente.
- **Arrancamento:** Permite a determinação da resistência de uma argamassa de assentamento ou de refechamento de juntas de alvenaria. Após a execução de furos com cerca de 4,5 mm de diâmetro, é cravada em cada um uma hélice de fixação e a peça de arrancamento. Esta é então traccionada, provocando a rotura da argamassa com registo da respectiva força aplicada.

c) Técnicas destrutivas

Como foi anteriormente referido, a noção do carácter destrutivo das técnicas de caracterização é importante no caso de

estruturas antigas. No entanto em muitos casos, quando é necessária a caracterização, química, mineralógica, física e mecânica completa dos materiais, a recolha de informação fidedigna só é possível através do recurso a amostras ou a furos de sondagem.

- **Sondagens:** Geralmente usadas como técnica de prospecção, permitem a identificação dos materiais presentes, presença e espessura de camadas e discontinuidades, a recolha de material para amostragem, e a abertura de furos para posterior exame buroscópico.
- **Recolha de amostras por carotagem:** Envolvendo a furação em profundidade dos materiais, as amostras recolhidas serão posteriormente analisadas em laboratório. Dos múltiplos ensaios laboratoriais existentes, destacam-se para a caracterização de alvenarias os ensaios de resistência à tracção, compressão, corte e fluência ensaios de caracterização química (composição, sais, produtos de degradação), teor de água ou capilaridade.

CAPÍTULO 4 | ARCOS, ABÓBADAS E CÚPULAS. CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICA E CONSTRUTIVA

4.1 | ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO

Seja na sua vertente monumental ou inseridas em simples edifícios antigos, devido às suas características espaciais, estéticas e materiais, bem como ao conhecimento tecnológico e científico requerido para sua construção, as estruturas arqueadas maravilharam-nos ao longo dos séculos, estimulando a nossa curiosidade sobre as pessoas e culturas que as desenvolveram.

Mas o que se entende por estrutura arqueada?

Importa, antes de mais, identificar aquilo que se entende, no presente trabalho, por arco. Usualmente, do ponto de vista estrutural, um arco pode definir-se como um elemento curvilíneo, composto normalmente por peças de alvenaria de pedra ou cerâmica, que se sustentam mutuamente no espaço, suportando cargas verticais, como objectivo de formar um vão.

Como estruturas arqueadas definem-se ainda aquelas que se constituem através da tridimensionalização deste elemento. Assim, à superfície definida pela extensão no espaço do arco ao longo de uma direcção longitudinal dá-se o nome de abóbada, sendo a cúpula definida pela superfície curva resultante da rotação do arco em torno do seu eixo vertical.

O seu funcionamento estrutural particular, diferente do lintel horizontal, permitiu ao longo dos séculos a abertura de vãos muito superiores sem risco de colapso. De facto, devido ao arranjo no espaço dos elementos que a constituem, o seu comportamento permite que estejam submetidas a forças internas favoráveis à utilização de materiais quase exclusivamente resistentes à compressão, tais como as alvenarias.

Além da sua função prática, as estruturas arqueadas possuem ainda fortes valores estéticos. Permitindo uma enorme variedade formal, estabelecem-se como elementos fundamentais da arquitectura, desde tempos imemoriais até ao presente, sendo as características dos materiais e as tecnologias utilizadas para a sua construção,



Figura 98 - Arco natural
[Gago, António (2014)]

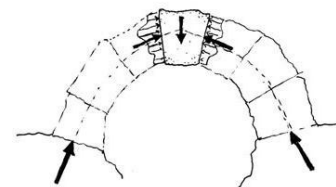
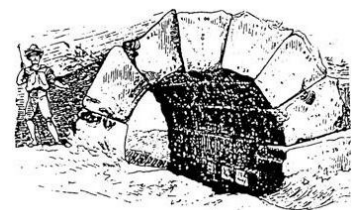


Figura 99 - Etruscan voussoir arch,
Durm (1885)
[Huerta, Santiago (2001)]

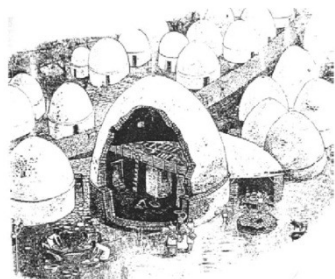


Figura 100 - Reconstituição de Khriotikia: Aldeia neolítica na ilha de Chipre

[Lourenço, Paulo.B. (1999)]

condicionantes e impulsionadoras primordiais da sua evolução ao longo da história da Humanidade. É entre 9000 e 7000 a.C. que a história da arquitectura se inicia e que a alvenaria surge como material e técnica de construção... indissociavelmente ligada à história das estruturas arqueadas.

O presente capítulo será dedicado numa primeira parte à contextualização histórica deste tipo de estruturas. Numa segunda parte será realizada a caracterização construtiva das construções arqueadas, englobando desde a sua definição material às tecnologias e processos construtivos que lhes deram origem.

4.2 | CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

4.2.1 | DA MESOPOTÂMIA À ANTIGUIDADE CLÁSSICA E ROMANIZAÇÃO

Desde que o Homem constrói cidades, devido às suas características resistentes e à facilidade de execução que permite, a alvenaria tem sido através de tradições vernaculares ou eruditas uma das principais e mais antigas técnicas construtivas utilizadas.

As primeiras construções de alvenaria foram encontradas próximo do Lago Hullen em Israel e datam de 9000 a 8000 a.C.⁸². Outros vestígios foram encontrados na Síria, Palestina, Anatólia e Chipre, revelando as primeiras formas de cúpulas da história. Usadas nas habitações primitivas inicialmente de planta circular, eram construídas em adobe e tinham formato parabólico. Esta concepção espacial será praticamente exclusiva da arquitectura funerária, e só com o Império Romano surgirá de novo a vontade de enfatizar a forma da cúpula.⁸³

Devido ao grande desenvolvimento demográfico, mais tarde (7700 a.C.), a estrutura circular das aldeias primitivas evolui para um volume rectangular, permitindo a formação de blocos compactos nos primeiros aglomerados urbanos, no interior dos quais a circulação se fazia através das coberturas em terraço, mantendo-se a alvenaria de pedra como tecnologia construtiva⁸⁴.

⁸² Gago, António (2004) – *Análise Estrutural de Arcos, Abóbadas e Cúpulas*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa, p. 11.

⁸³ Lourenço, Paulo B. (1999). *Dimensionamento de Alvenarias estruturais*. Relatório 99-DEC/E-7, Universidade do Minho, Guimarães.

⁸⁴ Exemplo conhecido é a cidade de Jericó na Palestina e as suas muralhas de pedra. Veja-se Lourenço, Paulo B., *ob. cit.*, (1999) e Lourenço, Paulo B. (2001). *Analysis of historical constructions: From thrust-lines to advanced simulations*. *Historical Constructions* (pp. 91-116), P. Roca (Eds.), Guimarães.

Nas regiões onde a indisponibilidade de pedra era uma constante, surgem materiais alternativos como a terra, que passa a ser uma alternativa económica e de fácil execução nos climas secos do Médio Oriente, Norte de África e Mediterrâneo. A construção com terra dá origem à manufactura de tijolos a partir de argila seca ao sol, o chamado adobe. Mais tarde (cerca de 1300 a.C.), fruto da observação e experiência, verificou-se o aumento da durabilidade e resistência da cerâmica cozida. Independentemente deste facto, dada a quantidade de combustível necessária para a cozedura destes elementos, a utilização de tijolos secos ao sol perpetuou-se porém por muitos milénios.⁸⁵ Inicialmente fabricados pelos egípcios (5000 a.C.) eram mais leves que a pedra, fáceis de manusear e bastante resistentes e duráveis, tendo sido utilizados até à ocupação romana (50 d.C.).



Figura 101 - Produção de tijolos no antigo Egipto (túmulo de Rekhmara, Thebes, 1500 A.C.) [Gago, António (2004)]

Por motivos de durabilidade e adequabilidade *à vida eterna da alma e à divindade*, foi no entanto e alvenaria de pedra o material usado na construção de edifícios religiosos, monumentais ou fúnebres, de que foram exemplo muitos templos e pirâmides faraónicas (2800 a 2000 a.C.). É ainda no período faraónico que os egípcios utilizam a alvenaria de tijolo para a construção de grandes túmulos com a forma de abóbadas de cúpula ogivais (3000 a.C.), as chamadas *falsas cúpulas*. Para além destas, os egípcios começaram também a dominar a construção das abóbadas de berço, construídas com elementos inclinados. Estas foram aplicadas nos armazéns do Ramesseum (1300 a.C.) e usadas séculos mais tarde na Mesopotâmia, nos canais Assírios (720 a.C.) e nos míticos Jardins Suspensos do Palácio de Nabucodossor, na Babilónia (600 a.C.)⁸⁶.

No Egeu, com dois focos culturais mais ou menos simultâneos, em Micenas e Creta, desenvolve-se fundamentalmente uma arquitectura baseada no sistema de lintel/coluna, com algumas incursões à arquitectura funerária egípcia. Um exemplo curioso é a famosa Tumba de Atreu em Micenas (1300 a.C.), onde o falso arco sobre o

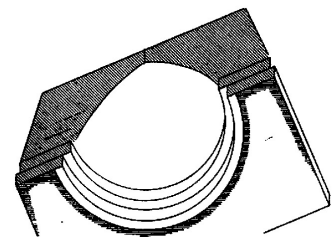


Figura 102 - Detalhes de uma *falsa cúpula*, abobada de cúpula ogival, Abydos [Choisy, Auguste (1899)]

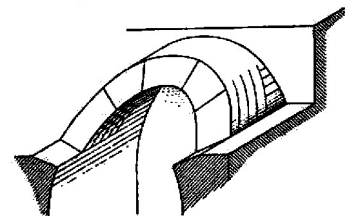


Figura 103 - Abobada de berço com elementos inclinados, Ramesseum [Choisy, Auguste (1899)]

⁸⁵ Lourenço, Paulo B., *ob. cit.*, (1999) e (2001).

⁸⁶ Choisy, Auguste (1899) – *Histoire de l'architecture*, G. Béranger, Paris, p. 34.

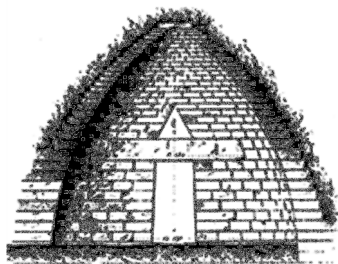


Figura 104 – Tumba de Atreu, Micenas, Segundo Reynaud [Argilés, Josep M. et al (1999a)]



Figura 105 – Ctesifonte [www.nationalgeographic.com.es]

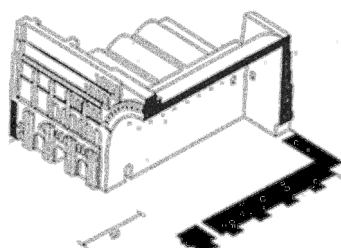


Figura 106 – Desenho esquemático de Ctesifonte [Argilés, Josep M. et al (1999a)]

lintel e a cúpula ogival são ainda formas arcaicas e sobredimensionadas dos sistemas futuros. Continuando a tradição arquitectónica do Egeu, os templos gregos clássicos (1100 a.C. a 150 d.C.) possuem porém uma harmonia estética inovadora, decorrente das novas regras de proporção, do estudo mais delicado da composição e do uso da pedra surpreendentemente trabalhada por canteiros especializados.

Quando os persas invadem a Mesopotâmia (600 a.C.), mantêm-se os sistemas construtivos; porém acentua-se o uso do arco cego e do azulejo na decoração mural. Só mais tarde, se desenvolve uma nova tipologia arquitectónica que conjuga o arco e a abóbada de berço sobre a planta rectangular aberta de um dos lados. Tratava-se do Iwan, que se tornaria numa das componentes maiores da arquitectura oriental, sobrevivendo até aos dias de hoje. É ainda no período persa que a abóbada de cúpula é incorporada na arquitectura, sendo os principais sinais históricos remanescentes desta época as ruínas do Palácio de Firuzabad e as amplas salas abobadadas de Ctesifonte

Em paralelo, no Mediterrâneo a civilização Etrusca (700 a.C. a 100 a.C.) ocupava toda a Itália Central (Etrúria). Estes absorviam dos povos da Ásia Menor e das regiões com quem mantinham relações comerciais (gregos, fenícios e egípcios) características arquitectónicas próprias que viriam mais tarde a influenciar profundamente a arquitectura romana. O arco de volta perfeita, a abóbada de berço e a cúpula, associados ao vocabulário grego, as pontes e os canais foram algumas das suas enormes realizações.

Quando os romanos assumem o controlo sobre a Península Itálica herdaram todo o conhecimento Etrusco, mais tarde alargado pelas influências resultantes do contacto com as civilizações da Ásia Menor, Norte de África e Grécia. Roma assimila todas as suas conquistas arquitectónicas, desenvolvendo-as com mestria e empregando-as em concepções espaciais com escala, intenção e significados completamente diferentes.

Com a arquitectura romana (500 a.C. a 300 d.C.) surge finalmente a grande revolução construtiva, desenvolvem-se novos materiais, tecnologias e soluções várias que se adaptam às necessidades de um império em expansão e de um programa pluriforme. Herdando o equilíbrio e beleza do sistema grego e o conhecimento estrutural do arco da civilização etrusca, os romanos desenvolvem a nova técnica construtiva dos arcos, abóbadas e cúpulas reduzindo em muitos

casos as arquitraves e colunas a motivos decorativos, permitindo a construção de grandes volumes e vãos de escala monumental expressos nas basílicas, termas, aquedutos, pontes, reservatórios e em todas as poderosas concepções espaciais de cariz civil, religioso ou militar produzidas.

Foi neste período que a produção de tijolos normalizada se generalizou e foram desenvolvidas com características hidráulicas inovadoras, o que permitiu a construção de elementos de alvenaria argamassados e posteriormente rebocados, mais resistentes e duráveis. Salienta-se ainda o aparecimento do betão executado com areia, cascalho, ou agregados com peso muito reduzido, aglutinados com cal e cinzas vulcânicas.

Na área das tecnologias construtivas, novas técnicas de edificação em alvenaria de tijolo, pedra ou mista foram introduzidas, destacando-se a execução de paredes com duas fiadas de alvenaria preenchidas no seu interior com betão (*opus cementicium*) e a inserção de arcos nas espessuras das paredes e abobadas que permitiam o encaminhamento de esforços para as zonas mais resistentes e o seu aligeiramento. Empregando toda a tecnologia disponível na altura, o sistema abobadado romano atinge o seu apogeu com o Panteão, do qual se falará mais adiante⁸⁷.

4.2.2 | A CONSTRUÇÃO MEDIEVAL

É na escala humana dos gregos e na consciência do espaço interior da basílica romana que os cristãos se baseiam para criar a forma do seu templo. Com a deslocação da capital do Império Romano por Constantino de Roma para Bizâncio, o tema basilical paleocristão exalta-se e exaspera-se no período bizantino, iniciando-se um novo período da história da arquitectura e das estruturas arqueadas. É no Oriente Greco-Romano que se começa a associar a semiesfera e o cubo. Tal associação geométrica permitia a elevação de cúpulas sobre os pendentes⁸⁸, livremente e sem suporte aparente, levando à dilatação do espaço interior constituído por sucessivas exedras que transmitiam a carga entre si. O revestimento de todas as paredes com mosaicos brilhantes reforçava a negação do invólucro mural acentuando a ideia de leveza e de flutuação das coberturas. Exemplo notável é a Igreja de Santa Sofia de Constantinopla.



Figura 107 - Cúpula Panteão, Roma

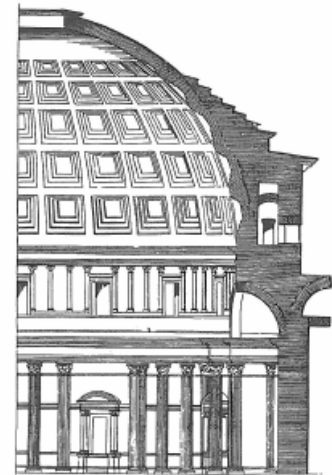


Figura 108 - Corte esquemático do Panteão de Roma
[Argilés, Josep M. et al (1999a)]

⁸⁷ Gago, António, *ob. cit.*, (2004), pp. 14-15. Veja-se também ponto 4.3.2.2.

⁸⁸ Os pendentes são superfícies triangulares côncavas construídas a partir dos vértices do quadrado (base) circunscrito ao círculo que forma a cúpula (topo).



Figura 109 - Santa Sofia de Constantinopla

[<http://en.wikipedia.org/>]

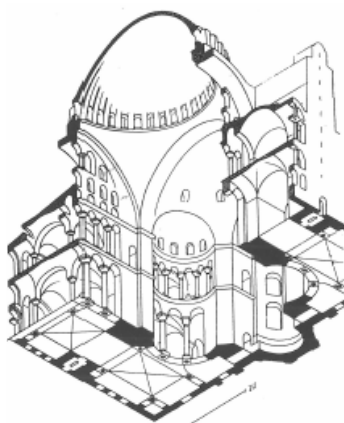


Figura 110 - Corte esquemático de Santa Sofia de Constantinopla segundo Choisy

[Argilés, Josep M. et al (1999a)]

Com o desenvolvimento e queda do Império Romano do Ocidente, no século V surgiu um conjunto de territórios autónomos de menores dimensões. Eram tempos de guerra e a actividade construtiva não era prioritária com excepção das estruturas defensivas. Seriam as ordens religiosas as únicas instituições capazes de reunir as condições de segurança e estabilidade que atraíam as populações, fundando mosteiros e escolas de artesãos, conservando conhecimentos técnicos e tradições⁸⁹.

Na Península Ibérica a substituição do domínio romano é feita pelos visigodos que reinariam até ao século VIII, data da invasão muçulmana⁹⁰.

Durante a época medieval (século X), pela primeira vez desde a queda do império romano, desenvolve-se em toda a Europa um estilo unificado em nome de uma renovação arquitectónica. Após seculos de lutas e invasões, para além das necessidades de defesa é na construção de estruturas religiosas (para salvar a alma) que o homem românico deposita a sua atenção. Os espíritos reformadores procuravam então erguer construções sólidas e duradouras, porém dispendo de poucos recursos. Adoptando alguns dos princípios construtivos romanos, definiram novas regras e técnicas que permitissem um bom desempenho e uma maior economia⁹¹.

A sua planta em cruz latina definia-se por três a cinco naves, sendo a central mais larga que as laterais. Estas eram cruzadas por outra nave transversal, o transepto, que poderia ser simples ou tripartido. Em íntima ligação com a planta definia-se toda a estrutura de suporte que incluía paredes e coberturas.

Nas naves principais eram vulgarmente utilizadas abóbadas de aresta obtidas através do cruzamento de duas abóbadas de berço. Devido à adopção de pesadas abóbadas de berço na nave central, eram gerados fortes impulsos laterais que se manifestavam de forma contínua ao longo de todo o comprimento longitudinal da cobertura, exigindo grande espessura das paredes laterais, poucas aberturas e,

⁸⁹ Gago, António, *ob. cit.*, (2004), p. 16.

⁹⁰ Da herança visigótica destacam-se a planta cruciforme, o uso do arco em ferradura e as abóbadas com cúpulas nos cruzamentos. Dos poucos exemplares referem-se a Igreja de San Cugat del Vallés em Barcelona, a Capela de S. Frutuoso em Braga e a Igreja de S. Gião na Nazaré. Durante o domínio islâmico, os cristãos que viviam sob o seu poder (denominados de *moçárabes* da expressão *must'arb, aquele que se tornou árabe*) adoptaram os costumes deste povo, mantendo em muitos casos porém a sua fidelidade religiosa e arquitectura tradicional.

⁹¹ Gago, António, *ob. cit.*, (2004), p. 17.

em alguns casos, a utilização de contrafortes, para que se garantisse o equilíbrio estrutural.

Como exemplos maiores do Românico referem-se Cluny, Santiago de Compostela e em Portugal, a Sé de Coimbra.

À medida que se caminha para o século XII, a realização dos ideais românicos, amadurecidos ao longo de mais de um século de experiência, aprofunda-se conduzindo à arquitectura gótica. Com o objectivo de reduzir ao máximo a espessura dos elementos de suporte, diminuindo os impulsos horizontais, o ponto médio do arco de volta perfeita é elevado dando origem ao arco ogival. As abóbadas de aresta dão lugar às abóbadas de cruzaria de ogivas nervuradas, que passariam a descarregar os esforços pontualmente sobre o sistema de colunas, arco botantes e contrafortes. O sistema torna-se mais flexível adaptando-se com mais facilidade à forma dos espaços a cobrir. O arquitecto gótico hierarquiza e decompõe a estrutura separando o esqueleto construtivo da sua pele, as abóbadas adquirem menores espessuras, as paredes são totalmente libertadas da sua função resistente, funcionando como membranas que permitem agora grandes vãos por onde a luz entra criando uma atmosfera mística filtrada pelo colorido dos vitrais.

Criar espaço e elevá-lo, tensioná-lo ao limite. Com o alongamento da planta, o extremar da altura e a iluminação que tornava as superfícies mais imatéricas que nunca, a arquitectura adquire uma nova escala face ao Homem. Pela primeira vez na história da arquitectura eclesiástica cristã, o espaço é construído para representar uma ideia, um mito, um sentido.

4.2.3 | DO RENASCIMENTO À ÉPOCA MODERNA

Com o Renascimento, a arquitectura reassume a busca pela ordem, por uma lei, pela disciplina. Tudo o que pode ser conotado com o humanismo do século XV pode e deve ser medido. Existe uma métrica espacial baseada em relações elementares, e em poucos segundos de observação o espaço pode ser entendido e possuída a sua lei⁹². Introduce-se assim uma inovação radical, já não é o edifício que ao determinar a caminhada do Homem e conduzindo o possui, mas é o Homem que aprendendo a lei simples do espaço possui o edifício.

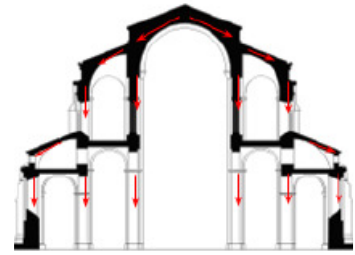


Figura 111 - Corte transversal de uma catedral românica
[<http://en.wikipedia.org/>]

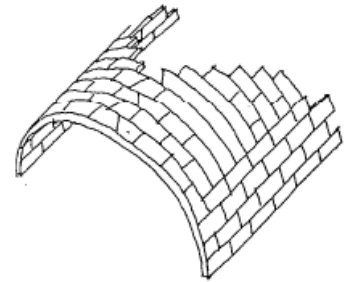


Figura 112 - Abóbada de berço
[Tostões, Ana (1996)]

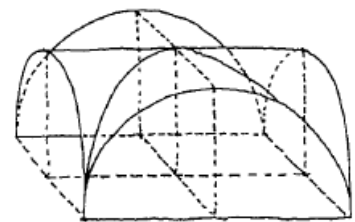


Figura 113 - Abóbada de arestas
[Tostões, Ana (1996)]

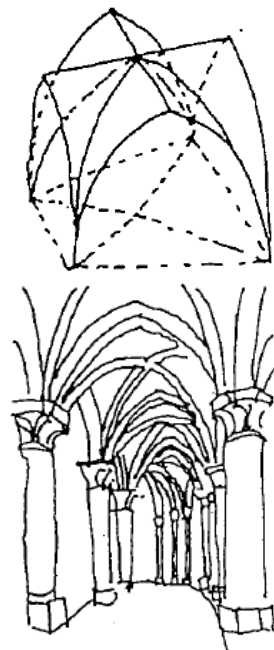


Figura 114 - Abóbada de cruzamento de ogivas
[Tostões, Ana (1996)]

⁹² ZEVI, Bruno (1996) – *Saber Ver a Arquitectura*, 5ª edição, Martins Fontes, São Paulo.

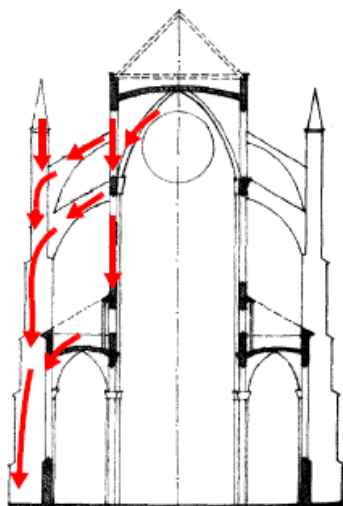


Figura 115 - Corte transversal de uma catedral gótica
[Gago, António (2004)]

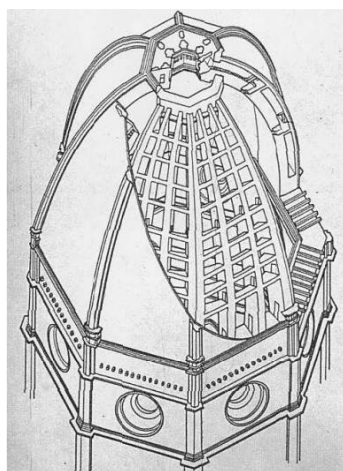


Figura 116 - Cúpula da basílica de Santa Maria del Fiore
[Gago, António (2004)]

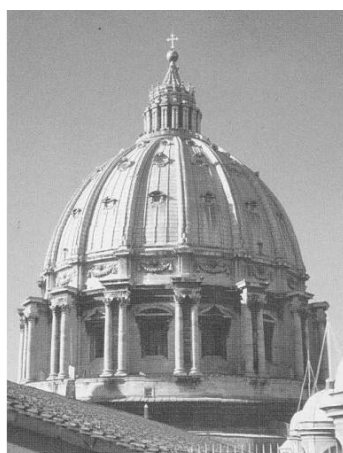


Figura 117 - Cúpula da basílica de S. Pedro em Roma
[Gago, António (2004)]

Ao ideal renascentista está associada a grande cúpula, sendo sobre esta que se desenham as grandes inovações deste período. Com ela regressa o arco de volta perfeita, a decoração clássica e o sistema estético compositivo greco-romano. A cúpula do renascimento caracteriza-se por um sistema de duas cascas formadas por alvenaria de tijolo cerâmico ligadas entre si por nervuras de alvenaria de pedra reforçadas por elementos horizontais. Este conjunto permite uma alteração de geometria do interior para o exterior, e o aligeiramento substancial da construção.

Constituem-se como os exemplos mais relevantes a cúpula da Basílica de Santa Maria del Fiore de Brunelleschi (século XV) e a cúpula da Basílica de S. Pedro de Miguel Ângelo (século XVI), apresentando vãos de cerca de 42 metros.

Às regras tratadistas dos séculos XV e XVI, segue-se a última grande libertação espacial e mental anterior à Idade Moderna. O Barroco dos séculos XVII e XVIII introduz uma atitude criativa, livre da geometria elementar, da estaticidade, formalidade e simetria. O espaço é agora mutável, dinâmico, ondula-se, move-se e interpenetra-se, traduzindo-se em novas formas plásticas e volumétricas. Se é verdade que o barroco introduz novas concepções espaciais, novas geometrias e variações estéticas, recusando os ideais renascentistas, ele não nega porém os seus instrumentos, apoiando-se nos elementos construtivos, nas tecnologias e no conhecimento dos materiais já existentes.

Após o renascimento, e até ao século XVIII não se verificam desenvolvimentos que do ponto de vista estrutural, quer construtivo nas estruturas de alvenaria, particularmente nas estruturas arqueadas, apesar da sua contínua e corrente utilização.

A par da arquitectura religiosa, a arquitectura civil em ininterrupta expansão manteve em comum o recurso aos materiais e técnicas construtivas disponíveis em cada época e lugar, aplicando-os numa infinidade de edifícios como soluções estruturais.

No panorama construtivo dos povos do sul, nomeadamente do nosso Algarve, Alentejo e Ribatejo, a escassez de recursos como a pedra e a madeira conduziu desde a antiguidade ao desenvolvimento de técnicas de edificação em terra ou tijolo tirando partido dos solos. Os sistemas construtivos em arco e o uso praticamente exclusivo de materiais cerâmicos em pavimentos, pisos e coberturas, foram aqui privilegiados, sistemas que se mantiveram em uso praticamente até ao século XIX e em alguns casos até ao século XX. Exemplos

amplamente conhecidos são os conjuntos de arcos e abóbadas de diferentes tipologias (abatidas de berço, de aresta ou de barrete de clérigo) em alvenaria cerâmica⁹³ presentes na estrutura dos primeiros pisos pombalinos do século XVIII, usadas para proteger os edifícios da ascensão das águas e também para evitar a propagação de incêndios que tivessem origem nos estabelecimentos comerciais.

Também a beleza das abobadilhas e as suas qualidades técnicas, acústicas e económicas justificam a sua aplicação prolongada (desde o século XVI até ao século XIX) no Alentejo, Algarve e sobretudo em toda a Península Ibérica muçulmana e mediterrâneo, onde são comumente designadas por abóbadas tabicadas.

A sua construção caracteriza-se por uma ou mais camadas de tijolo cerâmico disposto *ao baixo*⁹⁴, ligadas entre si por uma argamassa de cal e gesso, sem recurso a cimbra. Com espessuras muito pequenas, e resistências consideráveis, apresentam óbvias vantagens a nível dos recursos utilizados na sua construção, tornando-se extremamente populares por toda a Península Ibérica, chegando a França e Itália. No final do século XIX convertem-se na Catalunha praticamente em símbolo nacional, sendo amplamente divulgadas por arquitectos catalães como Gaudi, foram exportadas para a América por Rafael Gustavino. Este reforça-as com tiras radiais e circunferências de aço e constrói vários dos edifícios americanos mais importantes do final do século XIX, destacando-se de entre centenas de trabalhos a cúpula de Saint John the Divine em Manhattan (com 30m de diâmetro).

Durante a Revolução Industrial do século XIX, o aço e ferro são introduzidos na construção, resultado na progressiva substituição da alvenaria estrutural por pilares e vigas metálicas, tornando obsoletos os arcos e abóbadas na execução de pavimentos e coberturas. As estruturas arqueadas da era moderna passam a ser maioritariamente metálicas e a apresentar funcionamentos estruturais e metodologias construtivas completamente diferentes das suas antecessoras em alvenaria. Com o advento do betão armado há efectivamente uma ruptura com os materiais, tecnologias e formas tradicionais que gradualmente foram caindo no esquecimento.

Com a crescente necessidade de intervenção no património construído, e em linha com as filosofias e recomendação de conservação e restauro actuais, surge hoje a necessidade de



Figura 118 - Abóbadas de aresta. Piso térreo pombalino
[<http://en.wikipedia.org/>]



Figura 119 - Abóbadas tabicadas, Igreja de Trunó
[Argilés, Josep M. et al (1999a)]

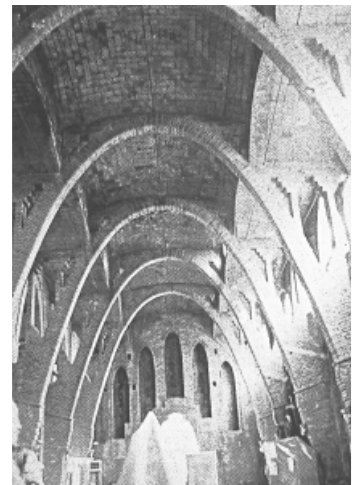


Figura 120 - Abóbadas tabicadas, Martinell S. Cugat
[Argilés, Josep M. et al (1999a)]

⁹³ Na maioria dos casos com recurso arcos de pedra.

⁹⁴ A disposição dos tijolos *ao baixo* em vez de *ao cutelo* distingue-as das abóbadas.



Figura 121 - Alvenaria Mista de Pedra e Tijolo
[Gago, António (2014)]

reaplicação de materiais e técnicas tradicionais motivando o interesse das escolas e da comunidade científica para o seu estudo, bem como para a recuperação do conhecimento e saber a estes associados.

4.3 | DA MATÉRIA-PRIMA À TECNOLOGIA CONSTRUTIVA

4.3.1 | MATERIAIS

4.3.1.1 | ALVENARIA

O termo *alvenaria* tem origem no árabe *al-banná* que denominava a *profissão ou arte de pedreiro*. Este designa uma associação de unidades (blocos, tijolos, etc.) que solidarizados ou não com argamassa formam uma construção⁹⁵. Consoante o material que as constitui, as alvenarias poderão ser de vários tipos, nomeadamente, de pedra (regulares ou irregulares), tijolo cerâmico, adobe, mista ou de taipa. Dado que as estruturas arqueadas, são constituídas fundamentalmente por alvenarias de pedra, adobe e tijolo cerâmico, será sobre a sua caracterização que recairá a nossa atenção nos pontos seguintes.

A alvenaria é um material compósito cujas propriedades mecânicas dependem das características das unidades que a constituem, bem como da sua dimensão, forma do aparelho, características das argamassas de assentamento e da espessura e arranjo das juntas.

Consoante a qualidade e durabilidade da construção pretendida, em associação com a disponibilidade de recursos materiais e económicos existente, era definido o tipo de alvenaria a utilizar. Deste modo, a utilização de grandes blocos de pedra em arcos, abóbadas e cúpulas foi exclusiva das grandes construções religiosas, monumentais ou civis, enquanto que a utilização de tijolos de argila ou adobe era generalizada e corrente em todo o tipo de construções independentemente do seu cariz, dimensão ou importância.

É de referir o contraste entre culturas construtivas quando se observam os povos do Norte da Europa e os do Sul e Mediterrâneo, sendo os últimos profundamente influenciados pela cultura islâmica,

⁹⁵ Gago, António, *ob. cit.*, (2004), p. 11.

ou num contexto mais particular, o Norte e o Sul de Portugal, a *civilização do granito* e a *civilização do barro*⁹⁶.

4.3.1.2 | PEDRA

Na antiguidade o tipo de pedra a utilizar numa dada construção era geralmente escolhido por questões de acessibilidade já que os fracos meios de transporte da época tornavam o deslocamento de materiais demorado e dispendioso. Tal facto não invalidava porém a sua aplicação excepcional mesmo em zonas onde o material não existia. Em Portugal empregaram-se essencialmente os granitos no Noroeste, Douro, Beiras e em Trás-os-Montes; a pedra de Ançã na zona de Coimbra, os calcários no Centro, o lioz em Lisboa, e os mármorees em Estremoz e Vila Viçosa.

A extracção, o corte, desbaste e talhe da pedra eram executados nas pedreiras e apenas o talhe fino era feito em estaleiro antes da sua aplicação. Blocos mais ou menos regulares eram extraídos através da leitura das falhas da pedra ao longo das quais eram feitos vários golpes delimitando o bloco que, com a ajuda de cunhas, alavancas, marreta e escopo era destacado da rocha mãe. O talhe iniciava-se com o desempenho dos paramentos e com o desbaste do material excendatário, após o qual, por aplicação dos moldes sobre o bloco se lavrava a peça. À alvenaria de pedra regular, talhada através de moldes e geometrias distintas previamente estudadas para produzir o acoplamento entre si⁹⁷, dá-se o nome de cantaria (*ashlar masonry*), sendo esta a designação pela qual é comumente tratada. Após o talhe, o acabamento era muitas das vezes realizado no estaleiro que incluía o tratamento da textura, a abertura de entalhes de ligação, ou outros elementos necessários⁹⁸. Nas faces dos blocos que ficavam viradas para o exterior era gravada a marca do canteiro, permitindo o pagamento do seu trabalho e o reconhecimento futuro deste.

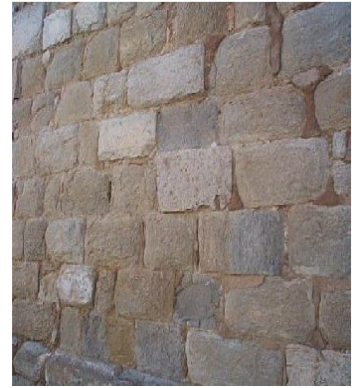


Figura 122 – Alvenaria de pedra
[Gago, António (2014)]



Figura 123 – Cantarias de pedra
[Gago, António (2014)]

⁹⁶ Fernandes, Maria. (2010) – *Materiais e técnicas construtivas no Alentejo*. In *As Idades da construção-Técnicas e saberes da construção tradicional e sua aplicação à arquitectura contemporânea*. Ed IEFP, Lisboa, p. 73.

⁹⁷ Geralmente destinada à construção de paramentos e principalmente de estruturas arqueadas em pedra.

⁹⁸ Veja-se Fernandes, Maria, *ob. cit.*, (2010), p. 75 ou Argilés, Josep M. *et al, ob. cit.*, (1999a), p.118.



Figura 124 – Adobe
[Foto LEB]

Das principais características que a pedra apresenta como material construtivo destacam-se:

- grande valor estético e patrimonial;
- durabilidade elevada;
- muito boa resistência à compressão;
- dimensões dos blocos elevadas (maior estabilidade, porém de difícil movimentação);
- peso muito elevado (favorável relativamente à capacidade de mobilização de forças estabilizantes que equilibrem os impulsos horizontais e forças deslizantes, no entanto há um aumento da carga a suportar);
- reduzida resistência à tracção, flexão e corte;
- talhe das aduelas lento;
- material dispendioso.

4.3.1.3 | ADOBE E TIJOLO CERÂMICO

O adobe consiste no molde da terra em blocos com uma determinada forma e na sua secagem ao sol, designando tanto o material como a técnica construtiva. Se a sua cozedura se segue, obtém-se o tijolo cerâmico.

Usados desde a mais remota antiguidade⁹⁹, surgem em todas as zonas onde falta a pedra e abunda a argila. Dadas as suas características resistentes e o seu fácil manuseio e aplicação, converte-se desde o início num material muito ágil e flexível que permite a execução de qualquer tipo de forma, adaptando-se a todas as necessidades.

Dadas as características resistentes do tijolo cerâmico significativamente aplicado a partir do império de Augusto, este passa a ser correntemente usado no ocidente para a construção de estruturas arqueadas a partir da época medieval. Por seu lado, o adobe seco ao sol, já comum nos séculos anteriores ao domínio romano, foi sendo geralmente aplicado na construção de paredes ou da totalidade dos elementos das arquitecturas de África, Médio Oriente ou de climas muito secos.

Usualmente revestidos com rebocos à base de cal ou com elementos pétreos, foi com o domínio árabe que o adobe e tijolo cerâmico se generalizaram com materiais arquitectónicos passando a ser usados à vista.

⁹⁹ Veja-se ponto 4.2.

Em zonas de jazida de argilas (barreiras), as terras apropriadas para o seu fabrico estão geralmente situadas a profundidades onde o solo é pobre ou isento de matéria orgânica. Nas zonas muito áridas, pode extrair-se matéria-prima com qualidade à superfície desde que retiradas as pedras, raízes, e outros materiais orgânicos presentes¹⁰⁰.

Quando o conteúdo em argila era muito elevado, era comum a adição de palha moída a fim de evitar a fendilhação. Porém, se o conteúdo em argila fosse baixo e a terra menos moldável, adicionava-se cal à mistura (como no caso da região de Aveiro e Águeda em Portugal)¹⁰¹.

O molde era feito em formas de madeira, e a secagem feita ao sol organizava-se num sistema que permitisse a boa circulação do ar. No caso dos tijolos cerâmicos estes eram cozidos em fornos constituídos pelos próprios tijolos (durante 18 a 20 horas) a temperaturas inferiores a 850 graus¹⁰².

As dimensões e formas dos blocos são extremamente variadas entre regiões, adquirindo também cores e texturas diferentes consoante a sua composição. Não obstante, a sua dimensão será sempre a que permita o seu fácil manuseio apenas com uma mão, uma das suas grandes vantagens como material de construção.

No território português as dimensões mais frequentes para o tijolo de abóbada ou abobadilha eram 32 x 16 x 4 cm e de 32 x 16 x 8 cm para o restante tijolo de alvenaria usado por exemplo em enchimentos de carga das abobadilhas a que se dá o nome de *lambaz*¹⁰³, podendo o seu comprimento variar entre 32 e 26 cm e a largura entre 16 e 13 cm¹⁰⁴.

Das principais características que apresentam destacam-se:

- valor estético e patrimonial;
- durabilidade elevada;
- muito boa resistência à compressão;
- produção rápida e económica;



Figura 125 - Paredes de Alvenaria de Tijolo, Casa das Almeidas [Foto LEB]



Figura 126 - Abóbadas e Arcos de Alvenaria de Tijolo [Gago, António (2014)]

¹⁰⁰Veja-se Fernandes, Maria, *ob. cit.*, (2010), p. 76.

¹⁰¹Correia, Mariana. (2010) – *Arquitectura de Terra em Portugal: Abordagem às técnicas construtivas*. In *As Idades da construção-Técnicas e saberes da construção tradicional e sua aplicação à arquitectura contemporânea*. Ed IEFP, Lisboa, p. 65.

¹⁰²Veja-se Fernandes, Maria, *ob. cit.*, (2010), p. 80.

¹⁰³Tostões, Ana (1995) – *Abobada Alentejana: Guia do Formando*, 1ª Edição, Ed IEFP e CENFIC, Lisboa.

¹⁰⁴Veja-se Fernandes, Maria, *ob. cit.*, (2010), p. 80.



Figura 127 - Forno de Cal
[<http://www.embarro.com/>]



Figura 128 - Cal em pedra
[<http://www.embarro.com/>]

- dimensões dos blocos reduzida (fácil manuseio e aplicação);
- reduzida resistência à tracção, flexão e corte.

4.3.1.4 | ARGAMASSAS

a) Terra, cal e gesso

Até ao século XVIII as argamassas usadas para o assentamento e reboco eram constituídas essencialmente por cal aérea, areia e em algumas situações por gesso ou terra. A partir dessa época vários tipos de cimentos começaram a ter um uso generalizado¹⁰⁵.

A terra, de natureza argilosa, foi um dos ligantes mais antigos a ser identificado em construções estando a sua utilização essencialmente relacionada com a ausência de cal. Quando usada, era previamente crivada, para depois ser misturada com areia e água.

O conhecimento da cal e a proliferação do seu fabrico levaram ao sucessivo abandono das argamassas de terra e à sua substituição¹⁰⁶. A cal, como material de construção ancestral, foi um dos primeiros ligantes a ser utilizado em revestimentos. Os gregos, etruscos e depois os romanos e árabes expandiram e aperfeiçoaram a sua utilização. Dotadas de elevada qualidade, muitas das argamassas de cal existentes em edifícios antigos, mantiveram-se em bom estado de conservação durante séculos, sobrevivendo até aos nossos dias¹⁰⁷.

Mas de que forma a cal confere tão boas características de resistência e durabilidades às argamassas onde é utilizada?

A cal, constituída por óxido de cálcio (cal viva) é formada pela decomposição térmica do calcário a altas temperaturas. Quando hidratada (na sua extinção) dá origem ao hidróxido de cálcio (cal apagada), solúvel em água, com o qual se produzem as argamassas frescas. Estas, expostas ao ar, endurecem e a cal hidratada transforma-se lentamente em carbonato de cálcio,

¹⁰⁵ Veiga, M. Rosário (2007a) – *Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Métodos e materiais (TPI58)*, LNEC, Lisboa, p. 20. Sobre este assunto veja-se também Henriques, Fernando (1991b) – *Caracterização de Argamassas para Edifícios Antigos*. Plano de Investigação, LNEC, Lisboa.

¹⁰⁶ Veja-se Fernandes, Maria, *ob. cit.*, (2010), p. 78.

¹⁰⁷ Veiga, M. Rosário, *ob. cit.*, (2007a), pp. 22-27.

indissolúvel em água, reconstituindo a rocha original do calcário que lhe deu origem. Com o passar dos anos tornam-se cada vez mais resistentes, de forma gradual do exterior para o interior, melhorando as suas características de durabilidade.

A cozedura do calcário era feita em fornos tradicionais, formados pelos próprios blocos empilhados em forma de cúpula. Consoante a temperatura atingida e o material utilizado, formavam-se vários tipos de cal com características e utilizações diferentes. Deste modo, calcários muito puros cozidos a temperaturas mais elevadas (entre os 700 e 900°) dariam origem às chamadas cals gordas, enquanto que calcários com impurezas e argilas cozidas a temperaturas um pouco inferiores dariam origem à cal magra. A primeira, extremamente branca, plástica, macia e de qualidade superior, era geralmente usada em trabalhos de assentamento mais exigentes, rebocos de regularização, acabamentos de superfícies e caiações, enquanto que a segunda, de menor qualidade e mais escura, era muito usada para assentamentos ordinários e para a execução da primeira camada do reboco¹⁰⁸.

À cal eram muitas vezes adicionados adjuvantes. Destes destacam-se: as cinzas pozolânicas romanas, contribuindo para a grande durabilidade e resistência das argamassas; fibras naturais ou pêlos de animais, que melhoravam a resistência à fendilhação (principalmente em argamassas de terra); gorduras variadas tais como azeites, óleos ou banha, o que permitia a obtenção de argamassas hidrófugas; pigmentos de terras, óxidos metálicos (ferro, zinco, crómio) e carvão para coloração de argamassas de revestimento¹⁰⁹.

Frequentemente era ainda adicionado o gesso devido às suas propriedades de endurecimento rápido. Usado desde o Antigo Egipto e Médio Oriente, é a par da cal e da terra um dos mais antigos materiais de construção, sendo continuamente utilizado ao longo da história em argamassas e rebocos, para apoio de frescos decorativos, estuques e trabalhos de moldagem.

b) Argamassas de assentamento

As argamassas de assentamento apresentam grande diversidade de constituição, variando naturalmente com o tipo de edifício, a



Figura 129 - Pigmentos naturais
[<http://www.embarro.com/>]

¹⁰⁸ Veja-se Fernandes, Maria, *ob. cit.*, (2010), pp. 76-77.

¹⁰⁹ Veiga, M. Rosário, *ob. cit.*, (2007a); p. 24.



Figura 130 - Argamassa de assentamento em parede de alvenaria, Casa das Almeidas [Foto LEB]

sua localização e a época da construção. A sua composição era definida essencialmente por uma mistura que poderia variar entre uma parte de ligante (cal em pasta) para dois a quatro volumes de areia média¹¹⁰.

No caso das abóbadas e abobadilhas tradicionais alentejanas, esta dosagem era mais rica. Assim, a argamassa usada era constituída por uma mistura de cal e areia, incluindo em muitos casos o gesso, de modo a obter uma presa mais rápida, na proporção de uma parte de ligante (três de cal e duas de gesso) para uma parte de areia. Seguindo os procedimentos tradicionais¹¹¹ obtinha-se uma argamassa de assentamento que adquiria em 20 segundos a resistência suficiente para permitir a fixação da peça cerâmica (podendo ser utilizada durante 3 a 4 horas).

As argamassas de *caldeamento* vertidas no extradorso e usadas para melhorar a ligação entre os tijolos cerâmicos das abóbadas e abobadilhas, poderiam ser constituída por uma mistura de cal gorda e areia lavada numa proporção de 1:3, ou de cal magra e areia argilosa numa proporção de 1:4.

c) Argamassas de revestimento

Nas estruturas arqueadas constituídas por elementos de alvenaria de tijolo cerâmico era frequente o seu revestimento, dado que a pedra, material nobre e de elevado valor estético, era geralmente deixada à vista. Com grande resistência e durabilidade, contribuía para o bom funcionamento global das paredes promovido pela compatibilidade de materiais e de soluções construtivas.

A utilização da cal implicava revestimentos multicamada, cada uma cuidadosamente preparada e aplicada, possuindo funções específicas:

- Camadas de regularização e protecção: emboço, reboco e esboço (espessura entre os 15 e 30 mm).
- Camadas de protecção, acabamento e decoração: barramento (2 a 5 mm), pintura e ornamentação.

¹¹⁰ Veja-se Veiga, M. Rosário, *ob. cit.*, (2007a), p. 29 e Mateus, J. Mascarenhas, *ob. cit.*, (2002), p. 216.

¹¹¹ Tostões, Ana, *ob. cit.*, (1995).

A composição destas camadas variava com as características do suporte e o fim a que se destinavam.

Deste modo, eram comuns nas camadas de regularização e protecção as argamassas de cal e areia com adições minerais e orgânicas aplicadas em várias subcamadas. Com teor de ligante e granulometria decrescente das camadas internas para as mais externas, a deformabilidade e a porosidade aumentavam do interior para o exterior, promovendo uma boa resistência às deformações estruturais e à permeabilidade da água. Com traços variáveis entre 1:1 e 1:4 (cal aérea : areia), a proporção de 1:3 muito referida por Vitruvius era também em geral eficiente se a areia tivesse granulometria proporcionada¹¹².

As camadas de protecção e acabamento aplicadas sobre as anteriores eram constituídas por barramentos e guarnecimentos de massas finas de pasta de cal ou de pasta de cal com agregados muito finos (areia de estuque, pó de pedra, pó de mármore). Também aplicadas em 2 ou 3 subcamadas (sobre o esboço), com teor de ligante crescente das mais interiores para as mais exteriores (ao contrário das camadas de regularização e protecção) eram usadas proporções de 1:0,75 (cal em pasta : agregado muito fino), assumindo enorme importância na protecção do reboco¹¹³.

Nos acabamentos ou pinturas de cal a coloração das argamassas era conferida através da adição de pigmentos minerais. Aplicadas a seco sobre o reboco ou o barramento endurecido, ou a fresco sobre o reboco ou barramento fresco, resultando em durabilidades melhoradas e cores mais vivas, porém, exigindo grande perícia.

4.3.2 | PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Dependendo do tipo de estrutura, do material utilizado e da época da construção, definiram-se ao longo dos séculos diferentes processos e tecnologias construtivas espelhando o verdadeiro engenho das civilizações.

Naturalmente, a construção de um edifício é efectuada sempre em sentido ascendente, começando pelas fundações, passando pelas empenas, pavimentos de piso, finalmente chegando à cobertura. Ao



Figura 131 - Argamassas de revestimento em parede de alvenaria, Casa das Almeidas [Foto LEB]

¹¹² Veja-se Veiga, M. Rosário, *ob. cit.*, (2007a), p. 30.

¹¹³ Mateus, J. Mascarenhas, *ob. cit.*, (2002), p. 217.



Figura 132 - Exemplos de marcas de andaimes, Ermida do Castelo de Paderne

[Ramalho, M de Magalhães (2008)]



Figura 133 - Ilustração de um antigo estaleiro de obra

[Ramalho, M de Magalhães (2008)]

longo de todas as fases e até à conclusão da obra a garantia de equilíbrio de cada parte da estrutura é necessária, pelo que, a sequência construtiva e os recursos físicos necessários para assegurar a estabilidade do conjunto edificado mostraram-se particularmente importantes, tanto em pequenas construções como em edificações monumentais.

A definição dos processos construtivos está assim indissociavelmente ligada à necessidade de recorrer a estruturas de apoio e auxiliares à construção, tais como cimbres, andaimes, ou escoramentos. Esta necessidade foi quase sempre uma constante, sendo a madeira o principal e mais procurado dos recursos elevando o seu preço. A rápida montagem, utilização e desmontagem destes sistemas ou a dispensa da sua utilização era então facto determinante na redução de custos. As reentrâncias nas paredes de muitos edifícios da antiguidade mostram os sucessivos pontos de apoio dos andaimes que deste modo não necessitavam de ser erguidos desde o solo e iam acompanhando a frente de trabalho, deslocando-se e reutilizando-se continuamente. Com o aumento dos vãos a cobrir, principalmente no caso da alvenaria de pedra, a construção dos arcos, abóbadas e cúpulas exigiu grandes cimbres suficientemente rígidos e resistentes que até à colocação da pedra de fecho não se deformassem ou entrassem em colapso¹¹⁴.

Se é verdade que no caso da alvenaria de pedra, considerando a elevada dimensão e peso dos blocos, o recurso a cimbres se torna inevitável, no caso da construção com elementos cerâmicos, dadas as suas características de manuseabilidade, podemos distinguir soluções com e sem o recurso a cimbra. Destacando-se pela sua importância histórica e presença na Europa, podemos assim distinguir de acordo com os principais processos construtivos e/ou materiais que lhes deram origem:

- arcos e abóbadas de pedra maciços;
- abóbadas e cúpulas cerâmicas aligeiradas;
- abóbadas cerâmicas bizantinas;
- abóbadas tabicadas e abobadilhas cerâmicas.

¹¹⁴ Fitchen, John (1961) – *The Construction of Gothic Cathedrals: A Study of Medieval Vault*, University of Chicago Press, Chicago.

4.3.2.1 | ARCOS E ABÓBADAS DE PEDRA MACIÇOS: TRADIÇÃO CANTEIRA

Qualquer construção em pedra inicia-se com o talhe dos blocos de pedra que a vão constituir. Na construção de estruturas arqueadas distinguiu-se essencialmente a utilização da cantaria, utilizando-se aduelas (blocos) de pedra lavrada com dimensões e geometrias distintas entre si, obrigando à exacta definição da forma das mesmas, para que uma vez talhadas se produzisse o acoplamento perfeito entre peças¹¹⁵.

Na construção de arcos e abobadas de pedra, independentemente da sua forma ou do período da história, a construção realizava-se sempre e inevitavelmente com o auxílio de cimbres. As aduelas eram colocadas sucessivamente por justaposição, seguindo uma ordem previamente definida até ao fecho da estrutura, podendo as juntas ser argamassadas ou não.

Assim foram construídas as abóbadas de berço egípcias, assírias e etruscas, as pontes e aquedutos romanos. Se é verdade que apesar de muito usada ao longo dos séculos a cantaria de pedra foi sempre alternada com a utilização de elementos cerâmicos, é no entanto a partir da época medieval que se dá pleno lugar à robusta e majestosa construção em pedra, mais adequada ao culto de Deus e da alma característica do período Românico e Gótico. Com o desenvolvimento de uma arquitectura de pedra fortificada e maciça na construção de paramentos, arcos e abobadas, foram introduzidas então algumas inovações.

Nos casos em que existia a sobreposição de vários arcos concêntricos, apenas o primeiro arco era realizado sobre cimbra que era retirado após o seu fecho. O primeiro arco servia então de apoio aos restantes poupando-se material e tempo na execução¹¹⁶. Também nas abóbadas de berço românicas inicialmente construídas com espessura constante e dependentes de pesadas paredes, foi introduzida outra inovação: a técnica de reforço com arcos¹¹⁷, permitindo o seu breve aligeiramento e a sua execução por sectores. Com o recurso a grandes cimbres de madeira, já em alguns casos posicionados sobre andaimes rolantes, eram construídos os arcos de cantaria de pedra apoiados nos pesados contrafortes existentes nas

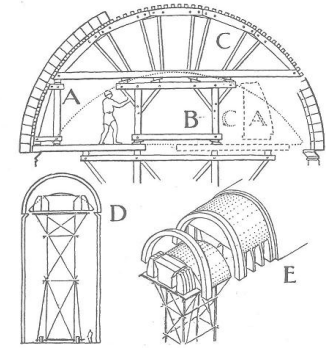


Figura 134 - Andaimes rolantes para abóbadas de berço [Fitchen, John (1961)]

¹¹⁵ Veja-se ponto 4.3.1.2.

¹¹⁶ Fitchen, John, *ob. cit.*, (1961).

¹¹⁷ Esta técnica teria sido desenvolvida anteriormente pelos romanos para reforço e equilíbrio das estruturas de alvenaria cerâmica (veja-se ponto 4.3.2.2).

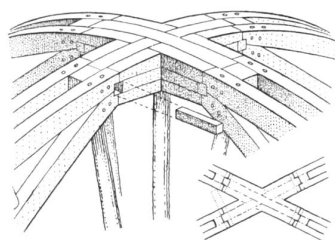


Figura 135 - Ligação de cimbres com elementos de madeira com pregagens
[Fitchen, John (1961)]



Figura 136 - Construção das nervuras no Mosteiro dos Jerónimos (1941)
[Fitchen, John (1961)]

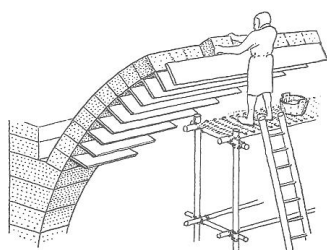


Figura 137 - Preenchimento das abóbadas
[Fitchen, John (1961)]

paredes. A abóbada era posteriormente realizada entre arcos sucessivos, desde as aduelas das impostas (faces inferiores dos blocos da base ou arranque) até à colocação das pedras de fecho, após o qual era retirado o cimbre, que se deslocaria para a frente seguinte, mantendo-se o andaime. Nas abóbadas de aresta geralmente utilizadas nas naves laterais mais baixas a construção era mais fácil, sendo os cimbres facilmente posicionados¹¹⁸.

Durante o período gótico, a descoberta das vantagens das abóbadas de aresta ao nível do comportamento estrutural originou a sua evolução, acrescentando-lhes as nervuras. No tardo das nervuras passariam a ficar escondidas todas as imperfeições das arestas facilitando a construção das abóbadas. Os cimbres, correspondentes a quartos de círculo onde assentariam as nervuras, eram independentes estando unidos no seu topo por elementos metálicos e pregagens. Após o fecho das nervuras que descarregavam num elemento de cantaria especificamente concebido para o efeito, eram então preenchidas as superfícies das abóbadas da periferia para o interior.

Previamente à construção das abóbadas eram construídos os arcos botantes, executados à semelhança dos restantes elementos com recurso a cimbre apoiando-se nos contrafortes e paredes exteriores das catedrais¹¹⁹. Deste modo, quando as abóbadas de aresta entrassem em carga, os impulsos horizontais provenientes das nervuras eram imediatamente absorvidos e equilibrados.

Com o Renascimento afloram as técnicas construtivas em pedra e regulamentam-se os ofícios de cantaria como forma de controlar a qualidade dos edifícios e proteger o saber dos canteiros. Criam-se então as guildas ou corporações de ofício e vários grêmios de associados que perduraram por séculos até aos dias hoje. Tornam-se ainda públicos os grandes tratados de Vitruvius, Alberti, entre outros, sistematizando as técnicas e melhorando os ofícios.

Nesta época, o grande tema volta a ser a cúpula, porém a necessidade de aligeiramento destas estruturas e o conhecimento do anterior desenvolvimento tecnológico e construtivo romano conduzem a uma nova actualização das técnicas e formas, marcando o início da reutilização dos elementos cerâmicos mais leves, em detrimento do uso maciço da pedra.

¹¹⁸ Segundo Choisy, Auguste, *ob. cit.*, (1899).

¹¹⁹ Fitchen, John, *ob. cit.*, (1961).

4.3.2.2 | ABÓBADAS E CÚPULAS CERÂMICAS ALIGEIRADAS: TRADIÇÃO ROMANA E RENASCENTISTA

Independentemente da época em que foram construídas, devido à fácil manipulação do tijolo ou adobe e à secção paralelepípedica igual em todos os elementos, as estruturas arqueadas edificadas com estes materiais são obtidas por uma poligonal, onde o que varia é apenas a geometria e dimensão das juntas de argamassa que têm forma aproximadamente trapezoidal.

Com a generalização da alvenaria de tijolo cerâmico na construção romana foram desenvolvidos processos e técnicas construtivas totalmente inovadoras, mesmo que depois fossem ocultas pelos estuques ou pela pedra, acabamentos mais nobres e dignos das glórias do império.

Com base no conhecimento e exploração do arco de volta perfeita e das abóbadas de berço, construídas até à época de forma contínua, tornava-se necessária a existência de pesadas paredes maciças que as suportassem ao longo do seu comprimento. Os romanos introduzem então uma novidade: sobre um cimbrio de madeira eram construídos arcos de tijolo maciço e argamassa com um determinado espaçamento entre si. Estes eram unidos uns aos outros por intermédio de elementos cerâmicos colocados transversalmente *ao alto*, formando travamentos rígidos. Posteriormente este esqueleto era preenchido por elementos *ao baixo* que constituíam a superfície da abóbada. Sobre esta estrutura base era vertido um *caldeamento* de argamassa muito resistente (betão romano)¹²⁰ que solidarizava todas as peças, tornando a abóbada numa unidade monolítica, após o qual o cimbrio era retirado imediatamente¹²¹. A estrutura, funcionando como um todo, apresentava assim associadas aos arcos, zonas mais rígidas de reforço para onde se encaminhava uma parte significativa das cargas. Sendo necessários reforços nos elementos verticais de suporte sob a base dos arcos, as paredes entre estes eram de certo modo aliviadas, permitindo que se tornassem mais leves.

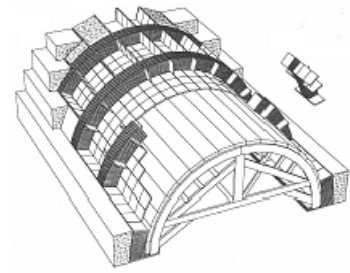


Figura 138 - Construção e uma abóbada de canhão Romana [Argilés, Josep M. et al (1999c)]

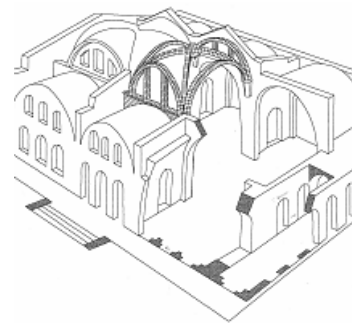


Figura 139 - Arcos centrais de reforço na Basílica de Magêncio [Argilés, Josep M. et al (1999c)]

¹²⁰ Nesta argamassa, com constituição análoga à do betão actual, os romanos utilizavam agregados muito leves (tais como a pedra pomes, a escória vesuviana e os tufos vulcânicos) em conjunto com um ligante de cal de alta qualidade à qual era adicionada cinza vulcânica (pozolana), permitindo assim obter resistências cinco a oito vezes superiores às de uma simples argamassa de cal. Veja-se Lancaster, Lynne C. (2005) – *Concrete Vaulted Construction in Imperial Rome*, Cambridge University Press, New York.

¹²¹ Argilés, Josep M. et al (1999a), ob. cit., (1999a), p. 165.

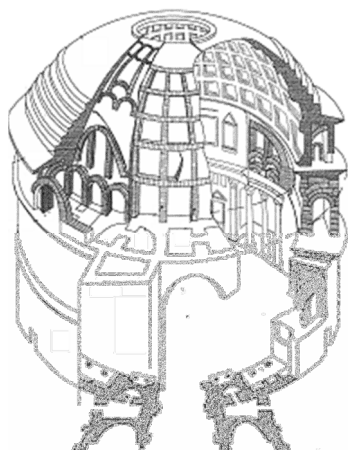


Figura 140 - Arcos e reforços de ladrilhos na construção do Panteão de Agripa
[Argilés, Josep M. et al (1999c)]

A conjugação da técnica dos arcos e abóbadas aligeiradas iniciada com a abóbada de berço foi adoptada em inúmeros edifícios sofrendo evoluções para diferentes tipologias como foi o caso das abóbadas de aresta que cobriam toda a nave central da Basílica de Maxêncio (ou de Constantino) situada no Fórum Romano. Estas descarregavam pontualmente sobre longos contrafortes (onde foram abertas passagens), aproveitando-se o espaço entre eles para a construção das abóbadas de canhão que constituíram as naves laterais.

A estrutura mais emblemática construída com recurso a esta técnica foi no entanto a cúpula do Panteão de Agripa, com 44 m de vão. Apoiada sobre cimbres, a sua estrutura base constitui-se por um conjunto de arcos de tijolo maciço argamassado, travados por anéis horizontais do mesmo material. Estes foram posteriormente recobertos no seu extradorso por uma capa de betão progressivamente mais espessa e mais pesada¹²², à medida que se caminha para a base da cúpula, conferindo ao conjunto o monolitismo e a resistência necessários para o seu funcionamento. No intradorso os vazios de forma alveolar correspondentes aos *caixotões* definidos pelos arcos e anéis de reforço, marcam a superfície da abóbada esférica, assemelhando-se aos aligeiramentos das lajes modernas. A estrutura da cúpula descarrega nas fundações através dos arcos de descarga embutidos nas paredes.

Quem sabe se para superar a abóbada esférica do Panteão, ergue Constantino mais tarde a cúpula da Basílica de Santa Sofia de Constantinopla? Construída em pleno contexto da arquitectura bizantina, assente sobre quatro enormes arcos que suportavam o seu peso, o exemplo de Santa Sofia é herdeiro do uso dos arcos de tijolo e do aligeiramento romano. Com 31,4 m de diâmetro, é constituída por uma estrutura de quarenta arcos de alvenaria cerâmica, solidarizados entre si por uma capa de argamassa leve, exibindo na base entre arcos quarenta aberturas que inundam o espaço de luz e retiram todo o *peso* à estrutura.

O conhecimento destes sistemas manteve-se ao longo dos séculos, porém, e como foi referido no ponto anterior, durante a Idade Média o uso do tijolo cerâmico decaiu quase desaparecendo até ao século XV. Com o Renascimento, o tema da cúpula aligeirada surge de novo e a técnica construtiva dos arcos e cascas é novamente recuperada,

¹²² O aumento de peso na base da cúpula reduzia significativamente o impulso horizontal transmitido aos apoios, diminuindo ainda os fenómenos de fendilhação.

reforçada e inovada. Deste facto é exemplo maior a cúpula da Catedral de Santa Maria del Fiore em Florença (com 43 m) de Brunelleschi. Com efeito, a solução encontrada foi uma estrutura em alvenaria de oito nervuras principais entremeadas por nervuras secundárias, reforçadas por elementos horizontais que ligavam todo o conjunto. Estas foram construídas sem cimbra, revestindo a sua construção de um enorme mistério. A estrutura (ou *esqueleto*) assim construída foi revestida interior e exteriormente por duas cascas, sendo o interior oco, aligeirando todo o conjunto.

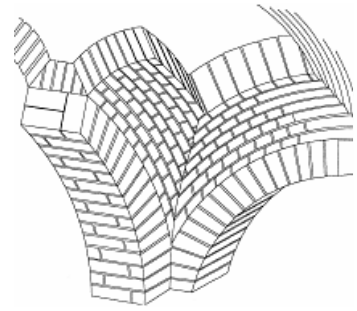


Figura 141 - Abóbadas Bizantinas
[Argilés, Josep M. et al (1999c)]

4.3.2.3 | ABÓBADAS CERÂMICAS BIZANTINAS

Continuando a tradição construtiva romana e o uso de elementos cerâmicos, Bizâncio mantém a referência às suas origens. Já falámos das cúpulas bizantinas herdeiras dos sistemas de aligeiramento de Roma como é o caso de Santa Sofia de Constantinopla¹²³, porém é no período bizantino que, trabalhando com o tijolo cerâmico e com a incorporação de novas soluções, se aligeiram totalmente as abobadas, libertando-as do recobrimento de argamassa romano e do recurso a apoios auxiliares durante a fase de construção.

Bebendo da tradição mesopotâmica e persa, as abóbadas bizantinas são então construídas segundo uma nova técnica sem recurso a cimbres, sendo formadas por uma ou duas camadas de tijolo dispostos ao cutelo segundo a sua maior dimensão, ligados entre si através de juntas de argamassa¹²⁴.

Apesar de não permitirem realizar maiores vãos, as abóbadas assim construídas são igualmente resistentes dadas a sua espessura, tornando-se porém mais leves e flexíveis que as romanas, constituindo-se como um sistema totalmente alternativo.



Figura 142 - Abóbadas Bizantinas
[Gago, António (2014)]

4.3.2.4 | ABÓBADAS TABICADAS E ABOBADILHAS CERÂMICAS: HERANÇA DO SUL ISLÂMICO

Herdeiros da tradição islâmica, especialmente no que respeita ao uso de determinados materiais de construção, como o tijolo, o adobe, a cal e o gesso, o mudejarismo¹²⁵ português e espanhol do século XVI, introduzem-se e difundem novas formas e soluções técnicas para

¹²³ Veja-se ponto 4.3.2.2.

¹²⁴ Argilés, Josep M. et al (1999a), ob. cit., (1999a), p. 155.

¹²⁵ *Mudéjar* é um termo que deriva que significa *doméstico* ou *domesticado* e que se utiliza para designar os muçulmanos ibéricos que permaneceram em território conquistado pelos cristãos e sob o seu controlo político.

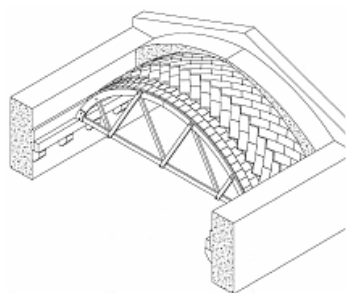


Figura 143 - Construção de abóbada tabicada
[Argilés, Josep M. et al (1999c)]



Figura 144 - Abóbadas Alentejanas
[Gago, António (2014)]



Figura 145 – Abóbadas tabicadas, Convento de Santo Domingo em Valência
[Fortea Luna, M. (2008)]

todo o andaluz e sul mediterrânico, onde se inclui o Alentejo e Algarve portugueses.

Praticadas por influência da tradição árabe, as abóbadas tabicadas e abobadilhas alentejanas caracterizam-se pela técnica de construção sem cimbra e pelo uso do tijolo cerâmico e da argamassa de gesso. As suas formas são variadas, destacando-se as abóbadas de berço, de arestas e de Engras também designadas de *barrete de clérigo*¹²⁶.

Com a difusão deste sistema, os arcos geratriz podiam cada vez apresentar-se mais rebaixados, passando-se da meia circunferência ao arco semi-elíptico ou mesmo ao arco abatido¹²⁷. Permitindo as mesmas possibilidades que a abóbada bizantina, a abóbada tabicada é constituída por uma camada dupla de tijolo assente ao cutelo, diferenciando-se das abóbadas alentejanas que apresentam apenas uma camada. Com menor espessura, conseguida colocando os tijolos ao baixo, definem-se as abobadilhas.

Apesar de diferentes na forma, as abobadas e abobadilhas apresentam construção muito semelhante, apresentando poucas variações. Esta inicia-se com o traçado prévio dos arcos (directrizes) nas paredes de apoio, permitindo a colocação das primeiras fiadas de tijolo (geratrizes). Para construção das impostas (apoios nos cantos das abóbadas) é feito um orifício em cada um dos apoios onde se apoiará o primeiro dos tijolos que fica inserido no canto entre as duas paredes, com um vértice saliente de dois ou três centímetros. Começa-se então o assentamento das fiadas de tijolo construindo de modo sucessivo o arco desde uma imposta até à imposta simétrica. Os arcos são levantados de modo a que quando se começa a segunda fiada já está construída simetricamente a primeira nas quatro paredes perimetrais. À medida que se avança na construção, as fiadas são cada vez mais curtas apoiando nas fiadas adjacentes, preenchendo-se sucessivamente a abóbada até ao seu fecho. Progressivamente e em simultâneo com esta construção, dava-se início ao carregamento dos cantos (desde a nascença até aproximadamente $\frac{1}{3}$ da altura da flecha) com alvenaria de tijolo maciço assente com argamassa de cal e areia¹²⁸. Uma vez finalizado o fecho realizava-se o *caldeamento* revestindo o extradorso com

¹²⁶ Tostões, Ana, ob. cit., (1995).

¹²⁷ Carmona Barrero, J.D. (2003) – *The Influence of Portuguese Traditional Building Techniques in Extremadura and its real situation*, Materiais e Técnicas de Conservação e de Reabilitação. 3º ENCORE, LNEC 2003, Lisboa.

¹²⁸ Tostões, Ana, ob. cit., (1995).

argamassa de cal e gesso assegurando uma conecta ligação entre os tijolos e um total fechamento das juntas, conferindo ainda alguma rigidez ao conjunto¹²⁹. No caso das abóbadas tabicadas, uma vez terminados dois ou três arcos, procedia-se à aplicação sobre estes de uma camada de argamassa sobre a qual se assentava a seguinte camada de tijolo, tendo o cuidado de desencontrar as juntas¹³⁰.

Para reforço das abóbadas executam-se geralmente cintas com aproximadamente 0,5 m de largura, afastadas entre si de 2,5 a 4 m. Sobre estas erguem-se os muretes de carga em tijolo maciço até uma altura superior a 0,2 ou 0,3 m de fecho, ficando prontas a ser carregadas.

Muitas destas abóbadas são revestidas com argamassas de reboco e acabadas com revestimentos ou pinturas de cal, outras apresentam-se cruamente na beleza do tijolo à vista.

4.3.2.5 | PAVIMENTOS

No caso de se pretenderem construir revestimentos de piso sobre as abóbadas, dois tipos de soluções eram utilizados: i) o enchimento do arco com entulho seleccionado, areia argilosa, terra ou pedra solta sobre o qual se colocava uma camada de argamassa formando uma superfícies plana para o assentamento do revestimento de piso; ii) a criação de um vigamento de madeira, apoiado através de prumos nos elementos de alvenaria, sobre o qual era pregado o soalho¹³¹.

No caso de pavimentos em terraço, eram usualmente elevados sobre a abóbada muretes de tijolo, possuindo pequenas aberturas para a circulação do ar. Estes serviam de apoio aos pavimentos, que se constituíam numa dupla camada com juntas desencontradas, garantindo as pendentes necessárias para o escoamento das águas, sobre os quais eram aplicados os revestimentos.

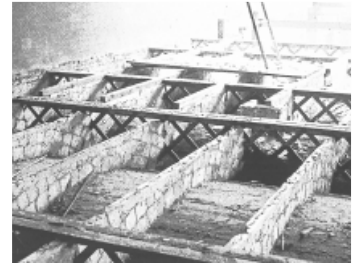


Figura 146 - Construção de muretes para assentamento de pavimentos em abóbada tabicada [Argilés, Josep M. et al (1999a)]

¹²⁹ Carmona Barrero, J.D., *ob. cit.*, (2003).

¹³⁰ Argilés, Josep M. *et al* (1999a), *ob. cit.*, (1999), p. 240.

¹³¹ Appleton, João, *ob. cit.*, (2003), p. 29.

CAPÍTULO 5 | MECÂNICA ESTRUTURAL. A ACTUALIDADE DO SABER ANTIGO.

5.1 | ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO

Com a evolução do conhecimento e das tecnologias e materiais usados na construção chegamos hoje a um ponto de impasse. As estruturas antigas que constituem o nosso património construído ainda substituem, porém observamos que as características mecânicas dos seus materiais e o seu modo de funcionamento estrutural não nos são familiares. Eles diferem totalmente daquilo que é o actual conhecimento ensinado nas faculdades, daquilo que são os instrumentos e métodos de análise aplicados às modernas estruturas de aço e betão.

Assumindo-se a alvenaria como uma das principais matérias-primas da antiguidade e componente fundamental das estruturas arqueadas, o crescente interesse na preservação e recuperação patrimonial exige cada vez mais o entendimento e a previsão do seu comportamento. Importa assim compreendê-lo cada vez melhor.

Como é que os grandes arquitectos-engenheiros do passado garantiam que os seus edifícios ficariam de pé? Que conhecimentos podemos recolher da sua prática?

Sem o recurso a cálculos matemáticos complexos e de forma simplificada, o presente capítulo é reservado à compreensão do modo de funcionamento estrutural das estruturas arqueadas. Para tal serão explicadas as principais características mecânicas do material alvenaria e o modo de funcionamento estrutural do arco, o qual se generalizará para as abóbadas e cúpulas. Posteriormente serão apresentadas os principais métodos de dimensionamento usados desde a antiguidade e a sua evolução até aos nossos dias.

5.2 | FUNCIONAMENTO DAS ESTRUTURAS ARQUEADAS

Arquitecto, filósofo, matemático e astrónomo, Vicente Tosca no seu *Compêndio Matemático* (1707-1715) inicia o *Tratado de Architectura* escrevendo:

*“A mais subtil e requintada matéria da architectura... a composição de todo o tipo de arcos e abobadas, o corte das suas pedras, o seu arranjo e disposição com arte, de tal modo que a mesma gravidade e peso que as precipita contra a terra, as mantém constantemente no ar, suportando-se mutuamente em virtude dos mecanismos que as ligam (...) com toda a segurança e força”*¹³².

Se é verdade que os arquitectos e engenheiros do século XXI se preocupam com a resistência, rigidez e estabilidade das estruturas, até ao século XVIII, desconhecendo disciplinas como a resistência de materiais e as leis da mecânica, os mestres construtores fundavam todo o seu conhecimento, arte e engenho no equilíbrio. O equilíbrio que se assegurava através da geometria. Após séculos de experiência, prova-se que, independentemente dos conceitos de dimensionamento usados, o modo de funcionamento, a estabilidade e a segurança das estruturas arqueadas de alvenaria foi e será sempre uma questão de geometria.

5.2.1 | CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO MATERIAL ALVENARIA

As estruturas modernas, constituídas por materiais homogêneos, contínuos e isotrópicos (como o betão armado e o aço) devem ser suficientemente resistentes para suportar as cargas impostas e não desenvolverem deslocamentos elevados que as possam instabilizar. Estas são hoje as premissas usadas na verificação da segurança de uma estrutura.

Observando porém o corte construtivo de uma estrutura de alvenaria, verificamos no entanto que as propriedades deste material são totalmente distintas das assumidas para materiais contemporâneos, logo, também os princípios considerados no seu dimensionamento. Através da associação de unidades ligadas ou não por argamassa de assentamento nas juntas, a alvenaria apresenta-se como um material heterogêneo e descontínuo. Deste facto resulta a sua anisotropia (diferente comportamento nas várias direcções) e a sua falta de resistência à tracção. Em paralelo com a falta de

¹³² Huerta, Santiago (2001) – *Mechanics of Masonry Vaults: The equilibrium approach*, Historical Constructions, Congress, Guimarães, p.47.

resistência à tracção, os mecanismos de suporte e equilíbrio que se geram entre elementos de alvenaria dispostos segundo uma determinada forma e geometria são então caracterizados pela presença quase exclusiva de forças de compressão.

Mas se as principais forças instaladas são de compressão, que valores podem atingir? Qual é a resistência da alvenaria?

Um parâmetro indirecto para expressar a resistência da pedra usada na construção de edifícios da antiguidade era a altura: a altura que uma coluna de pedra poderia ter, de modo a não ser esmagada na base devido ao seu próprio peso. Verifica-se que para um arenito médio, a altura de uma coluna teórica seria de 2 km, e para um granito de 10 km. Estes valores permitem concluir que a tensão de compressão máxima que se pode atingir num elemento de alvenaria de pedra, sem provocar a rotura, é extremamente elevada, assim como na alvenaria de tijolo cerâmico, que apesar de menos resistente, suporta ainda assim tensões muito altas¹³³.

Pilares, contrafortes, paredes, arcos, nervuras superfícies de abobadas e cúpulas, estão sujeitas a tensões de compressão máximas que não ultrapassam os 10% do valor da tensão resistente dos materiais, independentemente da sua altura, do comprimento dos vãos a vencer, do peso das coberturas e pisos, das acções da neve e sobrecargas. A rotura à compressão da pedra ou tijolo cerâmico é assim desprezável e o critério da resistência não é relevante uma vez que as tensões instaladas nos elementos não se aproximam das tensões críticas do material¹³⁴.

Ao analisarmos as estruturas de alvenaria da antiguidade observamos outro facto curioso: apesar de constituídas por unidades individualizadas de blocos cerâmicos ou aduelas de pedra, os edifícios e elementos que os compõem mantêm as suas formas e geometria ao longo de séculos de história não apresentando movimentos de deslizamento, ou seja sem grandes deformações¹³⁵.

Face à presença de um material compósito e heterogéneo podem então sintetizar-se as suas principais características:

¹³³ Na pedra podem atingir-se entre 1000 e 1500 ton/m² aproximadamente dependendo do material, baixando nas alvenarias para valores da ordem das 500 a 1500 ton/m².

¹³⁴ Heyman, J (2008) – *Why Ancient Cathedrals Stand Up? The Structural Design of Masonry*, Cambridge University Press, Cambridge.

¹³⁵ Huerta, Santiago, *ob. cit.*, (2001), p.49.

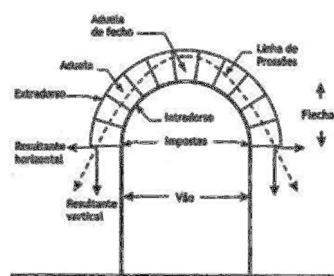


Figura 147 – Elementos constituintes de um arco e representação do seu comportamento estrutural [Lancaster, Lynne. C. (2005)]

- a resistência da alvenaria à tracção é nula;
- a resistência da alvenaria à compressão é ilimitada;
- o coeficiente de atrito nas juntas entre blocos ou aduelas é muito elevado não ocorrendo deslizamentos.

Devido a estas propriedades, ao contrário das estruturas modernas, o colapso das estruturas de alvenaria ocorre na maioria dos casos subitamente sem que se manifestem tensões ou deformações significativas, ou seja, sem aviso prévio, razão suficientemente forte para motivar cada vez mais a procura do seu entendimento.

5.2.2 | GEOMETRIA DE EQUILÍBRIO E LINHAS DE PRESSÕES NO ARCO

Tomando qualquer elemento estrutural em alvenaria, pode afirmar-se que a sua forma deve de obedecer a regras geométricas simples para que se mantenha em equilíbrio.

Como sabemos, um arco é constituído por aduelas de pedra unitárias e geometricamente idênticas ou por tijolos cerâmicos, dispostos sequencialmente sobre um cimbri (em geral) com início nas impostas e finalizando na aduela de fecho. Uma vez completo e entrando em funcionamento gerar-se-ão pressões de compressão em todas as faces/juntas dos blocos, desde o fecho até às impostas, que por sua vez reagem contra os encontros (pilares, contrafortes ou paredes).

Em cada junta a superfície de pressões pode resumir-se a uma força resultante com uma dada intensidade e direcção, aplicada numa determinada posição a que se chama centro de pressão. Ao lugar geométrico definido pelo polígono que une os consecutivos centros de pressão dá-se o nome de linha de pressões.

Mas como, ou através de que mecanismo se mantém em equilíbrio o arco?

Tendo presente o conceito de linha de pressões, Hooke deu a resposta a esta pergunta em 1675, relacionando a geometria invertida de uma corrente suspensa sujeita ao seu peso próprio (catenária) com a geometria do arco equilibrado. A tracção pura da catenária assemelha-se à compressão pura do arco e a forma da catenária à linha de pressões deste. Gregory completa a descoberta de Hooke, afirmando que *“quando um arco se mantém em equilíbrio é porque contem no interior da sua espessura uma catenária”*¹³⁶.

¹³⁶ Heyman, Jacques (1999) – The science of structural engineering, Imperial College Press., London, referido por Huerta, Santiago, ob. cit., (2001), p.50.

Podia então afirmar-se que a estabilidade dos arcos seria garantida se a sua linha de pressões se encontrasse no interior da secção, mantendo-se esta comprimida e estável.

Esta analogia permitia ainda determinar os impulsos actuantes sobre os encontros. *“A mesma força que a corrente exerce para dentro é exercida para fora pelo arco”*.

Da análise da posição da linha de pressões no interior do arco, percebe-se que esta pode assumir duas geometrias extremas, correspondentes ao impulso mínimo e máximo respectivamente. Observa-se que a geometria que corresponde aos impulsos mínimos será aquela em que a linha de pressões está mais próxima do intradorso do arco na sua base e do extradorso no seu topo.

Ao elevar o ponto médio dos arcos no período Gótico, os construtores do século XII intuitivamente aproximavam-se da geometria da linha de pressões que provocava menores impulsos nos contrafortes permitindo ainda uma maior segurança nas construções, devido à maior facilidade de acomodamento desta linha no interior do arco. Com o mesmo efeito era usual o carregamento do extradorso do arco, até determinada altura junto aos encontros (rins) provocando uma maior inclinação da curva de pressões e diminuição dos impulsos, bem como um meio físico para a transmissão dos impulsos horizontais aos tradicionais contrafortes ou arcos botantes. Outra forma de diminuir a componente horizontal dos impulsos era o carregamento destas zonas com pináculos, estatuária ou gárgulas.

Um arco nunca dorme, diz um antigo provérbio árabe.

Existem assim duas questões fundamentais nas quais se baseia o funcionamento das estruturas arqueadas de alvenaria: o desenho de arcos que se equilibrem e encontros que resistam aos seus impulsos.

5.2.3 | RESPOSTA A PEQUENOS DESLOCAMENTOS E MECANISMOS DE COLAPSO

Depois da entrada em funcionamento do arco e do início da carga, os encontros não sendo rígidos poderão ceder um pouco aumentando ligeiramente o vão obrigando o arco a acomodar-se à nova geometria.

E como é que o arco o faz?

Abrindo naturalmente fendas nas juntas. Num primeiro momento o arco fendilhará, formando-se três rótulas nos pontos onde a linha de

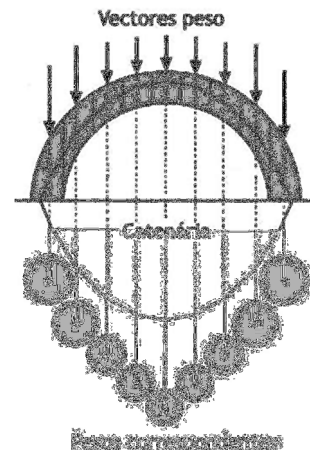


Figura 148 – Relação entre a forma do arco e a catenária [Lancaster, Lynne. C. (2005)]



Figura 149 – Linhas de pressões correspondentes aos impulsos horizontal máximo e mínimo num arco circular [Gago, António (2004)]

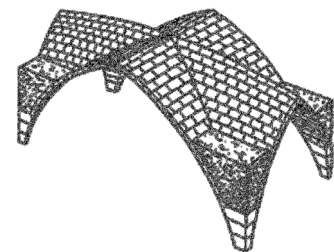


Figura 150 – Preenchimento dos encontros das abóbadas de arista, necessário para a mobilização da reacção horizontal que equilibra a estrutura [Gago, António (2004)]

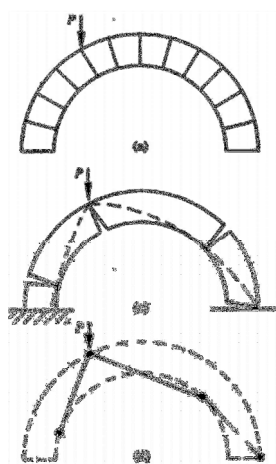
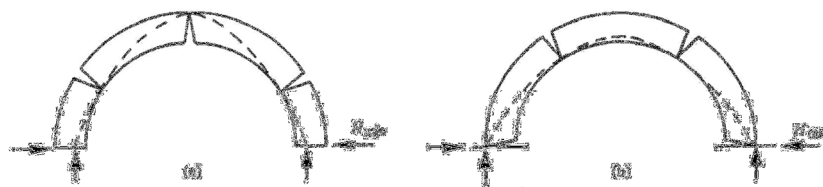


Figura 151 – Colapso de um arco semi circular em pedra sob a acção de uma carga pontual [Huerta, Santiago (2001)]

Figura 152 – Arco semi circular sob o seu peso próprio a) Impulso mínimo; b) Impulso máximo [Huerta, Santiago (2001)]



5.2.4 | O CASO DAS ABOBADAS E CÚPULAS

Os princípios de funcionamento apresentados para os arcos podem ser generalizados para as estruturas tridimensionais e o conceito de linha de pressões transforma-se em superfície de pressões. Para a garantia do equilíbrio esta deverá estar completamente contida na espessura da abóbada ou cúpula.

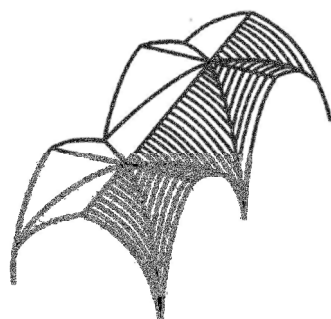


Figura 153 – Modelo de arcos sucessivos similares a correntes suspensas [Huerta, Santiago (2001)]

Dada a grande dificuldade de determinação desta superfície, a estrutura tridimensional é usualmente decomposta em estruturas planas. Uma abóbada pode assim ser imaginada como uma serie de arcos sucessivos quando cortada por planos verticais. No caso das abobadas de aresta estes arcos repousam sobre as nervuras, também elas arcos apoiados em pilares ou contrafortes. Deste modo, considerando o conceito de linha de pressões que se estabelecem para o arco bidimensional, é possível analisar cada um dos arcos que compõem uma abóbada em separado independentemente da sua tipologia (berço, aresta, nervura). Encontrando-se uma solução

¹³⁷ Heyman, Jacques, *ob. cit.*, (2008).

¹³⁸ Resistência à tracção nula, resistência à compressão ilimitada e impossibilidade de escorregamento. Veja-se ponto 5.2.1.

¹³⁹ Huerta, Santiago, *ob. cit.*, (2001), p.54.

equilibrada e estável para a estrutura decomposta, fica automaticamente garantida a segurança da estrutura completa¹⁴⁰

Este princípio pode ser facilmente entendido pela observação dos modelos de correntes suspensas, usados para o projecto tridimensional de estruturas abobadadas em arquitectura. Gaudí foi um mestre no desenvolvimento desta técnica, usando-a no seu expoente máximo durante os projectos da colónia Güell e Sagrada Família.

As cúpulas por sua vez podem ser imaginadas como uma serie de arcos obtidos pelo corte meridional em lúnulas da sua superfície. Exemplo maior é a cúpula de Santa Sofia de Constantinopla que se comporta como um conjunto de 44 arcos integrados na estrutura cupular. Se for possível desenhar uma linha de pressões dentro da espessura do arco assim obtido, então um possível estado de compressão e equilíbrio é determinado e a segurança da totalidade da cúpula é garantida.

De facto, o comportamento da cúpula é semelhante ao do arco que através de forças internas transfere a carga para a estrutura de suporte na base, no entanto existem algumas diferenças. No caso do arco, a distribuição de forças ocorre apenas no seu plano, no caso da cúpula essa distribuição é radial e circunferencial. Sem a aduela de fecho o arco não consegue atingir a estabilidade. Pelo contrário, no caso da cúpula, ao desenvolverem-se forças circunferenciais é permitida a construção anel a anel. Estes, auto suportam-se sem o recurso obrigatório a cimbra, sendo possível não executar o seu fecho (óculo) sem colocar em causa o equilíbrio, como é exemplo maior a cúpula do Panteão.

No entanto as forças circunferenciais que se geram não são na sua totalidade de natureza compressivas, e a cúpula tem tendência para abrir na base devido à componente horizontal da linha de pressões que se materializa em impulsos. Dependendo da sua geometria é possível definir um ângulo a partir do qual as forças circunferenciais passam a ser de tracção, provocando a abertura de fendas na base se não forem tomadas as devidas precauções¹⁴¹.

Considerando este problema, muitos projectistas, particularmente no período renascentista, desenhavam secções de cúpula de forma



Figura 154 – Modelo de Gaudí para o dimensionamento de cúpulas através da analogia entre arcos e correntes suspensas [Gago, António (2004)]

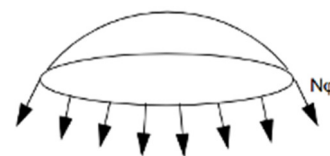


Figura 155 – Esforços Meridionais numa cúpula [Gago, António (2004)]

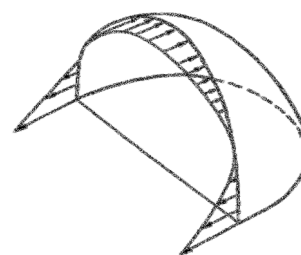


Figura 156 – Tensões circunferenciais numa cúpula sujeita apenas à acção do seu peso próprio [Heyman, Jacques (1995)]

¹⁴⁰ Gago, António, *ob. cit.*, (2004), p. 149.

¹⁴¹ Lau, Wanda M. (2006) – *Equilibrium Analysis of Masonry Domes*, Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, Massachusetts.

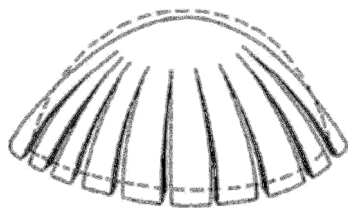


Figura 157 – Fendilhação tipo de uma cúpula
[Heyman, Jacques (1988a)]

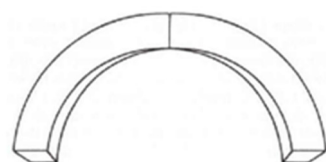
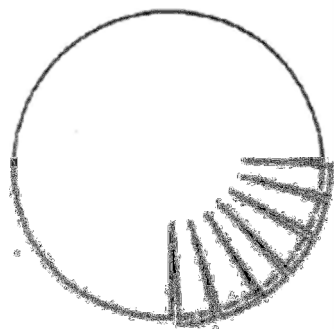


Figura 158 - Duas lúnulas de uma cúpula diametralmente opostas
[Lau, Wanda W. (2006)]

ogival que geravam menores impulsos horizontais na base, como foi o caso de Santa Maria del Fiore em Florença. Outra alternativa era a introdução de anéis metálicos na base, que funcionando à tracção absorviam as forças circunferenciais geradas pelos impulsos, de que é exemplo a cúpula da basílica de São Pedro de Roma.

Face ao exposto, considerando as características da alvenaria, pode afirmar-se de forma sintética, que o mecanismo de colapso deste tipo de estruturas se inicia com a fissuração meridional da base dividindo a cúpula em lúnulas ou arcos, após a qual se formam tal como indicado para os arcos, sucessivamente três e quatro rótulas até ao colapso.

5.3 | MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

5.3.1 | NOTA PRÉVIA

A análise do funcionamento estrutural de arcos, abobadas e cúpulas determinou ao longo de séculos a realização contínua de estudos que permitissem definir regras de dimensionamento e a verificação da sua segurança. Dada a sua complexidade a avaliação deste tipo de estruturas sempre foi e continua a ser a ser uma tarefa difícil.

Neste ponto são sublinhadas as principais teorias e métodos de dimensionamento desenvolvidos a partir do século XVII, e apresentadas de forma introdutória as metodologias de cálculo mais divulgadas, nas quais se incluem métodos gráficos e analíticos puramente empíricos ou baseados em conceitos de mecânica estrutural.

Como se poderá ver pelas referências, o conteúdo deste capítulo não é original, sendo intenção do autor simplesmente a de sintetizar a informação compilada no trabalho de Gago (2004) considerada essencial no âmbito do corrente trabalho.

Apesar das estruturas arqueadas dependerem do sistema de apoio onde descarregam, este documento e em particular este capítulo, concentrar-se-á apenas nas questões de dimensionamento relativas aos arcos, fazendo referência ao sistema de encontros (pilares, paredes, contrafortes) apenas quando necessário.

5.3.2 | MÉTODOS GRÁFICOS E ANALÍTICOS

Ao longo de muitos séculos, da antiguidade ao período romano, o dimensionamento das estruturas era essencialmente realizado através do conhecimento empírico. Este, baseava-se no

desenvolvimento intensivo e posterior ensaio de variadas formas de equilíbrio, que num processo de tentativa e erro, iam sendo seleccionadas.

No século I a.C., Vitruvius, nos seus *Dez livros de Architectura*, o primeiro tratado de construção da história, revelava já a necessidade de aplicar regras de proporção adequadas por forma a garantir a estabilidade das construções de arcos, abobadas e cúpulas, não fazendo no entanto referência a qualquer regra de dimensionamento. A geometria era assim definida através de normas que codificavam as dimensões e proporções dos elementos estruturais, a profundidade dos encontros, o vão e a altura dos arcos e nervuras ou a espessura das abóbadas. Estas normas poderiam ser de natureza aritmética ou geométrica, sendo usadas em inúmeros edifícios. A reprodução à escala da cúpula do Panteão em diversos pontos do Império Romano é disso exemplo ¹⁴².

As regras de dimensionamento baseadas na proporcionalidade, nas relações geométricas e no conhecimento empírico mantêm-se durante toda a época medieval, porém o entendimento intuitivo dos mecanismos de funcionamento estrutural e do conceito de força, levam à execução de construções cada vez mais arrojadas e eficientes no que diz respeito ao encaminhamento dos esforços.

Com o início do século XVI, durante o período renascentista, são finalmente lançados por Leonardo Da Vinci as bases da resistência dos materiais, com a definição de força como uma entidade vectorial com intensidade, direcção e sentido. Este elabora ainda diversos estudos sobre o comportamento mecânico dos arcos, que não tiveram sucessor imediato, da mesma forma que não houve no durante todo século XVI e em mais de metade do século seguinte, outros desenvolvimentos no estudo destas estruturas ¹⁴³.

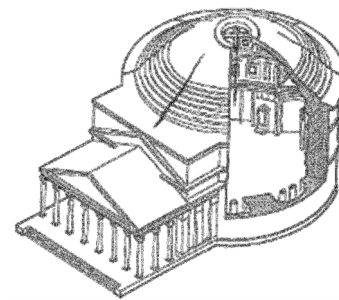
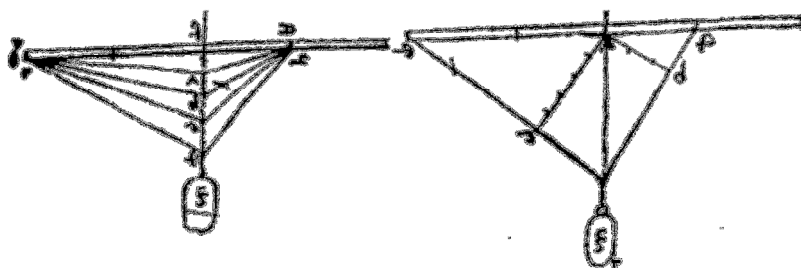


Figura 159 – Fendilhação meridional da cúpula do Panteão em Roma
[Gago, António (2004)]

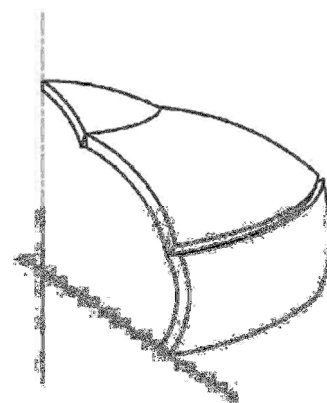


Figura 160 – Mecanismo de colapso típico de uma cúpula
[Lau, Wanda W. (2006)]

Figura 161 – Paralelograma de forças de Leonardo da Vinci
[Gago, António (2004)]

¹⁴² Gago, António, *ob. cit.*, (2004), p. 20.

¹⁴³ *Idem*, p. 24.

A substituição das regras empíricas por regras racionais gráficas e analíticas foi feita por Galileu no século XVII, que formula pela primeira vez o conceito de força actuante sobre uma estrutura, assinalando o início da mecânica estrutural e o entendimento da evolução das tensões com a alteração das dimensões da estrutura.

Se é verdade que até ao século XVIII foram verificados avanços científicos significativos, dos estudos realizados resultaram regras de dimensionamento complexas e de difícil aplicação. Os construtores e projectistas habituados a regras empíricas de utilização rápida e fácil, não alteraram os métodos de projecto, continuando durante todo o século XVII a usar as metodologias de projecto que tão bem dominavam.

Figura 162 – Regras Aritméticas de Fray Lorenzo de San Nicolás (1639) para o projecto de vários tipos de abóbadas usando diferentes materiais [Huerta, Santiago (2010)]

	Type of buttress		
	Wall (uniform section)	Wall with counterforts	
		Wall thickness	Wall plus counterfort
Stone vault	1/3	1/6	≥ 1/3
Brick vault, radial joints	1/4	1/7	1/3
Brick, timber vault	1/5	1/8	1/4

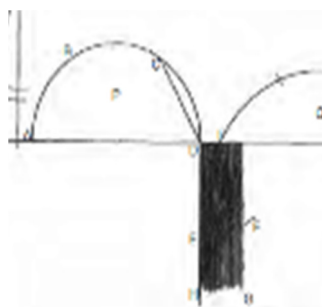


Figura 163 – Regra geométrica de Derand para o desenho de encontros. O arco transversal da abóbada é dividido em três partes sendo CD igual a DF. (Derand, 1643). [Huerta, Santiago (2010)]

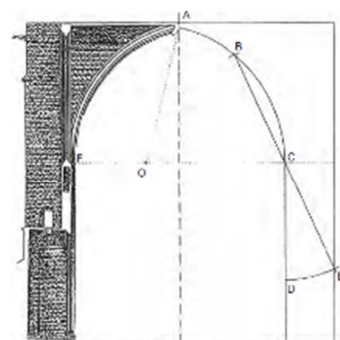


Figura 164 – Aplicação da regra de Derand à Catedral de Girona [Huerta, Santiago (2010)]

Regras como as de Fray Lorenzo de San Nicolás apresentadas em 1639 eram sistematicamente usadas e difundidas. Este considerou nos seus estudos abóbadas de pedra, de tijolo ao cutelo e de tijolo ao baixo, definindo para cada uma, consoante o tipo de encontros e espessura necessária para os mesmos em função do vão. Uma das regras mais citadas relativas à arquitectura gótica, e que foi posteriormente enunciada por Derand no seu tratado em 1643, dizia respeito ao dimensionamento da espessura das paredes e colunas que suportavam os arcos. O arco seria dividido em 3 partes iguais fazendo-se passar uma recta por CD, esta medida seria igual a DF, determinando-se a espessura do apoio¹⁴⁴

Em 1675, Hooke associa o funcionamento do arco ao da catenária¹⁴⁵, relacionando a geometria de uma corrente metálica suspensa com a do arco equilibrado, sendo que a catenária seria a forma natural de um arco sujeito à acção do seu peso próprio, sendo mais tarde determinada a sua expressão matemática por David Gregory. Admitindo a catenária na qual são aplicadas cargas concentradas com intensidade e localização correspondentes às respectivas aduelas, o polígono funicular representa graficamente o equilíbrio estático das forças resultante.

¹⁴⁴ Huerta, Santiago (2004) – *The safety of masonry buttresses*. In *Engineering History and Heritage*, nº 163, February.

¹⁴⁵ Veja-se ponto 5.2.2.

No final do século XVII e início do século XVIII Philippe la Hire e Belidor estudam o comportamento mecânico de arcos e abobadas aplicando pela primeira vez um método científico através de equilíbrio de forças e estabelecem pela primeira vez um possível mecanismo de colapso. Este dar-se-ia através de um sistema tipo *cunha deslizante*, onde devido à acção do peso a parte superior central do arco cairia deslizando sobre as juntas a meia distância entre os encontros e o fecho, empurrando os encontros para o exterior. La Hire não contabilizava ainda o atrito entre juntas, mas conseguiu determinar a espessura que o arco necessitaria através da análise estática e métodos gráficos completamente inovadores para a época mas de muito difícil aplicação. Apesar de intuitiva esta teoria não era confirmada pelos resultados experimentais, nos quais o mecanismo de colapso ocorreria com a formação de rótulas nas juntas e não por deslizamento¹⁴⁶.

É mais tarde Couplet quem em 1730 estuda o funcionamento do arco com atrito, verificando finalmente que as juntas não ofereciam qualquer resistência à separação das aduelas e que não ocorreriam deslizamentos entre estas, pelo que a única forma de colapso do arco seria através da formação de quatro charneiras de rotação, sobre as quais rodavam os quatro corpos rígidos em que o arco se transformaria. Da resolução das equações de equilíbrio obteve assim a relação entre a espessura mínima (t) e o raio do arco circular (R) admitindo que as rótulas se posicionavam a 45° . Como mais tarde se verificou a localização exacta das rótulas é de 31° com a horizontal o que conduz ao valor da relação espessura-raio $t/R = 0.106$, corrigindo o valor de Couplet de $t/R = 0.101$ ¹⁴⁷.

Em 1743, devido à elevada fendilhação que se verificava na cúpula da basílica de São Pedro em Roma, já visível desde 1631, foi encomendado a Giovanni Poleni um estudo sobre a verificação da sua segurança. Poleni reduziu então a cúpula a cinquenta lúnulas, possivelmente por sugestão da fendilhação observada, e analisou a estabilidade de um arco equivalente formado por duas lúnulas opostas. Para tal usou a analogia da catenária, dividindo o arco em 32 sectores e calculando os pesos e forças equivalentes em cada um. Ao desenho do arco equivalente invertido foi sobreposto o perfil da catenária formada por 32 esferas com pesos e posições proporcionais a cada um dos sectores. Verificando-se a possibilidade de inscrição da

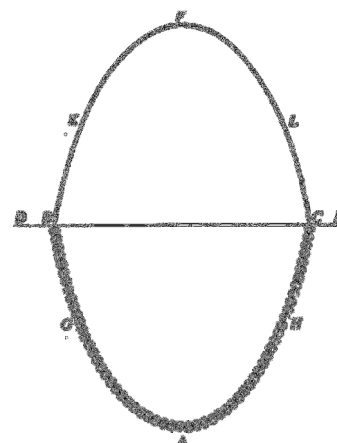


Figura 165 – Modelo de corrente suspensa de Hooke
[Heyman, Jacques (1988b)]

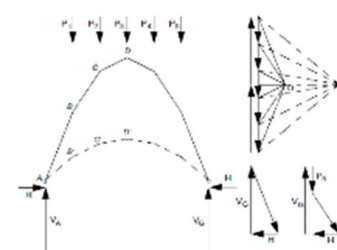


Figura 166 – Traçado de um polígono funicular
[Gago, António (2004)]

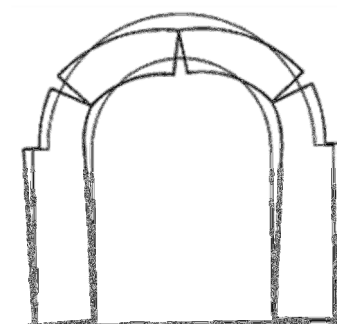


Figura 167 – Possível mecanismo de colapso de um arco apoiado sobre colunas ou paredes, mecanismo rotacional de Coulomb-Mascheroni
[Gago, António (2004)]

¹⁴⁶ Gago, António, *ob. cit.*, (2004), p. 28.

¹⁴⁷ *Idem*, p. 30.

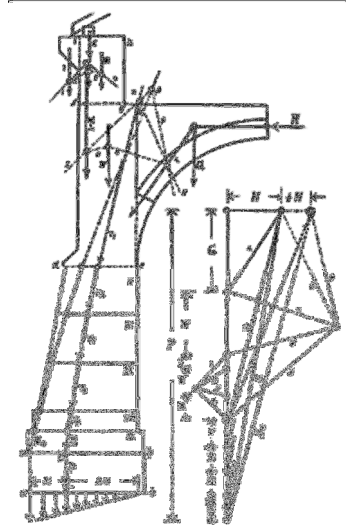
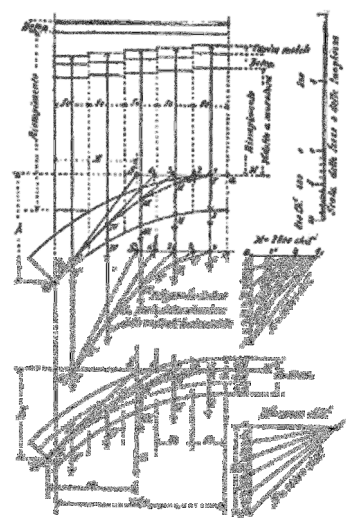


Figura 168 - Verificação da segurança de um arco e da espessura de um pé direito [Gago, António (2004)]

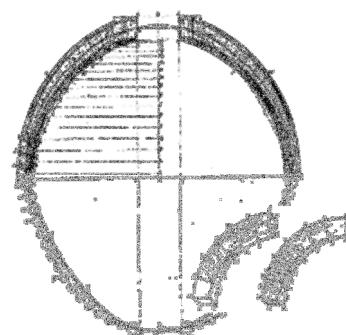


Figura 169 - Modelo de Poleni para análise da estabilidade da cúpula de S. Pedro em Roma [Gago, António (2004)]

catenária na secção do arco, verificava-se a segurança da estrutura, independentemente da existência de fendilhação. Sem o saber, Poleni usava um dos mais importantes teoremas da teoria da análise limite que só iria ser enunciado séculos mais tarde.

Após o estudo dos efeitos da temperatura e humidade sobre a cúpula, Poleni decide-se pelo refechamento das fendas existentes e pelo reforço da base com anéis metálicos que absorvessem as forças circunferenciais existentes, constituindo-se assim na primeira obra de conservação e restauro estrutural da história, baseada numa análise científica.

Durante o século XVIII e até ao início do século XIX, diversos autores como Bossut, Coulomb e outros continuaram o estudo sobre arcos confirmando teorias existentes, adequando as geometrias, estabelecendo os valores dos impulsos, e analisando com algumas inovações os mecanismos de colapso. Porém estas teorias pouco influenciaram as técnicas de construção e projecto existentes (com excepção do caso de S. Pedro), continuando a imperar o uso de regras empíricas de fácil aplicação e validadas ao longo de gerações sucessivas.

No início do século XIX alguns autores tentaram que o conhecimento científico fosse aplicado na construção, desenvolvendo tabelas, ábacos e regras simplificadas publicadas em manuais com grande difusão.

Até então, as regras e métodos desenvolvidos não consideravam a distribuição de tensões nas secções transversais dos arcos. É Navier em 1823 que define o conceito de núcleo central, contudo é com Timoshenko em 1830 que são introduzidos os dois conceitos com maior repercussão na análise de arcos e estruturas arqueadas: i) a linha de resistência definida como o “*polígono que une os centros de pressão de cada junta*”; ii) a linha de pressões como o “*lugar geométrico das consecutivas intersecções entre as direcções das resultantes das pressões actuantes nas juntas*”¹⁴⁸.

Ao estudarem estes conceitos, outros autores constatam que existe um número infinito de linhas de pressão compatíveis com o arco equilibrado e que para o arco estar em equilíbrio a linha de resistência que se instalava tinha também de estar incluída no interior do arco.

¹⁴⁸ *Idem*, p. 39.

Em 1840 Méry, apoiando-se nas teorias dos autores anteriores, desenvolve finalmente um método de dimensionamento gráfico, que aprofundado por Poncelet, viria a ser adoptado pela comunidade técnica no dimensionamento de arcos tornando-se extremamente popular¹⁴⁹. De modo a garantir a compressão no arco em todas as secções, seria necessária a total inclusão da linha de resistência no seu terço central. A formação de mecanismo de colapso iniciar-se-ia na situação em que a curva de pressões interceptaria o ponto superior do terço central na secção de fecho do arco, e os limites inferiores do terço central nas secções em rotura situadas sobre o arco a 30° com a horizontal.

Na segunda metade do século XIX e após estudos continuados¹⁵⁰ confirma-se que para um dado arco existia um número infinito de possíveis estados de equilíbrio, associados a infinitas linhas de pressão. A questão que se colocava era como resolver a indeterminação estática do arco e determinar a *verdadeira* curva de pressões. Nessa altura diversos autores executam um conjunto de ensaios mostrando que os conceitos e teorias existentes usadas para a resolução de problemas de indeterminação em estruturas (poderiam ser aplicados em arcos.

Mesmo com o desenvolvimento das metodologias gráficas e da mecânica estrutural, já ao alcance de todos, nem sempre arquitectos e projectistas as aplicavam. Em 1883 Gaudi adopta no dimensionamento da Sagrada Família, metodologias antiga, tais como os modelos de correntes suspensas e a analogia entre arco e catenária¹⁵¹.

No início do século XX, os conhecimentos de cálculo fundamentais assentes nos conceitos da curva de pressões, polígono funicular e regra do terço central, estavam completamente definidos. O pré-dimensionamento da geometria e espessura dos arcos ou abóbadas era conseguido com base em regras empíricas, sendo o dimensionamento realizado através de metodologias gráficas que permitiam verificar a posição da linha de pressões relativamente ao

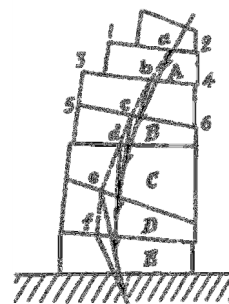


Figura 170 – Linhas de resistência (a-b-c-d-e-f) e de pressões (A-B-C-D-E)
[Gago, António (2004)]

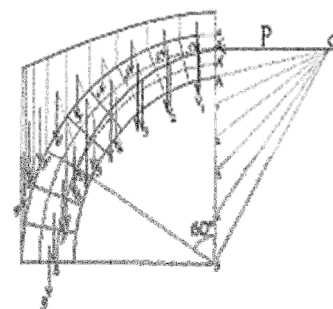


Figura 171 – Método gráfico de Méry
[Gago, António (2004)]

¹⁴⁹ Tendo sido editado em várias línguas, constituiu-se como referência fundamental ainda na primeira metade do século XX.

¹⁵⁰ De autores como Barlow, Winkler, Fuller, Castigliano entre outros. Veja-se Gago, António, *ob. cit.*, (2004), pp. 42-46.

¹⁵¹ Veja-se ponto 5.2.4.

intra e extradorso do arco, complementadas com o cálculo das tensões actuantes¹⁵².

Com o advento da construção em betão armado e aço, a construção de estruturas em alvenaria, particularmente de arcos, abobadas e cúpulas foi gradualmente abandonada, sendo as técnicas de construção e dimensionamento tradicionais esquecidas. A renovada e crescente necessidade de conservação do património construído, e a sua adequação a novos usos e acções, nomeadamente o aumento do peso dos veículos militares durante a segunda grande guerra e o acréscimo das sobrecargas rodoviárias devido ao trânsito rodoviário, conduziu a novos estudos e à realização de extensos programas de ensaios experimentais quer sobre modelos quer sobre estruturas reais. Destes, resultaram verificações sobre a reserva de resistência em relação às metodologias de cálculo instituídas como foi a redução da regra do terço central para a regra da metade central proposta por Pippard, e importantes registos usados para a calibração de modelos e métodos de análise estrutural e estruturas arqueadas.

Em 1966, Jacques Heyman, retomando os trabalhos dos seus antecessores, debruçou-se sobre a aplicação do método da análise limite às estruturas de alvenaria¹⁵³.

Sabendo que a fendilhação e a linha de pressões são independentes, a cada variação da posição das fendas a linha de pressões apresenta uma nova forma, sendo altamente sensível a pequenas deformações, variações de carga ou mesmo à alteração das características dos materiais, tornando-se impossível prever a sua geometria.

Até então várias tentativas foram desenvolvidas no sentido de determinar a *verdadeira* linha de pressões, porém dada a dificuldade ou mesmo impossibilidade de o fazer, com a introdução do chamado *teorema estático da análise limite* Heyman vem relegar para segundo plano a identificação do estado de tensões real na estrutura. Bastando identificar apenas um estado de equilíbrio, o teorema garantia que *“se for possível ao projectista encontrar uma distribuição de esforços correspondente a uma linha de pressões em equilíbrio com as acções exteriores e contida no interior da espessura*

¹⁵² Gago, António, *ob. cit.*, (2004), p. 46.

¹⁵³ Veja-se Heyman, Jacques (1998) – *Structural analysis: a historical approach*. Cambridge, Cambridge University Press e Heyman, Jacques (1999) – *The science of structural engineering*, Imperial College Press., London.

do arco, então a própria estrutura também o conseguirá”¹⁵⁴, será segura e não colapsará.

Sabendo que qualquer linha de pressões que se mantenha no interior da espessura do arco é uma possível solução de equilíbrio, torna-se evidente que se o arco tiver espessura suficiente pode conter no interior infinitas linhas de pressões. Encontrada uma das várias linhas de pressões que se acomodem confortavelmente ao arco, verificamos que se diminuirmos a sua espessura até um certo valor limite, só poderá ser desenhada no seu interior um única linha de pressões, que tocará no extradorso e intradorso do arco em cinco pontos (rótulas) provocando o seu colapso. Pode-se então estabelecer um factor de segurança geométrico, para o qual o dobro da espessura limite corresponderá a um factor de 2, o que significa que a linha de pressões se situa na metade central da secção e assim consecutivamente¹⁵⁵.

O mesmo método poderia ser usado para o dimensionamento de encontros. Sobre estes elementos vários estudos foram realizados, com base na análise limite, desenvolvendo-se metodologias de análise e dimensionamento que permitem verificar de forma gráfica e analítica, a sua segurança estrutural, a posição das linhas de rotura, a influência da sua possível inclinação na estabilidade dos arcos, etc., podendo uma pesquisa mais aprofundada ser realizada nas publicações e artigos de Heyman, ou de Ochsendorf.

Em última análise e do anteriormente exposto, pode afirmar-se que, independentemente do método de análise usado, o dimensionamento de um arco consiste sempre na determinação da espessura e geometria adequadas a um determinado vão e carregamento. Para tal devemos nos basear no conceito de linha de pressões, sendo a estabilidade da estrutura avaliada em função da posição dessa linha no interior da secção¹⁵⁶, o que depende da correcta proporcionalidade e equilíbrio entre os elementos que a constituem.

¹⁵⁴ Heyman, Jacques, *ob.cit.*, (1998).

¹⁵⁵ Na segunda metade do século XIX os arcos eram já desenhados e construídos de modo a que a linha de pressões estivesse no interior do terço central (correspondendo a um factor de segurança de 3), garantindo-se a edificação de estruturas totalmente seguras. Veja-se Heyman, Jacques (1982) – *The Masonry Arch*, Ellis Horwood Limited, Londres.

¹⁵⁶ Gago, António, *ob. cit.*, (2004).

5.3.3 | MÉTODOS COMPUTACIONAIS

A partir dos anos 80 o desenvolvimento do cálculo computacional permitiu a implementação de sofisticadas e complexas análises estruturais através de modelos de elementos finitos.

Considerando as características essenciais do material alvenaria, compósito e não linear, durante alguns anos os métodos de elementos finitos inicialmente desenvolvidos para a análise de estruturas contínuas e lineares de betão armado ou metálicas, apresentavam sérias condicionantes à sua aplicação.

Figura 172 - Modos de colapso do modelo de elementos discretos de um arco ogival - modelo com 10.36 m de vão (esquerda - carga a 1/4 do vão; centro - carga a 1/3 do vão; direita - carga a 1/2 do vão)

[Gago, António (2004)]

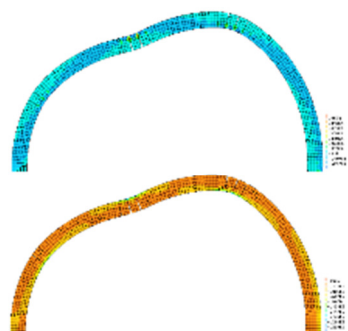
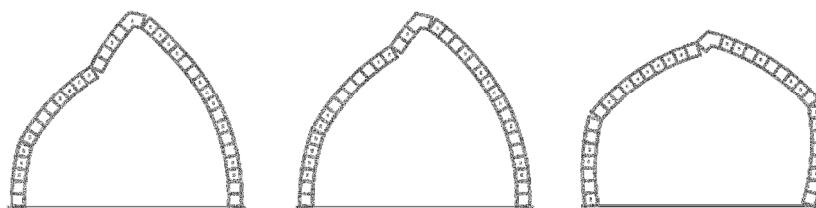


Figura 173 - Tensões principais de um arco em modelo de elementos finitos

[Gago, António (2004)]

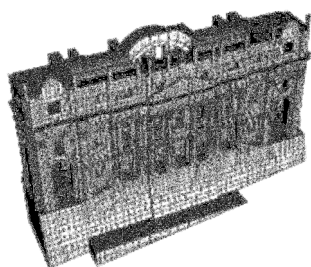


Figura 174 - Modelo elástico linear da fachada completa da basílica de S. Pedro em Roma

[Gago, António (2004)]

Dadas as características actuais dos modelos numéricos e ferramentas disponíveis, é no entanto hoje possível a simulação suficientemente rigorosa de meios descontínuos, em particular de estruturas de alvenaria. Para tal exige-se aos projectistas um adequado conhecimento do funcionamento do material e um domínio total dos programas de cálculo utilizados, para que durante a modelação e análise sejam implementadas todas as condições inerentes ao comportamento da construção.

Para além destes requisitos, os modelos de elementos finitos não lineares são muito exigentes ao nível de cálculo, necessitando de computadores potentes e muitas horas ou dias de análise. A solução encontrada baseia-se então usualmente na análise elástica linear da estrutura global, complementada por análises não lineares locais dos elementos mais condicionantes, permitindo assim um maior controlo e fiabilidade dos resultados obtidos.

A implementação destes métodos de dimensionamento, apenas vem validar os métodos gráficos e analíticos clássicos, reforçando-se assim a necessidade do seu conhecimento e domínio. Apesar do carácter conservativo que possuem, são a base de edificação de todas as estruturas arqueadas antigas que conhecemos, estruturas que é importante preservar e que para preservar é preciso conhecer.

CAPÍTULO 6 | PATOLOGIA ESTRUTURAL E CONSTRUTIVA FUNDAMENTAL

6.1 | ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO

Do grego *páthos* que significa doença e *logia* que significa estudo, entende-se por *patologia*, o estudo dos sintomas, origem e natureza das doenças que conduzam a um estado de saúde considerado anormal ou desviante.

Tal como na medicina, a determinação do *estado de saúde* da construção, pressupõe para além da identificação dos sintomas, neste caso materializados sob a forma de anomalias¹⁵⁷, a determinação das suas causas e dos mecanismos de desenvolvimento dos processos de deterioração, ou seja a definição do seu quadro patológico.

No presente capítulo são apresentadas as questões relativas às anomalias estruturais e construtivas que afectam as estruturas em estudo. Numa primeira parte é realizada uma tipificação das potenciais causas de anomalias e dos mecanismos de degradação a estas associados, fazendo-se uma distinção entre as que têm origem na acção humana e as que advêm da acção da natureza. Numa segunda parte far-se-á a sistematização das principais anomalias estruturais passíveis de ocorrer nas estruturas arqueadas, seguida da exposição das anomalias de carácter não estrutural que afectam as alvenaria de tijolo cerâmico ou pedra e os revestimentos.

¹⁵⁷ Define-se por anomalia toda a irregularidade ou divergência de funcionamento de um elemento construtivo que, associada a uma causa deixa de cumprir parcial ou totalmente o que estava previsto na sua concepção. Veja-se Tavares, Alice; Costa, Aníbal; Varum, Humberto (2011) – *Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios, Guia de Intervenção*, INOVADOMUS, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, pp.42-43.

6.2 | PRINCIPAIS CAUSAS DAS ANOMALIAS E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

6.2.1 | NOTA PRÉVIA

Estando submetidas a um conjunto de acções que determinam o seu comportamento, as estruturas arqueadas de alvenaria apresentam anomalias específicas características do tipo de materiais que as compõem, do seu modo de funcionamento estrutural e do seu nível de exposição ao ambiente agressor.

Não obstante, pode afirmar-se que a sua degradação é quase sempre resultado da conjugação duas ou de múltiplas causas com ocorrência simultânea no tempo ou em acumulação sucessiva de efeitos, relacionadas com:

- o próprio envelhecimento e evolução mecânica e físico-química das propriedades dos materiais (dependentes da natureza dos componentes da pedra, tijolos ou argamassas e tecnologias aplicadas no seu fabrico);
- a interacção dos materiais com os diversos agentes externos tais como a acção do homem e do meio ambiente.

Considerando estas premissas, poderemos enquadrar de forma genérica as principais causas para o desenvolvimento de anomalias essencialmente em dois tipos¹⁵⁸:

- devidas à acção humana
- devidas a acções naturais

Nestas incluem-se também os desastres e causas imprevisíveis, sejam elas provocados pelo homem ou pela natureza, com efeitos mais ou menos graves e com diferentes graus de incidência.

Considerando a complexidade e variedade de elementos, sistemas construtivos e materiais existentes, o conhecimento limitado do comportamento dos mesmos, a diversidade e interpenetração de acções e a forte influência da intervenção humana, será irrealizável no âmbito do presente trabalho a tipificação exaustiva de todas as causas que levam ao estabelecimento dos múltiplos quadros patológicos passíveis de ocorrer, conduzindo a que cada caso tenha sempre de ser analisado de uma forma particular e circunstanciada.

Face ao exposto, qualquer abordagem correrá o risco de ser incompleta, porém numa tentativa de sistematização, far-se-á o

¹⁵⁸ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006) – *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, INH/LNEC, Lisboa, p. 470.

enunciado das principais causas das anomalias comumente identificadas em estruturas arqueadas de alvenaria, tipificando-as em dois grupos principais: *causas decorrentes da acção do homem* e *causas decorrentes da acções naturais*. A intenção será, facilitar a sua compreensão e promover a constituição de uma base de apoio que clarifique um possível diagnóstico neste tipo de elementos.

6.2.2 | O CASO PARTICULAR DA ÁGUA

Devido à sua relevância importa falar no caso particular da água como causa de anomalias. Por uma questão prática, a sua dupla acção física e química sobre os materiais e estruturas será abordada no âmbito das *acções naturais*¹⁵⁹. Importa no entanto, e para que se compreenda a abrangência da sua acção, fazer uma breve exposição sobre a forma como se manifesta nas construções em estudo.

Sob a forma de chuva, nevoeiro, vapor ou gelo, a água exerce isoladamente ou em combinação com outras acções e agentes, fenómenos de degradação e alteração múltiplos, constituindo-se como a principal causa directa de anomalias (não obstante os efeitos da acção humana).

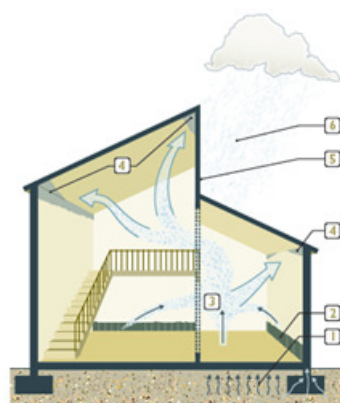
A presença de água no interior das construções ocorre sob a forma de humidade¹⁶⁰. Seja devido à acção do homem ou a causas naturais, esta pode ter origem em variadas fontes intimamente ligadas ao seu modo de manifestação¹⁶¹:

- na própria construção, estando associada às argamassas de reboco e de assentamento usadas nas alvenarias, embebendo em maior ou menor grau os seus componentes e manifestando-se essencialmente durante o primeiro ano após a construção;
- no terreno, sob a forma de águas superficiais ou freáticas, tendendo a ser absorvida e a ascender por capilaridade, podendo afectar quer os elementos directamente em contacto com o solo quer elementos adjacentes;
- devida a precipitação, penetrando nos edifícios através da envolvente exterior (dependendo da porosidade dos materiais, da existência de juntas ou fendas, ausência ou deficiente

¹⁵⁹ Sendo classificada como acção natural, o seu modo de actuação físico e químico sobre as construções será diferenciado nos pontos 6.2.3.2 e 6.2.3.3.

¹⁶⁰ Define-se humidade como a massa de vapor de água presente num determinado instante numa unidade de volume da atmosfera, podendo ser expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³).

¹⁶¹ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob. cit.*, (2006), pp. 478-484.



- 1 - Água no terreno
- 2 - Humidade ascendente
- 3 - Vapor de água
- 4 - Humidade de condensação
- 5 - Parede húmida e arrefecida
- 6 - Água da chuva

Figura 175 - Possíveis fontes de humidade em habitação

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]



Figura 176 - Manchas de humidade associadas à ascensão capilar de água, Ex Celeiros EPAC, Évora

[Foto LEB]



Figura 177 – “Estalactites” devido a infiltrações através de fenda em laje da cobertura

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

funcionamento dos dispositivos de recolha e evacuação da água da chuva, etc.), humedecendo os elementos construtivos e provocando a sua degradação;

- resultante de condensações, provenientes do vapor de água existente no ar interior dos edifícios em contacto com superfícies mais frias (associado às diversas actividades que neles se realizam). Para além das condensações superficiais, podem ainda ocorrer condensações por difusão do vapor, no interior dos elementos construtivos que separam diferentes ambientes (com diferentes concentrações de vapor de água);
- devida a higroscopicidade dos materiais, através do equilíbrio que estabelecem com a humidade relativa do meio ambiente ao reterem eles próprios humidade no interior dos seus poros.

6.2.3 | CAUSAS DECORRENTES ACÇÃO DO HOMEM

Durante a vida útil de uma estrutura, a acção humana pode exercer-se de forma variada sobre esta nas suas diversas fases. Através de decisões tomadas aquando a concepção e execução de uma construção ou por opções resultantes do decorrer do seu uso e exploração plenos, o factor humano é um dos mais importantes no aparecimento e desenvolvimento de anomalias.

6.2.3.1 | FASE DE CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO

No caso das estruturas arqueadas de alvenaria pertencentes a edifícios antigos, de entre as causas que podem estar na origem do surgimento de anomalias, com ocorrência nas fases de concepção e na fase de execução, destacam-se¹⁶²:

- inadequação a condicionamentos técnicos ou ao ambiente (geotecnia e/ou clima);
- problemas de concepção, dimensionamento ou representação;
- não-conformidade entre o que foi projectado executado;
- má qualidade dos materiais empregues;
- problemas na aplicação das tecnologias construtivas ou de fabrico dos materiais (corte, lavra e montagem das pedras, fabrico dos tijolos cerâmicos e argamassas, condições de aplicação cura e secagem).

6.2.3.2 | FASE DE UTILIZAÇÃO

¹⁶² Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob. cit.*, (2006), pp. 474.

Apesar das insuficiências que podem estar associadas à concepção e execução originais, mesmo em edifícios de boa qualidade construtiva, durante a sua utilização, o homem contribui activamente para a causa de anomalias de maior ou menor gravidade através das seguintes situações¹⁶³:

- alteração das condições de utilização previstas implicando geralmente o agravamento das cargas verticais;
- degradação anormal de materiais por deficiente manutenção ou utilização imprópria;
- alterações do ambiente envolvente (escavações não previstas, demolições de edifícios contíguos, vibrações devidas ao tráfego, etc.);
- intervenções de conservação e reabilitação mal estudadas ou executadas, implicado vulgarmente o aumento de cargas, alterações estruturais e funcionais, incompatibilidades materiais e outras (comprometimento das condições de segurança e conforto, utilização de materiais química e/ou mecanicamente incompatíveis, destruição de forma irreversível das características originais da construção existente, etc.).

6.2.3.3 | DESASTRES DEVIDOS A CAUSAS HUMANAS

Associados à responsabilidade humana, são no entanto imprevisíveis e de difícil controlo, podendo causar anomalias mais ou menos severas, consoante a sua agressividade. Nestes, inclui-se essencialmente:

- fogo;
- explosões;
- choque;
- inundações.

No caso particular de fogos, as altas temperaturas de combustão e a posterior extinção geram geralmente processos de dilatação e retracção térmica diferencial muito bruscos e violentos, associados a elevadas perdas de resistência e à possibilidade de ocorrência de desmoronamentos. Relativamente às inundações, estas poderão ocorrer por descuido ou através de derrames verificados nas instalações de distribuição e drenagem de água.



Figura 178 – Deterioração de revestimentos associada a humidades de condensação e de precipitação, Convento das Maltezas, Estremoz
[Foto do autor]



Figura 179 – Escoramento na sequência de demolição de edifício contíguo
[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

¹⁶³ *Idem*, pp. 475.



Figura 180 – Alterações para instalação de contadores fragilizando a estrutura

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

Com carácter geralmente menos extenso e gravoso que os desastres naturais, pode diminuir-se a probabilidade da sua ocorrência pela adopção de medidas preventivas.

6.2.4 | CAUSAS DECORRENTES DE ACÇÕES NATURAIS

Para além da acção humana, são as acções naturais as principais responsáveis pela origem das anomalias. Estas englobam fenómenos de natureza física, química ou biológica que, consoante as condições, actuam sobre os materiais degradando-os.

No seguimento das considerações anteriores caracterizam-se de forma sumária as principais acções naturais exercidas sobre as estruturas em estudo, procurando-se a sua clarificação através das definições apresentadas.

6.2.4.1 | ACÇÕES FÍSICAS

Tratam-se de acções cujo efeito é condicionado pelas propriedades físicas e mecânicas dos próprios materiais, tais como a porosidade, dureza, resistência, ductilidade, condutividade térmica ou eléctrica, etc.. Este tipo de acções é geralmente de natureza externa, não dando origem a novos produtos nem substâncias com a sua actuação.

De entre as acções físicas actuantes sobre a generalidade das estruturas arqueadas, destacam-se:

- **Gravidade:** Implica na generalidade dos casos anomalias estruturais, estando intimamente ligada à capacidade de suporte e distribuição das cargas actuantes, e conseqüentemente, aos processos de deformação, fendilhação e rotura verificados.
- **Variações de temperatura:** As oscilações térmicas provocam a dilatação e contracção dos materiais componentes. Dependendo da elasticidade e plasticidade quer das alvenarias de tijolo cerâmico ou pedra, quer das argamassas de assentamento e revestimento, podem ocorrer deslocamentos relativos entre elementos provocando fendilhação¹⁶⁴. No entanto, dada a elevada inércia térmica característica das pesadas estruturas de alvenaria, será necessária uma variação de temperatura muito

¹⁶⁴ Feilden, Bernard M. (2003) – *Conservation of Historic Buildings*, Elsevier, Oxford, pp. 96-101. Considerando a as restrições ao movimento das estruturas arqueadas conferidas pelos encontros, poderão ocorrer em alguns casos alongamentos do vão no Verão e encurtamentos no Inverno, sendo que, quanto mais perto da cobertura nos encontramos, mais os efeitos da temperatura serão sentidos.

extrema e algum tempo para que esta flua através dos materiais e se traduza em movimentos relativos.

- **Ciclos de gelo e degelo:** Quando os materiais estão próximos da saturação devido à presença de água que penetra nas juntas, fissuras ou rede capilar e a temperatura desce a valores negativos, é originada a formação de gelo com incremento de volume. O incremento de volume gera um aumento da pressão nos poros, com possível ocorrência de fendilhação e rotura dos materiais. Este efeito é tanto mais danoso, quanto mais reduzida for a dimensão dos poros e mais saturado estiver o material.
- **Presença de água:** Dependendo da sua origem, a acção física da água manifesta-se essencialmente através de determinados fenómenos de degradação, dos quais se destacam de forma simplificada: a acção erosiva provocada pela água superficial; a acção expansiva do gelo; a expansão hídrica dos materiais em presença de humidade; aumento da condutibilidade térmica dos materiais.
- **Vento:** Para além da necessária capacidade resistente das estruturas às pressões estáticas e dinâmicas provocadas pelo vento¹⁶⁵, é ainda de extrema relevância a acção da erosão e abrasão eólica no caso de superfícies exteriores.
- **Radiação:** Das características do material depende a sua capacidade de absorção de diferentes comprimentos de onda e conseqüentemente de energia. A luz, especialmente a radiação ultra violeta é um agente agressor bastante destrutivo principalmente de materiais orgânicos como a madeira ou determinados pigmentos. Não afectando directamente de forma relevante materiais inorgânicos, a radiação solar é no entanto a causa fundamental das variações térmicas existentes, estando de forma indirecta relacionada com as anomalias a estas atribuídas.
- **Efeitos diferidos:** Devido à dilatação e contracção das argamassas e materiais que formam as alvenarias sob à acção de variações térmicas e da humidade, efeitos como a retracção ou a relaxação podem instalar-se neste tipo de estruturas. À expansão da alvenaria não se segue necessariamente a sua igual contracção, deste modo, os infinitésimos movimentos anuais



Figura 181 – Cristais de gelo
[slike.n3po.com]

¹⁶⁵ Que podem em muitos casos ser extremamente gravosas. Sobre esta matéria veja-se o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio, pp. 27-30.

podem acumular-se durante décadas ou mesmo séculos originando extensões consideráveis¹⁶⁶.

- **Alteração das condições do solo:** Associada à instabilidade dos terrenos e à alteração do nível freático, pode em muitos casos originar o assentamento ou a degradação das fundações¹⁶⁷ e deformação da estrutura. Dadas as condições particulares de equilíbrio das estruturas arqueadas de alvenaria, a sua sensibilidade a movimentos dos apoios é extremamente elevada, podendo colocar em risco a estabilidade e a segurança estrutural da construção.

6.2.4.2 | ACÇÕES QUÍMICAS

Da ocorrência de uma, ou da combinação de algumas das acções químicas descritas de seguida, corresponderá o potencial desenvolvimento de fenómenos, que uma vez iniciados e progredindo livremente, conduzem pelo seu efeito ao aparecimento anomalias com efeitos por vezes extremamente severos. Estas acções poderão proceder tanto do exterior como do interior dos materiais, dando lugar à formação de novas substâncias geralmente acompanhadas de variações de volume.

De entre as principais acções químicas actuautes sobre os elementos em estudo, destacam-se pela sua importância:

- **Presença de água:** A acção mais intensa que a água exerce sobre os materiais baseia-se no seu poder de dissolução. Esta actua quer sobre os componentes das argamassas, quer sobre os elementos da pedra ou cerâmicos que compõem as alvenarias. O transporte de água através da estrutura porosa dos materiais e da sua rede de capilares promove a dissolução e transporte dos elementos da sua matriz, provocando directamente a sua erosão¹⁶⁸. Por outro lado, contribui ainda para o

¹⁶⁶ Desta ocorrência são exemplo as arcadas do coro de York Minster. Restringidas a Oeste pela torre central não apresentam movimentos relevantes nessa direcção, porém, livres a Este e sobre fundações já excêntricamente carregadas, deslocaram-se num total de 626mm sob o efeito de variações de temperatura em 550 anos. Veja-se Feilden, Bernard M., *ob. cit.*, (2003), p. 98.

¹⁶⁷ Motivadas por acções sísmicas, vibrações induzidas, alterações do uso, descompressões, bombagens de água, ou pelo próprio envelhecimento dos materiais. Exemplo amplamente divulgado é o caso do apodrecimento das estacas de madeira de muitos dos edifícios da Baixa Pombalina de Lisboa, causado por sucessivas alterações do nível freático.

¹⁶⁸ Como é o caso da dissolução do carbonato de cálcio (CaCO₃) presente tanto nas rochas como nas argamassas típicas de cal aérea aplicadas no assentamento ou reboco das estruturas de alvenaria antigas. Veiga, M. Rosário (2007a) – *Conservação*

desenvolvimento de outros mecanismos de degradação aumentando a porosidade e permeabilidade, tornando assim os materiais mais vulneráveis ao ataque de outros agentes agressivos, à cristalização de sais e à perda da sua coesão e resistência.

- **Presença de sais:** Muitas vezes os iões solúveis e sais presentes nos terrenos, ambiente, águas de infiltração, ou nas próprias argamassas, tijolos (muitas vezes mal cozidos) ou rochas são mobilizados. Dissolvidos pela água em soluções aquosas, impregnam os poros e circulam no interior da rede de capilares. Combinando-se com os elementos dos materiais, dão origem a alterações químicas e mineralógicas que provocam a sua degradação. À medida que se caminha para a superfície, com a evaporação de água, a concentração da solução aquosa aumenta até atingir o seu limite de saturação e os sais dissolvidos precipitam cristalizando. No decorrer do processo de cristalização, desenvolvem-se fenómenos de expansão, primeiro devido à própria cristalização e depois à hidratação dos sais dada a sua higroscopicidade¹⁶⁹. Este mecanismo é tanto mais perigoso, quanto a menor for a dimensão dos poros (dado que se geram maiores pressões) e quanto menor for a velocidade de secagem, sendo que, da combinação em simultâneo de vários sais, resulta o aumento do seu potencial destrutivo.
- **Presença de nódulos de cal:** Devido à presença de nódulos de carbonato de cálcio (CaCO_3) frequentes em muitas argilas usadas na produção de tijolos, dá-se durante a cozedura dos mesmos a transformação deste composto em óxido de cálcio (CaO) ou seja, em cal viva. Devido à presença de humidade (H_2O), a cal hidrata-se originando hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) acompanhado da libertação de calor e de uma reacção expansiva
- **Chuva ácida:** Quando os poluentes atmosféricos, nomeadamente o dióxido de enxofre (SO_2), o dióxido de azoto (NO_2) e o dióxido de carbono (CO_2) se dissolvem na água da chuva, o seu PH baixa abruptamente tornando-a ácida. Esta, em contacto com as argamassas forma sais de sulfatos, nitratos e bicarbonatos muito



Figura 182 – Eflorescências em paramento interior devidas à presença de sais
[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

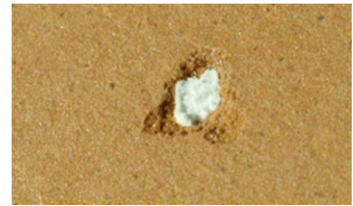


Figura 183 – Nódulo de cal em tijolo
[<http://www.manfredineschianchi.com>]

e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Métodos e materiais (TPI58), LNEC, Lisboa, pp. 50-51.

¹⁶⁹ Naturalmente, quanto mais higroscópico o sal, mais água absorve e maior é o aumento de volume por hidratação. Em ambientes marítimos, o cloreto de sódio cristaliza em camadas sucessivas, provocando dilatações irreversíveis e acumuladas de extrema violência, chegando a pulverizar as argamassas. Veiga, M. Rosário, *ob. cit.*, (2007a), p 53.

solúveis, que poderão cristalizar¹⁷⁰. Para além destes compostos, a interacção do ácido sulfúrico proveniente da dissolução do dióxido de enxofre, com o carbonato de cálcio dá origem à formação de cristais de gesso¹⁷¹. Sendo também eles muito solúveis em água, originam mecanismos de erosão ou precipitação com aumento de volume¹⁷². No caso das argamassas hidráulicas, poderão formar-se outros produtos e compostos com reacções fortemente expansivas e grande potencial deteriorante.

- **Carbonatação:** Um dos elementos químicos mais conhecidos e presentes no ar é o dióxido de carbono. Quando nas alvenarias se utilizam argamassas de cimento ou de cal hidráulica, o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) presente, em contacto com dióxido de carbono (CO_2) origina carbonato de cálcio (CaCO_3) e água (H_2O) acompanhados por uma descida brusca do PH. Como já foi referido, este composto poderá dissolver-se e precipitar, com todos os inconvenientes associados. No caso da existência de elementos de reforço em aço ou qualquer outro elemento metálico não protegido, a descida do PH abaixo de um determinado valor limite ($\text{PH} < 9$) provoca a despassivação das armaduras iniciando o processo de corrosão desde que haja acesso a oxigénio e água¹⁷³.
- **Oxidação:** Devido à presença de metais, sobretudo de ferro na composição de algumas rochas (e consequentemente tanto nas alvenarias de pedra como de tijolo cerâmico), dão-se muitas vezes processos de oxidação. Sob a forma de compostos piritosos, silicatos ferromagnesianos ou de carbonato de ferro, tendem a captar humidade do ambiente e a transformar-se gradualmente em compostos expansivos tais como os óxidos de ferro. Durante estas reacções são ainda produzidos ácido

¹⁷⁰ Ver presença de sais.

¹⁷¹ A acumulação de cristais de gesso designa-se por crosta negra. Veiga, M. Rosário, *ob. cit.*, (2007a), p 52.

¹⁷² Podendo provocar fenómenos de fendilhação, escamação e rotura.

¹⁷³ No caso da não existência de elementos metálicos, a carbonatação é em geral um processo sem importância, podendo até, devido à formação de carbonato de cálcio melhorar a dureza e resistência dos materiais. Porém, quando existem, este fenómeno poderá ser determinante no aparecimento de anomalias no caso de estarmos perante a presença de hidróxido de cálcio. Exemplo amplamente conhecido é o do betão armado: quando a profundidade de carbonatação atinge a zona das armaduras, com a descida de PH o aço fica em risco imediato de corrosão. Ao dar-se a corrosão, esta é acompanhada de um aumento de volume provocando a fractura sucessiva da superfície de betão e permitindo o acesso cada vez mais facilitado a oxigénio e água, provocando assim a rápida destruição da peça.

sulfuroso e sulfúrico que interagem com os compostos carbonatados dissolvendo-os.

6.2.4.3 | ACÇÕES BIOLÓGICAS

Devido essencialmente à presença de condições favoráveis de temperatura e humidade e à existência de constituintes orgânicos, desenvolvem-se muitas vezes nas estruturas organismos vivos como:

- elementos vegetais (raízes de plantas, trepadeiras, líquenes, musgos, algas);
- bolores, fungos e bactérias.

Directamente, ou através dos produtos do seu metabolismo, podem ser responsáveis por processos de degradação, causando por exemplo a abertura forçada das juntas, a concentração de humidades ou o ataque químico através da produção de ácidos que reagem com os materiais.

Em alguns casos o desenvolvimento das camadas biogénicas dá-se no interior, não sendo visíveis à superfície. Este facto é particularmente favorecido no caso da presença de ligantes e consolidantes orgânicos como o óleo de linhaça, a caseína, a multigelose e o azoto presentes em muitos produtos de consolidação e protecção.

6.2.4.4 | DESASTRES NATURAIS

Associados à acção da natureza, são geralmente mais devastadores, extensos e graves que os desastres devidos a causas humanas, porém de ocorrência mais rara. Nestes, incluem-se essencialmente:

- sismos;
- fogos;
- inundações.

Não se podendo diminuir a probabilidade da sua ocorrência, podem no entanto tomar-se medidas de prevenção ao nível construtivo a fim de minorar os seus efeitos, como por exemplo o reforço sísmico, a não construção em leitos de cheia ou em zonas com possibilidade de instabilização de solos e o dimensionamento das estruturas para resistir à acção do fogo.

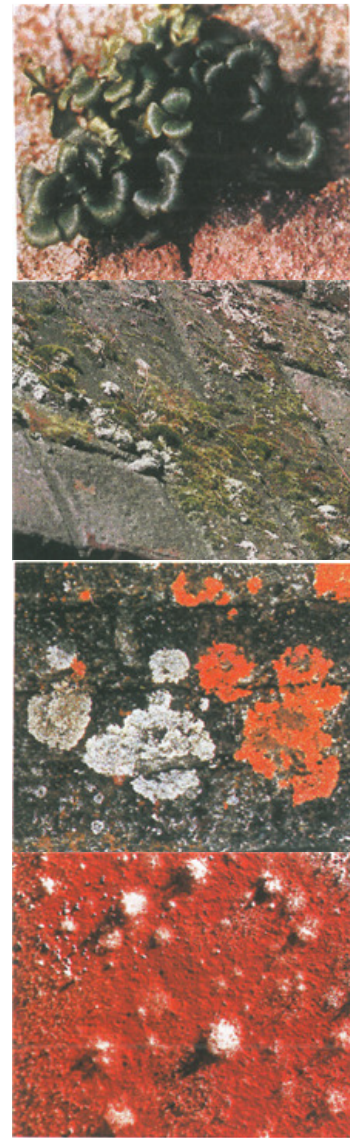


Figura 184 – Colonizações biológicas: plantas superiores, musgos, líquenes e bolores [Franke, L. et al (1998)]



Figura 185 – Ruínas do Convento do Carmo após o Sismo de 1755, Lisboa [Foto do autor]

6.3 | MANIFESTAÇÃO E NATUREZA DOS PRINCIPAIS TIPOS DE ANOMALIAS

6.3.1 | ANOMALIAS ESTRUTURAIS

Decorrentes do deficiente funcionamento estrutural perante as acções actuantes¹⁷⁴, ou na sequência de alterações e degradações graves sofridas pelos próprios materiais, as anomalias estruturais são manifestações exteriores que indiciam problemas de segurança e de estabilidade das construções.

Relembrando o anteriormente exposto, dadas as características mecânicas que apresentam¹⁷⁵, verifica-se que as alvenarias são especialmente vocacionadas para resistir e funcionar sob a acção de forças compressivas. Devido ao comportamento estrutural das construções arqueadas de pedra ou tijolo cerâmico, observa-se que estas trabalham efectivamente por equilíbrio à compressão entre as suas unidades constituintes, descarregando os seus impulsos sobre os apoios geralmente constituídos por pilares, paredes ou contrafortes¹⁷⁶.

Neste contexto, podem distinguir-se de um modo geral quatro grandes grupos de anomalias estruturais:

- Deformação excessiva
- Fendilhação estrutural
- Rotura
- Ausência ou deterioração com perda de resistência dos elementos constituintes

6.3.1.1 | DEFORMAÇÃO EXCESSIVA

Dado o seu comportamento descontínuo, em estruturas arqueadas de alvenaria como arcos abóbadas e cúpulas, as deformações observadas estão na sua maioria dos casos associadas a fenómenos de instabilidade com fendilhação ou rotura associados.

Efectivamente, a deformação de uma ou mais partes da estrutura provocará a acomodação geométrica das restantes partes, estabelecendo novos mecanismos de equilíbrio e consequentemente

¹⁷⁴ Usualmente relacionado com questões geométricas ou de resistência.

¹⁷⁵ Considerado que a resistência à tracção da alvenaria é praticamente nula, que o coeficiente de atrito entre unidades é muito elevado e que a sua resistência à compressão para o nível de tensões instalado é praticamente ilimitado. Veja-se ponto 5.2.1.

¹⁷⁶ Veja-se ponto 5.2.2.

ao aparecimento inevitável de fendas ou de mecanismos de colapso¹⁷⁷. Nesta linha, dadas as suas características de funcionamento, é ainda de referir o carácter pouco dúctil destas construções impedindo a redistribuição de esforços da estrutura, que colapsa geralmente de súbito ou com um breve aviso prévio.

Como manifestações de deformação, observam-se essencialmente:

- **Deformação no plano horizontal:** Com o desalinhamento das directrizes e alterações na geometria em planta.

Inclinação dos apoios: Dos pilares, paredes o contrafortes, por deformação horizontal diferencial entre a sua base e topo, verificando-se uma inclinação anormal destes elementos.

- **Deformação vertical dos apoios:** Assentamento dos pilares, paredes o contrafortes, provocada por rebaixamento destes, geralmente de forma diferencial em relação à estrutura global.
- **Abatimento dos arcos:** Traduzido pelo rebaixamento da sua flecha.

Estas anomalias têm geralmente origem nas seguintes causas:

- problemas de concepção e/ou execução;
- alteração das condições de utilização previstas implicando o agravamento das cargas verticais e dos impulsos horizontais;
- alteração das cargas verticais por retirada do carregamento de abóbadas;
- alterações estruturais decorrentes de acções de conservação e reabilitação mal estudadas ou executadas;
- destruição de contraventamentos existentes (que suportavam impulsos horizontais);
- alterações da envolvente devidas a escavações não previstas, demolições de edifícios contíguos, vibrações devidas ao tráfego, etc.;
- instabilidade dos terrenos e alteração do nível freático, com consequente movimentação ou assentamento das fundações;
- degradação das fundações;
- desastres devido a causas humanas ou naturais;
- deterioração e alterações dos materiais constituintes com perda de resistência acentuada.



Figura 186 – Separação entre abóbadas e paredes de apoio, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. *et al* (2008)]



Figura 187 – Inclinação dos Contrafortes, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor]



Figura 188 – Abatimento do arco do coro-alto na Igreja de Cascais [Foto LEB]



Figura 189 – Fendas longitudinais nas abóbadas de berço da ala sul, segundo nível, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. *et al* (2008)]

¹⁷⁷Veja-se ponto 5.2.3.



Figura 190 - Fendas nas abóbadas, canto sudoeste, segundo nível, Mosteiro das Salzedas
[Lourenço, Paulo B. *et al* (2008)]



Figura 191 – Fendilhação das abóbadas do piso superior, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz
[Foto do autor]

6.3.1.2 | FENDILHAÇÃO

A fendilhação está normalmente associada a tensões internas e esforços de tracção para as quais o material não tem capacidade de resistir. Estruturalmente, esta pode ocorrer ao longo das juntas (menos resistentes), ou interceptar as próprias unidades constituintes das alvenarias, ou seja, as aduelas de pedra e os tijolos cerâmicos.

Apesar de estruturalmente as fendas poderem indicar tanto a acomodação da construção a novas acções ou deslocamentos, como o início do estabelecimento de um possível mecanismo de colapso, elas podem voltar a fechar-se ou abrir-se na sequência da alteração das condições a que a estrutura está submetida, sendo a sua ocorrência até certo ponto natural desde que controlada.

Do anteriormente exposto¹⁷⁸ verifica-se que os arcos e abóbadas apresentam padrões de fendilhação similares caracterizados por fendas longitudinais ou transversais ao seu plano de desenvolvimento, consoante a causa, podendo ou não interceptar-se tridimensionalmente. No caso das cúpulas, devido ao seu distinto funcionamento, para além das fendas circunferências características do seu comportamento semelhante ao arco quando decomposta em lúnulas, é ainda comum a abertura de fendas radiais na base.

Das causas que geralmente provocam este tipo de anomalias, verifica-se uma semelhança com as que provocam a deformação excessiva, sendo acrescidas de outras situações. Destas, destacam-se:

- deformações e deslocamentos dos pilares, paredes ou contrafortes;
- alteração das condições de utilização previstas implicando o agravamento das cargas verticais e de impulsos horizontais;
- alteração das cargas verticais por retirada do carregamento de abóbadas;
- alterações estruturais decorrentes de acções de conservação e reabilitação mal estudadas ou executadas;
- destruição de contraventamentos existentes;
- alterações da envolvente devidas a escavações não previstas, demolições de edifícios contíguos, vibrações devidas ao tráfego, etc.;
- instabilidade dos terrenos e alteração do nível freático, com consequente movimentação ou assentamento das fundações;

¹⁷⁸Veja-se ponto 5.2.3 e ponto 5.2.4.

- desastres devido a causas humanas ou naturais;
- deterioração dos materiais com perda de resistência acentuada;
- dilatações e contracções térmicas dos próprios materiais devidas a fortes variações de temperatura;
- expansões internas graves devidas à presença de água, corrosão, cristalização de sais,
- acção biológica mecânica.

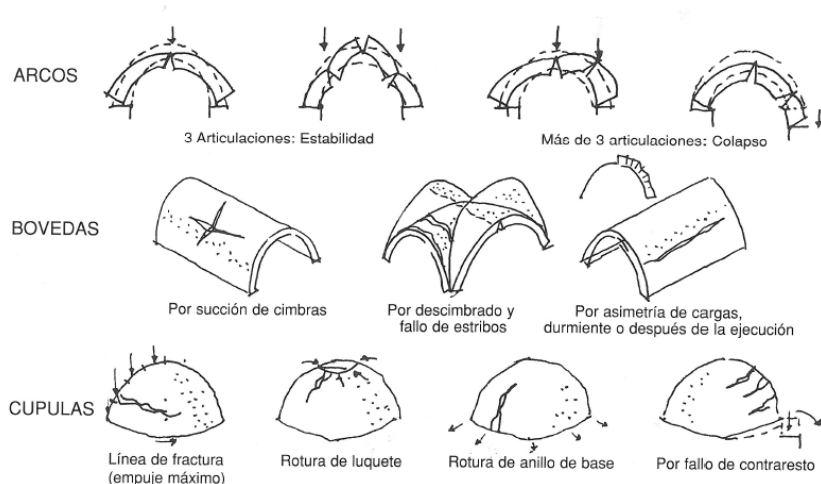


Figura 192 – Padrões de fendilhação mais comuns em arcos, abóbadas e cúpulas [Argilés, Josep M. et al (1999a)]

6.3.1.3 | ROTURA

Define-se como rotura estrutural a interrupção da continuidade de um elemento, com a sua divisão em partes separadas (fractura), envolvendo algumas vezes o deslocamento de uma parte em relação a outra, com possível queda e perda de partes do material.

Considerando o exposto, poderemos definir os seguintes principais casos de rotura:

- **Esmagamentos localizados:** Apesar das tensões de compressão nas alvenarias assumirem valores relativamente baixos quando comparados com as tensões resistentes, em alguns casos podem ocorrer roturas por compressão. Estas verificam-se essencialmente devido a um aumento de carga localizado (por exemplo em locais de descarga de vigas sem que tenham sido tomadas as devidas precauções no sentido a redistribuição de esforços), à diminuição da resistência mecânica dos materiais devido a fenómenos de deterioração¹⁷⁹, ou à simultaneidade de ambas as causas.
- **Fractura com manutenção do equilíbrio estrutural:** Com a evolução do processo de fendilhação e devido ao mesmo tipo de



Figura 193 - Esmagamentos localizados nas nascenças das abóbadas, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. et al (2008)]



Figura 194 – Abatimento do arco do coro-alto na Igreja de Cascais [Foto LEB]

¹⁷⁹ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob. cit.*, (2006), pp. 497-498.

causas, o material fractura. Existindo ou não deslocamento entre partes, pode no entanto manter-se ainda a estabilidade estrutural, porém com funcionamento deficiente e diminuição da capacidade resistente.

- **Colapso:** Com o evoluir do processo de fendilhação, a perda de estabilidade desenvolver-se-á por formação de mais do que três rótulas plásticas¹⁸⁰, estabelecendo-se um mecanismo de colapso.

6.3.1.4 | DETERIORAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES COM PERDA DE RESISTÊNCIA ACENTUADA

A deterioração dos materiais constituintes, nomeadamente da pedra, tijolo, ou argamassas, afecta sem excepção as suas propriedades físicas. Na sequência das alterações sofridas, para além das condições de habitabilidade, aspecto e durabilidade, nos casos em que os processos de degradação dos materiais (num primeiro estágio considerados como anomalias não estruturais) evoluírem de forma acentuada, também a segurança das construções poderá ser posta em causa.

Deste modo, nos casos em que a degradação grave dos materiais, parcial ou total (com possível aparecimento de lacunas), provocar uma diminuição significativa de resistência mecânica e conseqüentemente o deficiente funcionamento dos elementos pode considerar-se estarmos presente uma anomalia estrutural.

Este tipo de anomalias é geralmente decorrente de¹⁸¹:

- desintegração por destacamento;
- desintegração por perda de coesão;
- desintegração por perda de adesão;
- fenómenos de biodeterioração violentos;
- danos mecânicos sérios.

6.3.2 | ANOMALIAS NÃO ESTRUTURAIS EM ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO OU PEDRA

Consideram-se como anomalias não estruturais aquelas que, devido à sua ocorrência ou extensão não colocam em causa a segurança e de estabilidade das construções. Estas definem-se essencialmente através dos mecanismos de deterioração dos próprios materiais.

^{180.} Veja-se ponto 5.2.3.

^{181.} Estes assuntos serão pormenorizadamente abordados no próximo ponto 6.3.2.

Tomando como objecto de estudo as alvenarias de tijolo cerâmico e as alvenarias de pedra, devido à similitude de causas e padrões de manifestação deste tipo de anomalias em ambos os sistemas, estas serão abordadas em conjunto. A síntese e classificação que se segue resultou da compilação e cruzamento dos trabalhos sobre alvenaria de tijolo cerâmico de Franke & Schumann (1998)¹⁸² e sobre alvenaria de pedra de Barros (2001)¹⁸³, numa tentativa de sistematização o mais rigorosa possível a informação disponível.

Em geral, uma anomalia é resultado não apenas de uma dada acção, mas de um conjunto de acções actuando em sequência ou simultaneidade ao longo de um determinado período de tempo. Não sendo possível associar a cada causa uma anomalia específica, é no entanto possível definir para cada tipo de anomalia encontrado, a causa ou causas passíveis de a ter provocado. Será de acordo com este enunciado que organiza o presente capítulo.

As principais manifestações e natureza das anomalias não estruturais, em elementos de alvenaria de tijolo cerâmico ou pedra, onde se incluem as argamassas de assentamento, podem organizar-se em cinco grupos principais:

- Alterações da superfície
- Desintegração do material
- Biodeterioração
- Fendilhação ou rotura
- Dano mecânico
- Deformação

6.3.2.1 | ALTERAÇÕES DA SUPERFÍCIE

Em geral as alterações de superfície manifestam-se sob a forma de alterações da cor, de depósitos ou de transformações do material de substrato, sendo as causas deste tipo de anomalias geralmente provenientes do próprio material (natureza da argila, teor de sais), do clima (radiação solar), uso de produtos químicos agressivos, presença de água, chuva ácida e acção biológica.



Figura 195 – Perda de cor em alvenaria cerâmica [Franke, L. et al (1998)]



Figura 196 – Manchas em alvenaria cerâmica [Franke, L. et al (1998)]

¹⁸². Franke, L.; Schumann, I.; Mateus, J.; Van Hees, R.; Naldini, S.; Binda, L.; Baronio, G.; Van Balen, K. (1998) – *Damage Atlas, Classification and analyses of damage patterns found in brick masonry*. European Commission, Protection and Conservation of the European Heritage, Research Report nº 8, Volume 2. Fraunhofer IRB Verlag ISBN 3-8167-4702-7, Estugarda.

¹⁸³. Barros, Luis Aires (2001) – *As Rochas dos Monumentos Portugueses, Tipologias e Patologias - Volume I*. Instituto Português do Património Arquitectónico, Lisboa.



Figura 197 – Depósitos de sujidade, Sé de Lisboa
[Barros, Luís Aires (2001)]



Figura 198 – Eflorescências generalizadas no fecho das abóbodas, Claustro da Sé de Lisboa
[Barros, Luís Aires (2001)]



Figura 199 – Depósitos biológicos, Claustro do Mosteiro dos Jerónimos, Lisboa
[Barros, Luís Aires (2001)]

a) Alteração de cor

Qualquer modificação na cor original ou desejada.

- **Perda de cor | fading:** Perda da intensidade da cor ou brilho devido à acção da radiação solar, ou ataque químico. Geralmente não ocorre directamente no tijolo mas nos materiais em contacto com este, tais como revestimentos.
- **Manchas | stain:** Zona de cor distinta localizada, mais clara ou escura, devida à presença de materiais estranhos ao substrato (ferrugem, sais, vernizes, substâncias orgânicas, etc.), principalmente causada por acção química ou biológica.

b) Deposição

Acumulação ou precipitação na superfície de material com origem exógena ou endógena.

- **Depósitos de sujidade | soiling:** Deposição de poeiras, sedimentos, gorduras e poluição, acumulada em áreas não lavadas, podendo aparecer sob a forma de películas geralmente mais escuras que o material original, ou sob a forma de depósitos de partículas não consolidadas provenientes do ambiente ou da própria degradação do material.
- **Incrustação | crusting:** Depósito de constituintes das argamassas dissolvidos e precipitados, com muito boa aderência, estrutura densa e cristalina. Geralmente de origem cálcica e cor esbranquiçada. Podem sofrer alterações, transformando-se em crostas¹⁸⁴.
- **Eflorescência | efflorescence:** Cristalização superficial de sais solúveis, transportados na água por capilaridade e depositados por evaporação. De cor geralmente esbranquiçada, apresentam fraca coesão. Caso a cristalização ocorra no seio do material e não á superfície, diz-se que há uma criptoflorescência, que devido aos fenómenos de expansão¹⁸⁵ poderá conduzir à pulverização, empolamento ou mesmo delaminação do material.
- **Depósito biológico | biological deposit:** Concentração de organismos vivos como líquenes, musgos, algas, bolores, fungos e bactérias e dos seus produtos de metabolismo¹⁸⁶.

¹⁸⁴ Deste tipo de anomalia é exemplo a alteração do gesso, se em contacto com compostos sulfúricos provenientes de chuva ácida. Para mais informação veja-se ponto relativo a *crostas/crust*.

¹⁸⁵ Veja-se no ponto 6.2.3.3 *presença de sais*.

¹⁸⁶ Veja-se ponto 6.3.2.3.

c) Transformação

Envolve uma conversão química da superfície do material.

- **Pátina | patina:** Geralmente valorizada, assume-se como uma variação do aspecto original da superfície após envelhecimento natural. Não atribuível a fenómenos de degradação confere na maioria dos casos uma camada de protecção aos materiais subjacentes.
- **Crostas | crust:** Camada de material compacto, diferente do substrato, resultante da transformação físico-química deste. Com espessura variável, distinguem-se do material original, pela cor (branca ou negra) e aspecto, podendo destacar-se espontaneamente do substrato que em geral se encontra desagregado.

6.3.2.2 | DESINTEGRAÇÃO DO MATERIAL

A desintegração de materiais pode agrupar-se sob três diferentes aspectos, afectando o próprio material (destacamento ou perda de coesão) e afectando a ligação entre diferentes materiais ou entre duas camadas do mesmo material (perda de adesão).

a) Destacamento

Separação de camadas paralelas à superfície.

- **Exfoliação | exfoliation:** Destacamento de uma ou mais camadas muito finas (da ordem de 1mm), paralelas à superfície de um material independentemente da sua estrutura (laminada, homogénea ou outra). Ocorrem essencialmente devido à cristalização de sais, acções físicas ou químicas variadas e a fortes variações de temperatura.
- **Delaminação | delamination:** Destacamento de uma ou mais lâminas da ordem de alguns milímetros, paralelas à superfície de um material numa estrutura originalmente laminada, ou laminada posteriormente por acção do gelo, cristalização de sais no interior do material, acções físicas ou químicas ou de fortes variações de temperatura.
- **Lascagem | scaling:** Separação em lascas com alguns centímetros de espessura, paralelas á superfície. Devidas essencialmente à cristalização de sais, à insolação, ciclos de gelo-degelo e a fortes variações de temperatura.
- **Fragmentação em placas | spalling:** Destacamento de uma fracção relativamente espessa do material formando lacunas.



Figura 200 – Pátina e alteração cromática, templo de Eleusis, Grécia

[Barros, Luís Aires (2001)]



Figura 201 – Crostas negras e zonas lavadas por escorrência, Torre de Belém, Lisboa

[Barros, Luís Aires (2001)]



Figura 202 – Lascagem em alvenaria cerâmica

[Franke, L. et al (1998)]



Figura 203 – Fenómenos de lascagem, Sé Velha de Coimbra

[Barros, Luís Aires (2001)]



Figura 204 – Separação em placas com lacunas, Escorial de Madrid [Barros, Luís Aires (2001)]



Figura 205 – Esboroamento alvenaria cerâmica [Franke, L. et al (1998)]



Figura 206 – Pulverização (arenização ou enfarinhamento) do calcário, Universidade de Coimbra [Barros, Luís Aires (2001)]

Com múltiplas causas possíveis, sublinham-se os ciclos de gelo-degelo, cristalização de sais com expansão dos mesmos no interior da estrutura do material, variações de temperatura muito bruscas (fogo e sua extinção), vibrações, acções físicas ou químicas variadas geralmente com presença de água.

b) Perda de coesão ou Desagregação

Por falta de ligação entre as suas partículas, o material é reduzido a caroços, grãos, ou farinha.

- **Esboroamento | crumbling:** Desintegração em fragmentos mais com dimensões de pequenos caroços. As suas causas prováveis prendem-se geralmente com o processo de fabrico no caso de tijolos (amassadura da argila, mau cozimento dos tijolos), presença de gelo ou cristalização de sais.
- **Pulverização¹⁸⁷ | pulverization:** Desintegração em fragmentos arenosos ou de dimensões inferiores a 2mm, manifestando-se pela queda espontânea de grãos ou pó. Devida essencialmente à cristalização de sais, a acções de origem física, química e biológica, e mau cozimento dos tijolos (no caso de alvenarias cerâmicas).
- **Alveolização e Picamento | honey comb and pitting:** Quando no caso de rochas¹⁸⁸ ou alvenaria de tijolo cerâmico¹⁸⁹ existe desagregação por pulverização, o material do substrato pode por vezes adquirir à superfície o aspecto de alvéolos com dimensões e formas variadas, mais ou menos profundos de distribuição aleatória. Muitas vezes o aspecto pode ter a forma de numerosos furos tendencialmente de forma cilíndrica e diâmetro máximo de poucos milímetros.
- **Erosão | erosion:** Modificação associada à perda de massa à superfície do material e seu arraste. Pode ser de origem mecânica (abrasão) devida à fricção exercida pelo ar, líquidos (água), sólidos (gelo, areia e outras partículas transportadas pelo vento) ou desgaste humano ou de origem química e biológica (corrosão).

¹⁸⁷ Também denominada de: *arenização, enfarinhamento | sanding, granular desintegration, powdering.*

¹⁸⁸ Barros, Luis Aires, *ob. cit.*, (2001), pp. 248-251.

¹⁸⁹ Franke, L.; Schumann, I.; Mateus, J.; Van Hees, R.; Naldini, S.; Binda, L.; Baronio, G.; Van Balen, K., *ob.cit.*, (1998), pp. 27-45.

c) Perda de adesão

Por falta de ligação, pressupõe o desligamento de um material de outro. Pode afectar camadas muito finas dos materiais (escamação ou empolamento), ou camadas mais espessas (como é o caso dos revestimentos).

- **Escamação | peeling:** Geralmente ocorre em revestimentos. No caso das rochas (independentemente da sua estrutura petrográfica) a ocorrência deste fenómeno está associada a camadas destacadas com espessuras da ordem de 1 a 20 mm e à existência de uma zona pulverizada ou arenizada entre a rocha e a escama.
- **Empolamento | blistering:** Degradação que aparece sob a forma de bolhas, com elevação superficial do material que pode assumir consistência variável, sendo preenchidas com gás, líquido ou cristais. Geralmente decorrentes da cristalização de sais sob a superfície, expansão térmica, presença de água, aplicação de materiais posteriores.
- **Perda de ligação | loss of bond:** Desligamento das argamassas de revestimento das alvenarias.

6.3.2.3 | BIODETERIORAÇÃO

Externa ou internamente, devido à presença de organismos e microorganismos vivos como elementos vegetais ou bolores, fungos e bactérias podem ocorrer os seguintes tipos de anomalias:

- **Destruição mecânica:** Através da abertura forçada das juntas por raízes de plantas superiores, heras, ou outras, usando o próprio material (usualmente as argamassas) como substrato.
- **Concentração de humidades:** Através do desenvolvimento, de musgos, líquenes, algas, bolores e bactérias que criam películas ou camadas orgânicas que ajudam à retenção da água e à concentração de humidades no substrato.
- **Destruição química:** Os musgos, hepáticas e todas as plantas briófitas, possuem rizóides em vez de raízes. Estes segregam ácidos que dissolvem os materiais do substrato, incluindo a pedra, tijolo ou argamassas, de forma bastante violenta e rápida. Em circunstâncias favoráveis de humidade e temperatura, uma argamassa fraca pode ser arenizada num espaço de um ano. Para além destes organismos, também as algas, líquenes, bolores e bactérias penetram nas fendas e poros dos materiais, e por acção



Figura 207 – Alveolização pronunciada, Sé de Lisboa
[Barros, Luís Aires (2001)]



Figura 208 – Escamação múltipla, Mosteiro da Batalha
[Barros, Luís Aires (2001)]

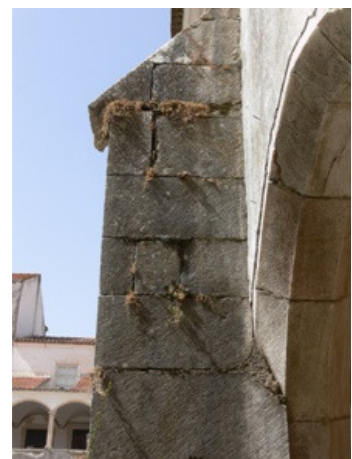


Figura 209 – Destruição mecânica provocada por plantas superiores, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz
[Foto do autor]



Figura 210 – Perda de ligação entre elementos de alvenaria [Franke, L. et al (1998)]



Figura 211 – Fendilhação não estrutural em elementos de alvenaria [Franke, L. et al (1998)]



Figura 212 – Lacuna, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz [Foto do autor]

química, criam novas cavidades promovendo a deterioração dos materiais e a sua desagregação.

6.3.2.4 | FENDILHAÇÃO OU ROTURA

Diferentes tipos de fendilhação com origem e consequências não estruturais podem ser distinguidos como anomalias:

- **Fissuras | fissure:** Incisões de continuidade curtas, muito finas de largura inferior a 0,15 mm, fechadas, com desenvolvimento discreto e nunca atingindo os limites dos corpos considerados.
- **Fendilhação | cracking:** Incisões de continuidade com largura superior a 0,15 mm, fechadas ou abertas, atingindo os limites dos corpos considerados. Resultam da ocorrência de tensões actuantes superiores às tensões resistentes dos materiais. As suas origens não estruturais poderão ser diversas: dilatações e contracções térmicas dos próprios materiais devidas a fortes variações de temperatura; expansões internas devidas à presença de corrosão, cristalização de sais, acção biológica; aumentos de volume devido à higroscopicidade ou retracção; envelhecimento dos materiais especialmente das argamassas.
- **Fracturação | splitting:** Quebra ou rotura de continuidade, semelhante a fendas mas com espessuras muito superiores podendo envolver o afastamento das partes fracturadas dividindo o corpo em partes distintas. Devidas às acções apresentadas acima para a fendilhação, ocorrem geralmente por evolução desta.
- **Rotura | rupture:** Divisão em fragmentos separadas, com possível queda e perda de partes do material (lacuna). Devidas às origens não estruturais apresentadas acima para a fendilhação, ocorre geralmente após a fracturação e por evolução desta. Pode ou não colocar em causa o funcionamento e segurança estrutural da construção dependendo da sua extensão e gravidade.

6.3.2.5 | DANO MECÂNICO

Dos danos mecânicos com causas e consequências não estruturais, destacam-se os provocados por acções físicas resultantes do impacto ou da acção de um instrumento.

- **Risco | scratch:** Perda superficial de material, geralmente sob a acção de um objecto pontiagudo com maior dureza que o material riscado.

- **Corte | cut:** Linha de divisão, por acção penetrante de um instrumento afiado.
- **Punção | puncture:** Penetração ou picagem provocada por instrumento pontiagudo.
- **Lascagem | chipping:** Fragmento partido e separado do original de uma zona angulosa, geralmente devido a um impacto.



Figura 213 – Risco em alvenaria cerâmica

[Franke, L. et al (1998)]

6.3.3 | ANOMALIAS NÃO ESTRUTURAIS EM REVESTIMENTOS E ACABAMENTOS

Para além das anomalias não estruturais em alvenarias de tijolo cerâmico e alvenarias de pedra serão caracterizadas as anomalias em revestimentos e acabamentos, tendo-se como base o exposto nos trabalhos de Veiga & Aguiar (2002, 2003 e 2007).

Considerando que os revestimentos aplicados nas estruturas arqueadas presentes em edifícios antigos, são essencialmente constituídos por argamassas e acabamentos à base de cal, verifica-se que as anomalias em revestimentos não diferem substancialmente das anomalias presentes nos respectivos suportes, podendo à sua semelhança observar-se:

- Alterações da superfície
- Desintegração do material
- Biodeterioração
- Fendilhação
- Danos mecânicos

De forma a evitar a repetição da informação exposta para as alvenarias, na especificação de cada anomalia em revestimentos e acabamentos, nos casos em que se verifiquem as mesmas manifestações e os mesmos mecanismos de degradação, será apenas feita a sua referenciação e/ou acrescentadas as informações que se considerem relevantes para a sua compreensão.

6.3.3.1 | ALTERAÇÕES DA SUPERFÍCIE

a) Alteração de cor

- **Perda de cor:** Devido a agentes atmosféricos como a água e radiação solar, ataque químico, presença de humidades internas ou utilização de pigmentos inadequada à exposição exterior. Apesar do seu excelente comportamento face às alvenarias antigas, os revestimentos e pinturas de cal possuem em geral uma resistência ao desgaste e consequentemente uma



Figura 214 – Depósitos de sujidade em revestimentos, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz
[Foto do autor]



Figura 215 – Eflorescências em paredes interiores, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa
[Foto LEB]



Figura 216 – Depósito biológico acentuado em paredes interiores, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa
[Foto LEB]

permanência da sua cor¹⁹⁰ limitada. Para além deste facto, os rebocos e estuques de cal tradicional, apresentam uma grande e variável porosidade o que promove a agressividade química dos compostos alcalinos presentes no interior das alvenarias. A acompanhar a perda de cor está muitas vezes associada uma alteração da textura e do brilho das superfícies.

- **Manchas:** Devidas à presença de materiais estranhos ao revestimento tais como ferrugem, sais, vernizes, substâncias orgânicas, bem como ao teor de água elevado no suporte, e à heterogeneidade deste.

b) Deposição

- **Depósitos de sujidade:** No seguimento da deposição de poeiras e sujidade acumulada em áreas não lavadas.
- **Eflorescência ou Criptoflorescência:** Devidas à presença de sais minerais solúveis em água (na maioria dos casos sulfatos alcalinos). Nos revestimentos este tipo de anomalia pode conduzir à perda de coesão ou desagregação, perda de aderência e destacamento do material.
- **Depósito biológico:** À semelhança das alvenarias, ocorrem associados à presença de humidade permanente em determinadas zonas dos revestimentos devido a condensações ou infiltrações, decorrem do desenvolvimento de organismos vivos como vegetação, líquenes, musgos, algas, bolores, fungos e bactérias e dos seus produtos de metabolismo.

6.3.3.2 | DESINTEGRAÇÃO DO MATERIAL

a) Camadas

- **Exfoliação:** Em revestimentos com pinturas de cal, destacamento de uma ou mais camadas sucessivas, correspondentes aos vários caiamentos realizados ao longo dos anos. Ocorre essencialmente devido à cristalização de sais, envelhecimento dos materiais por acção dos agentes atmosféricos ou acções físicas e químicas variadas.
- **Destacamento:** Por perda de aderência ao suporte, devido à deficiente execução, incompatibilidade com o material da base, teor de água elevado no suporte, ou devido a fenómenos de fendilhação¹⁹¹ evolutivos, poderá verificar-se o destacamento de

¹⁹⁰ Esta é conferida através de pigmentos de óxidos de ferro, terras e sombras.

¹⁹¹ Veja-se ponto 6.3.3.4.

porções localizadas ou da totalidade do revestimento ou acabamento.

b) Perda de coesão ou desagregação

- **Esboroamento:** Em revestimentos de ligantes hidráulicos ou aéreos, desintegração em fragmentos mais ou menos coesos. As suas causas prováveis prendem-se com a presença de água, amolecimento dos materiais, cristalização de sais, fendilhação e roturas.
- **Pulverização:** Desintegração em grãos ou pó, devidas essencialmente à presença de água, cristalização de sais, acções de origem física, química (poluição atmosférica e outras) e biológica.
- **Erosão:** A desagregação pode ocorrer nos revestimentos devido à sua insuficiente resistência mecânica perante a acção dos agentes atmosféricos, com destaque para a acção erosiva da água que provoca directamente dissolução da matriz das argamassas e do vento carregando partículas sólidas. Também pode ser provocada pelo desgaste humano, agentes poluentes ou acção biológica.

c) Perda de aderência

- **Escamação:** Destacamento de escamas nas sucessivas camadas de acabamento ou revestimento devido a uma perda de adesão entre superfícies. Geralmente decorrente da presença de água, gelo, criptoflorescências ou biodeterioração.
- **Empolamento:** No caso dos rebocos, os empolamentos podem ocorrer essencialmente devido à presença directa ou indirecta de humidades. Deste modo, devido à presença de água durante ou após a aplicação dos revestimentos ou ao ataque por sais solúveis higroscópicos, pode haver empolamento do revestimento com eventual perda de ligação ao suporte. Motivo generalizado para o empolamento é a substituição dos tradicionais caimentos por pinturas com insuficiente permeabilidade ao vapor de água.
- **Perda de ligação:** Devido à presença de eflorescências, teor de água elevado no suporte, fendilhação e no seguimento de empolamentos, os revestimentos ou acabamentos podem perder a aderência ao suporte. Para a ocorrência deste tipo de anomalia contribui ainda de forma relevante o desrespeito pela garantia das melhores condições de ligação, quando se executam novos revestimentos ou aplicam pinturas no âmbito de intervenções de



Figura 217 – Exfoliação e destacamento de várias camadas de revestimento sucessivas, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz
[Foto LEB]



Figura 218 – Destacamento de revestimento, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz
[Foto do autor]



Figura 219 – Exfoliação de revestimento, Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz
[Foto do autor]



Figura 220 – Empolamento de revestimentos devido à presença de água no interior de paredes, Condomínio Pátio Lencastre, Lisboa

[Foto LEB]



Figura 221 – Perda de ligação do revestimento ao suporte, Casa das Almeidas, Lisboa

[Foto LEB]

manutenção ou reabilitação. Nestes casos a perda de ligação pode ocorrer essencialmente devido a: incompatibilidades entre materiais originais e novos materiais; uso de produtos de má qualidade; preparação inadequada das superfícies; condições inadequadas de temperatura e humidade durante a aplicação; acesso de humidade à base entre outras.

6.3.3.3 | BIODETRIOÇÃO

Da mesma forma que nas alvenarias, nos revestimentos a biodeterioração é um processo de destruição que ocorre devido a organismos vivos ou aos produtos do seu desenvolvimento.

No caso dos revestimentos, determinadas características como a sua porosidade e rugosidade favorecem ainda mais a retenção da água e o conseqüente desenvolvimento de microorganismos. Devido a muitas vezes conterem na sua composição determinados constituintes orgânicos, as argamassas podem também facilitar o desenvolvimento de organismos vivos deteriorantes.

Estes actuam nos revestimentos através dos mecanismos de degradação apresentados para as alvenarias, provocando a sua destruição mecânica, química e a concentração de humidades¹⁹².

6.3.3.4 | FENDILHAÇÃO

Com diferente extensão e gravidade, a fendilhação dos revestimentos pode ocorrer geralmente através de duas formas: Devido à fendilhação do próprio suporte, ou devido à degradação própria dos revestimentos.

a) Devida à fendilhação do suporte

Na sequência de deformações na estrutura, vibrações dinâmicas, dilatações e contracções internas, uso e envelhecimento dos materiais por acção da natureza e do homem e a muitas outras causas referidas recorrentemente ao longo do presente texto, nas alvenarias surgem fendilhações ou mesmo fracturas. Funcionando por aderência, os revestimentos encontram-se submetidos às tensões actuantes no suporte. Em resultado, caso este se deforme ou fendilhe, na generalidade os revestimentos sofrerão o mesmo dano.

¹⁹² Ver ponto 6.3.2.3.

Este tipo de fissuração manifesta-se nos revestimentos geralmente através de¹⁹³:

- Fissuras ou fendas com direcção e abertura bem definida, com comprimento considerável, ainda que possam ser interrompidas em alguma zona ou ramificar-se ligeiramente.
- Fissuras ou fendas em angulo recto desenhando a geometria das juntas das alvenarias que lhe são subjacentes.

b) Devida à fendilhação do próprio revestimento:

Com origem em dilatações e contracções térmicas das próprias argamassas devidas a fortes variações de temperatura; cristalização de sais solúveis, acção biológica; aumentos de volume devidos à higroscopicidade; ou envelhecimento dos materiais.

Devido à presença de camadas de espessura exagerada, traços de ligante inadequados, desrespeito pelos tempos de secagem (entre a aplicação das várias camadas) e pelas práticas da boa arte, poderá ocorrer a fendilhação dos revestimentos, bem como fendilhação ou rotura do suporte antigo geralmente mais fraco (tosco da parede ou camadas inferiores de reboco antigo). Da mesma forma, se forem utilizados ligantes hidráulicos nas argamassas (cal ou cimento), devido à sua retracção geralmente exagerada, ou em virtude destas serem por vezes demasiado fortes, pode ocorrer a fendilhação dos revestimentos ou suporte.

Este tipo de fissuração manifesta-se nos revestimentos geralmente através de¹⁹⁴:

- Fissuras ou fendas em quadrícula, de aspecto mais ou menos uniforme que podem derivar de más condições de aderência ou de execução dos revestimentos
- Fissuras ou fendas ramificadas, sem orientação preferencial, de pequena largura presentes em praticamente toda a extensão do revestimento. Geralmente resultantes do comportamento diferencial entre a base e o revestimento, ou entre as várias camadas do mesmo.
- Fissuras ou fendas com a mesma aparência que a argila ao secar, formando um esquartelamento com ângulos obtusos entre si, geralmente mais abertas no exterior do revestimento que no



Figura 222 e Figura 223 – Fissuração bem definida com direcção única, Ex-Celeiros EPAC, Évora [Argilés, Josep M. et al (1999c)]

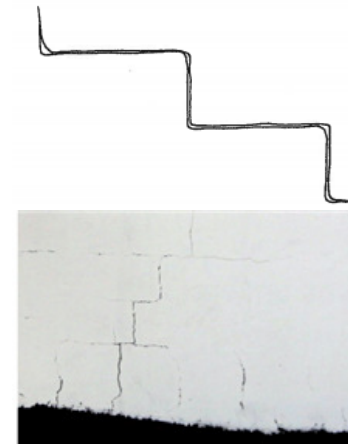


Figura 224 e Figura 225 – Fissuração em angulo recto [Argilés, Josep M. et al (1999c)] e [Aguilar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

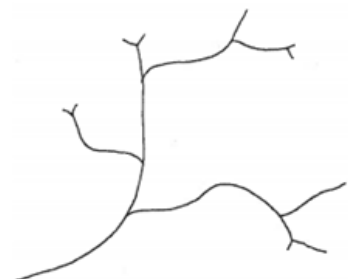


Figura 226 – Fissuras ramificadas [Argilés, Josep M. et al (1999c)]

¹⁹³ Argilés, Josep M. et al (1999c) – *Patología y Tecnicas de Intervencion en Fachadas y Cubiertas: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla; Léria, Madrid, pp. 275-281.

¹⁹⁴ *Idem*

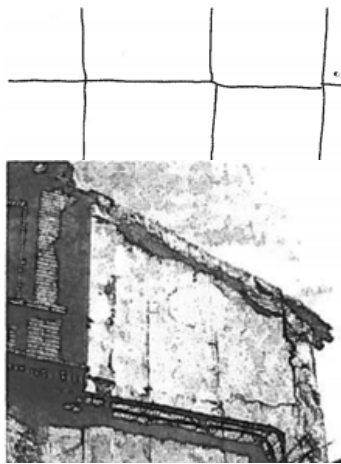


Figura 227 e Figura 228 – Fissuração em quadrícula [Argilés, Josep M. et al (1999c)]

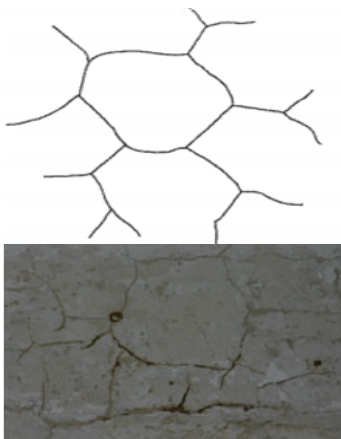


Figura 229 e Figura 230 – Fissuras em esquadramento, Ex-Celeiros EPAC, Évora [Argilés, Josep M. et al (1999c)]



Figura 231 – Fissuras em teia de aranha [Argilés, Josep M. et al (1999c)]

interior, presentes em praticamente toda a extensão do revestimento. Resultam na maioria dos casos da retracção das argamassas devido a condições inadequadas de temperatura e humidade durante a aplicação ou da presença de argila nas areias utilizadas. Podem também resultar da aplicação de rebocos em suportes demasiado absorventes, apresentando a fissuração uma maior abertura no interior.

- Fissuras ou fendas em forma de teia de aranha, com forma radiocêntrica. Geralmente resultantes do de um dano mecânico provocado por um impacto. No caso de pinturas e acabamentos, ocorre geralmente devido às variações dimensionais e fendilhação do reboco, produtos incompatíveis ou de má qualidade, condições inadequadas de temperatura, humidade e preparação das superfícies durante a aplicação.

6.3.3.5 | DANO MECÂNICO

À semelhança dos danos mecânicos de que por vezes são alvo as alvenarias, devido a acções físicas resultantes do impacto ou da acção de um instrumento, podem surgir riscos, cortes, punções ou lascagens nos revestimentos¹⁹⁵.

¹⁹⁵ Ver ponto 6.3.2.5.

CAPÍTULO 7 | PRINCIPAIS SOLUÇÕES DE INTERVENÇÃO

7.1 | ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO

Com vista à correcção das insuficiências e valorização futura das construções, numa acção de conservação e reabilitação, a definição de soluções intervenção é um processo essencial. Este depende não só de questões históricas, estéticas ou culturais e da necessidade da sua salvaguarda, como de factores relacionados com o estado de conservação em que a estrutura se encontra (tipos de anomalias, grau de severidade, nível de reparabilidade), a maior ou menor facilidade que esta tem em se adaptar às novas exigências e acções a que vai estar sujeita e, finalmente, a disponibilidade de meios existentes (tecnologia, mão-de-obra, tempo, verbas).

Tendo em consideração toda a informação exposta nos capítulos anteriores¹⁹⁶ e dentro do âmbito do presente capítulo, podem agora ser finalmente sistematizadas as estratégias e técnicas de intervenção mais comuns para a conservação e reabilitação de estruturas arqueadas. Esta sistematização está associada a níveis ou graus de intervenção, podendo as acções desenvolver-se num contexto não estrutural ou estrutural. Permitindo atingir os objectivos propostos, a estratégia a seguir será sempre a que conduza a mínima intervenção e a máxima reversibilidade.

Deve referir-se que as soluções descritas não são as únicas passíveis de aplicação, tendo sido apresentadas as que, face às características próprias das estruturas em estudo e às possibilidades técnicas hoje disponíveis (métodos e materiais), se considera que melhor se adaptam às exigências requeridas, garantindo a minimização das anomalias e o sucesso das intervenções.

¹⁹⁶ A informação necessária para a definição de soluções de intervenção em estruturas arqueadas incluirá: as bases metodológicas e doutrinárias estabelecidas para o projecto de conservação e reabilitação, abordadas no Capítulo 2 e Capítulo 3; o conhecimento aprofundado sobre a construção na qual se pretende intervir, abordado no Capítulo 4 e Capítulo 5; as suas principais patologias estruturais e construtivas, expostas no Capítulo 6.



Figura 232 - Remoção do carregamento de abóbadas para posterior reforço, Mosteiro das Salzedas [Lourenço, Paulo B. *et al* (2008)]

7.2 | ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO

7.2.1 | SOLUÇÕES GERAIS DE INTERVENÇÃO EM ARCOS, ABOBADAS E CÚPULAS

Na sua forma mais simples, uma acção de conservação e reabilitação, actuará na construção fundamentalmente sobre dois aspectos: estrutural e não estrutural.

Numa **intervenção estrutural** pretende-se a reposição ou melhoria das características de segurança da estrutura. Tal pode ser conseguido actuando ao nível das acções (baixando-as), das resistências (aumentando-as), ou de ambas. São exemplos de actuação sobre as resistências, a reparação, a consolidação, a substituição e o reforço dos elementos estruturais e materiais constituintes. Com a reparação e substituição procura-se o restabelecimento da resistência original que por qualquer motivo foi afectada. A consolidação permite tanto a reposição como o aumento da resistência mecânica dos materiais. Com o reforço, pretende-se o aumento da resistência estrutural original, adaptando a estrutura a novas acções ou ao aumento de intensidade das acções existentes¹⁹⁷.

Deste modo, sob o ponto de vista estrutural e associadas a níveis de intervenção sucessivamente mais profundos, podem definir-se como principais soluções¹⁹⁸:

- reparação e substituição estrutural de elementos defeituosos;
- consolidação estrutural;
- reforço estrutural.

Numa **intervenção não estrutural**, pretende-se a reposição ou melhoria das características de funcionalidade. Esse objectivo pode ser atingido, através da simples manutenção e conservação, passando por acções de reparação, consolidação e substituição de elementos não estruturais afectados (de que são exemplo os revestimentos), de protecção contra os agentes agressivos e de ajustamento a exigências de conforto¹⁹⁹.

¹⁹⁷ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob. cit.*, (2006), p.588.

¹⁹⁸ Adaptado de Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob. cit.*, (2006), pp.588-597.

¹⁹⁹ *Idem*, p.630.

Deste modo, a nível não estrutural, e também associadas a níveis de intervenção sucessivamente maiores, definem-se como principais soluções²⁰⁰:

- eliminação das anomalias e sua causas;
- acções de limpeza e protecção;
- reparação e substituição de elementos não estruturais;
- consolidação de elementos não estruturais;
- reforço das características funcionais²⁰¹.

Cada uma das soluções acima apresentadas será alvo de pormenorização nos pontos seguintes do presente capítulo. Para todas se procurou fornecer um conjunto de opções válidas, tendo como premissas sempre que possível os seguintes critérios:

- a reversibilidade das soluções;
- a mínima intrusividade;
- a máxima compatibilidade entre o existente e o novo;
- a durabilidade das soluções.

De um ponto de vista geral, são privilegiadas as soluções reversíveis e minimamente intrusivas e os materiais e técnicas tradicionais, pretendendo-se assegurar ao máximo as questões da compatibilidade, que nunca se podem garantir como efectivas. Verifica-se no entanto, que em muitos casos estas soluções apresentam limitações, não sendo suficientes para assegurar quer a qualidade dos trabalhos (devido a diferença de idades entre materiais, questões de durabilidade, etc.), quer os requisitos técnicos das intervenções (inadequação do modo de aplicação, resistência insuficiente dos materiais, etc.). Nessas situações pode optar-se pela utilização de métodos e materiais inovadores, num espírito de cautela e humildade, com todas as limitações que a falta de experiência e o respeito que o objecto a intervir nos merece²⁰².

Se a nível não estrutural, as acções de intervenção são semelhantes ou equivalentes nos vários tipos de estruturas arqueadas, a nível



Figura 233 – Limpeza de cantarias
[Barros, Luís Aires (2001)]

²⁰⁰ Adaptado de Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob. cit.*, (2006), pp.630-632

²⁰¹ Com excepção da referência que será feita às questões relacionadas com a correcção dos problemas de humidade, dada a sua abrangência e em alguns casos desajustamento face ao âmbito do presente trabalho, não serão aqui abordadas as soluções relativas à segurança não estrutural (intrusão, incêndio), à higiene, saúde e conforto (ventilação, iluminação natural, salubridade, acústica) e à melhoria da eficiência energética. Para estudo mais aprofundado sobre o tema, Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob. cit.*, (2006), pp. 340-468.

²⁰² Veja-se Appleton, João, *ob. cit.*, (2003) p.6.

estrutural estas podem diferenciar-se em alguns pontos dependendo se estamos perante um arco, uma abóbada ou uma cúpula.

No caso particular das estruturas arqueadas, devido à sua capacidade de acomodação, verifica-se que os arcos, abobadas e cúpulas apresentam na generalidade problemas de deformação excessiva e de fendilhação ou fractura. Envolvendo ou não a rotura, com perdas de material ou instabilidade, estas anomalias são na maior parte dos casos provocadas por alteração das condições de utilização previstas implicando o agravamento das cargas verticais e de impulsos horizontais, pela deformação ou degradação dos apoios (contrafortes paredes ou fundações) e pela degradação dos materiais (na maioria dos casos devida a infiltrações).

Uma intervenção neste tipo de estruturas pode então envolver a seguinte sequência de acções:

- Em primeiro lugar, descoberta a causa ou as causas dos danos, há que eliminá-las ou minimizar a sua acção. Deste modo devem ser corrigidos os problemas nos apoios, estabilizando contrafortes, paredes ou fundações, através da sua reparação ou consolidação. Se as causas das anomalias têm origem em problemas relacionados com a presença de água, estes deverão ser também corrigidos antes das operações de tratamento dos materiais e estrutura, a fim de evitar o reaparecimento ou agravamento das anomalias.
- Após a eliminação ou minimização das causas dos danos e acções deteriorantes, o passo seguinte será a reparação. Através do refechamento de fendas, juntas e fracturas, da reposição de elementos em falta ou da substituição de elementos deteriorados por novos elementos. Após estas operações, as estruturas são muitas vezes consolidadas na sua generalidade através de caldas ligantes e argamassas, que lhes restituem as características de resistência originais, ou as melhoram em alguns casos.
- Em ocasiões pontuais e muito especiais, nos casos de deformação ou abatimento de arcos, a geometria original destes pode ser reposta. Através do seu escoramento e do corte das juntas de argamassa, as aduelas podem depois ser “empurradas” através de macacos hidráulicos até à sua posição inicial, onde serão de novo colocadas em carga.
- Nas situações em que se revele necessário, devido a alterações das cargas actuantes, ou na presença de anomalias estruturais graves em que as condições iniciais são impossíveis de repor, são

comuns as intervenções de reforço. Estas são geralmente realizadas através da adição de elementos resistentes, aumento da dimensão das secções ou alteração da distribuição de esforços.

- No caso de arcos e abóbadas é comum a utilização de tirantes ou pré-esforço para a minimização dos impulsos horizontais. Em cúpulas, devido à componente horizontal da linha de pressões, geram-se forças circunferenciais na base provocando a abertura de fendas²⁰³. Tal obriga à sua correcção geralmente através da introdução de anéis de reforço que absorvam as forças geradas pelos impulsos.
- Nos casos em que os fenómenos de instabilidade sejam de tal modo graves, que as soluções de reparação, consolidação e reforço não se apresentem como alternativas, poderá ser necessário proceder à reconstrução das construções. Nesta operação os elementos de que são compostos (tijolos, aduelas de pedra) são geralmente removidos e reservados para posterior utilização.

7.2.2 | SISTEMATIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO

Como verificámos da exposição anterior, para qualquer construção em geral e para as estruturas arqueadas em particular, estratégias de conservação e reabilitação a desenvolver e a acções necessárias para a sua implementação estão associadas a níveis ou graus de intervenção.

Seja sob o ponto de vista estrutural ou não estrutural, desde as simples operações de manutenção, passando pela reparação, consolidação, reforço até à reconstrução, a estratégia a seguir será sempre aquela que permitindo atingir os objectivos propostos, conduza à intervenção mínima e à máxima reversibilidade.

Podemos então sistematizar para as estruturas arqueadas cinco tipos de estratégia ou opções, às quais estão associadas conjuntos de acções que se traduzem em técnicas de reabilitação e conservação:

²⁰³ Veja-se ponto 5.2.4.

a) 1ª Opção: Conservação dos materiais e elementos existentes.

Para tal podem realizar-se:

Acções de manutenção ou conservação preventiva	
Técnicas de intervenção não estrutural:	Técnicas de intervenção estrutural:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminação da causa das anomalias (incluindo restrições de carga, tratamento de apoios e de humidades) ▪ Limpeza das superfícies (geral, eflorescências, colonizações biológicas ou vegetação parasita) ▪ Protecção contra os agentes agressivos 	
Acções de reparação dos danos existentes	
Técnicas de intervenção não estrutural:	Técnicas de intervenção estrutural:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alvenarias: Tratamento de juntas ▪ Revestimentos: Colmatação de fissuras e fendas, Colmatação de lacunas localizadas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alvenarias: Tratamento de fendas e fracturas, Colmatação de lacunas, Substituição de elementos defeituosos ▪ Fundações: Recalçamento de fundações

b) 2ª Opção: Consolidação dos elementos existentes

Esta poderá ser realizada através de:

Acções de consolidação	
Técnicas de intervenção não estrutural:	Técnicas de intervenção estrutural:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimentos: Consolidação, Restituição da aderência 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alvenarias: Impregnação de consolidantes no material pedra, Injecção de caldas ligantes em alvenarias, Argamassas projectadas, Caldeamentos, Rebocos armados ▪ Fundações: Consolidação estrutural de terrenos

c) 3ª Opção: Substituição de alguns elementos

Esta poderá ser realizada através de:

Acções de substituição	
Técnicas de intervenção não estrutural:	Técnicas de intervenção estrutural:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimentos: Substituição parcial ou total de revestimentos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alvenarias: Substituição de elementos defeituosos

d) 4ª Opção: Reforço

Esta poderá ser realizada através de:

Acções de reforço estrutural	
Técnicas de intervenção não estrutural:	Técnicas de intervenção estrutural:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alvenarias: Reforço com adição de elementos metálicos, Reforço com adição de elementos não metálicos, Reforço por aumento da dimensão das secções, Alteração na distribuição de esforços ▪ Fundações: Reforço da fundação com microestacas, Reforço por aumento da dimensão das secções

e) 5ª Opção: Reconstrução parcial ou total das estruturas

Se as anteriores hipóteses não forem viáveis, considerar como ultima opção a reconstrução parcial ou total das estruturas.

7.3 | TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E CONSERVAÇÃO NÃO ESTRUTURAL**7.3.1 | ELIMINAÇÃO DA CAUSA DAS ANOMALIAS**

Numa intervenção de reabilitação, para que o trabalho de manutenção e conservação preventiva seja eficaz (bem como as acções de reparação, consolidação, substituição e reforço), a adopção de medidas correctivas dirigidas às causas das anomalias existentes é imprescindível. Com o controlo ou eliminação das acções deteriorantes (nos casos em que tal seja possível) é minimizado ou impedido o seu efeito sobre as estruturas, viabilizando a posterior rectificação dos danos provocados.

Como foi mencionado anteriormente, de forma sintetizada, as anomalias mais frequentes em estruturas arqueadas, estão directa ou indirectamente relacionadas com:

- alteração das condições de carga (diferentes condições de utilização);
- alteração das condições de apoio (instabilização ou degradação de contrafortes, paredes ou fundações);
- humidades e presença de água (humidade ascendentes, de condensação e de infiltração).

A concretização de uma estratégia de intervenção onde se inclua a eliminação da causa das anomalias, passa sempre pela adopção de

técnicas que por si só ou em conjunto possam garantir a estabilidade dos mecanismos de degradação. Para uma mesma estratégia existem quase sempre diversas técnicas que se podem aplicar. Assim, nos pontos seguintes apresentam-se e tipificam-se sumariamente as principais técnicas de eliminação de anomalias, no caso específico de arcos, abobada e cúpulas de alvenaria estrutural.

7.3.1.1 | ALTERAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CARGA

Quando surgem anomalias directa ou indirectamente relacionadas com alterações de carga, estas tanto podem ser originadas por aumento dos carregamentos (alterações de uso que não estavam previstas, introdução de novos pavimentos mais pesados, arquivos, construção de paredes divisórias, aumento do número de pisos, etc.) ou pela sua diminuição (a retirada do carregamento do intradorso das abobadas é por exemplo uma causa de danos frequente).

Nestes casos, uma intervenção sobre as acções traduz-se geralmente pela imposição de restrições à utilização da estrutura. A alteração sofrida face à situação inicial para a qual a estrutura foi dimensionada é geralmente identificada e repostas as condições originais de carregamento. Tal poderá obrigar a demolições parciais controladas dos elementos acrescentados ou à remoção de cargas indesejadas.

Nas situações em que se pretendam criar condições para a manutenção das novas cargas instaladas, as construções deverão ser interditas e escoradas até à introdução de elementos (reforços ou sistemas de alteração de esforços) que permitam a verificação da segurança estrutural e o seu correcto funcionamento.

Também na sequência de acidentes estruturais provocados pelo homem ou natureza as condições de carregamento e de transmissão de esforço são na maior parte dos casos alteradas. Nestas situações é fundamental a imediata restrição à utilização da estrutura, interditando o seu acesso até ao esclarecimento e verificação do estado de segurança estrutural da construção. Na maioria dos casos, as construções que sofrem este tipo de acções, são escoradas e demolidas pontualmente no caso de existirem elementos em risco de derrocada.

7.3.1.2 | ALTERAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE APOIO

Como verificado anteriormente, a alteração das condições de apoio é geralmente materializada através da instabilização ou degradação de contrafortes, paredes ou fundações. Esta pode decorrer de acções externas múltiplas que no seio de uma intervenção de conservação ou reabilitação importa identificar.

Deste modo, o controlo ou reposição das condições de apoio é conseguido quase sempre numa primeira fase por meio da eliminação das acções que provocaram a sua alteração e numa segunda fase pelo próprio tratamento dos contrafortes, paredes ou fundações.

Dada a variedade e interdependência das acções externas agressivas e dos fenómenos de degradação e instabilização que provocam, é impossível a enumeração exaustiva de todos os procedimentos existentes para a sua eliminação. A título exemplificativo são aqui apresentadas algumas das mais correntes dependendo da fase em que decorrem os trabalhos.

a) 1º Eliminação das acções degradantes ou instabilizantes:

- restrição das condições de carga (reposição ou restrição da utilização e carregamentos previstos, implicando o restabelecimento das cargas verticais e de impulsos horizontais originais)²⁰⁴;
- tratamento de humidades e presença de água (agentes de degradação dos materiais)²⁰⁵;
- reposição de contraventamentos entretanto danificados (devido, demolições ou alterações na própria construção, demolições em edifícios vizinhos etc.);
- reposições ou escoramentos de terrenos (devidas a escavações não previstas);
- estabilização e consolidação dos terrenos de fundação;
- reposição da posição inicial de pilares, paredes ou contrafortes deformados (geralmente pela imposição de deslocamentos com recurso a macacos planos, de execução muito difícil e delicada).

²⁰⁴ Veja-se ponto 7.3.1.1.

²⁰⁵ Veja-se ponto 7.3.1.3.

b) 2º Tratamento dos contrafortes, paredes ou fundações:

- reparação ou consolidação estrutural de paredes e contrafortes²⁰⁶;
- reforço estrutural de paredes e contrafortes por adição de elementos, aumento de secções ou alteração da distribuição de esforços²⁰⁷;
- recalçamento de fundações, consolidação de terrenos e reforço estrutural²⁰⁸

7.3.1.3 | HUMIDADES E PRESENÇA DE ÁGUA

Tal como foi mencionado no capítulo anterior, as anomalias mais frequentes em estruturas de alvenaria devem-se à presença de humidades e água. Estas são geralmente responsáveis por fenómenos vários de deterioração dos materiais, abrangendo um largo espectro de intensidade e manifestações, desde as anomalias de carácter não estrutural às anomalias e danos de tipo estrutural e instabilizante.

Funcionando em conjunto com os arcos abóbada ou cúpulas, os apoios (paredes, contrafortes e fundações) desempenham um papel fundamental na estabilidade e equilíbrio das estruturas arqueadas. Deste modo, directa ou indirectamente, à sua degradação ou instabilidade corresponderá a degradação ou instabilidade dos elementos arqueados que suportam.

Dos principais tipos de humidade presentes neste tipo de estruturas, e que importa eliminar ou minimizar, destacam-se: as humidades devidas à condensação, devido a infiltrações pela cobertura e paredes, e as humidades ascendentes nas paredes provenientes do terreno.

c) Humidades de condensação

De forma a evitar ou reduzir a ocorrência de condensações superficiais ou interiores à estrutura, devem corrigir-se as condições de isolamento térmico da envolvente e a garantir uma conveniente ventilação dos espaços contíguos.

A melhoria destas condições pode ser conseguida através de várias medidas tais como:²⁰⁹

²⁰⁶ Veja-se ponto 7.4.1 e ponto 7.4.2.

²⁰⁷ Veja-se ponto 7.4.3.

²⁰⁸ Veja-se ponto 7.4.4.

- redução da produção de vapor de água nos locais afectados;
- melhoria da ventilação natural ou forçada (orifícios de ventilação, abertura de vãos, montagem de sistemas de ventilação mecânica);
- reforço da temperatura ambiente;
- aumento do isolamento térmico.

d) Infiltrações

A ocorrência de infiltrações em estruturas arqueadas surge quando a estanquidade da envolvente não é total, podendo ocorrer quer através das paredes, quer através da cobertura.

No caso de paredes, as soluções mais comuns destinadas a impedir a infiltração de água de precipitação são:²¹⁰

- tratamento de rebocos existentes²¹¹;
- aplicação de sistemas de protecção²¹²;
- aplicação de membranas impermeabilizantes: Protecção exterior das paredes e coberturas a infiltrações provenientes do terreno, através da inserção de membranas impermeáveis (feltros ou emulsões betuminosas, folhas de material plástico, valas drenantes ou outras).

No caso de coberturas²¹³, as soluções mais comuns destinadas a impedir a infiltração de água de precipitação são:

- reparação dos revestimentos ou substituição por outros mais estanques (telhas, telas impermeabilizantes, etc.);



Figura 234 – Porto, obras de reabilitação e conclusão do conjunto habitacional da Bouca: colocação de isolamento térmico pelo exterior

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

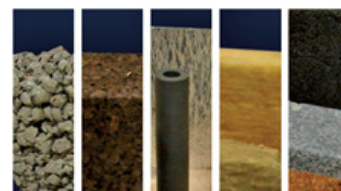


Figura 235 – Vários tipos de isolantes térmicos

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

²⁰⁹ . Veja-se Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a); *Diagnóstico, Patologias e Reabilitação de Construção em Alvenaria de Pedra*, Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação do Curso de Mestrado em Ciências da Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, p.95 e Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b); *Diagnóstico e Patologias de Construção em Alvenaria de Tijolo*, Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação do Curso de Mestrado em Ciências da Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, p.68. Para um estudo mais aprofundado sobre o tema, veja-se Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), 4.3.2.2 (Conforto higrotérmico), 4.3.2.3 (Ventilação) e 4.4.2 (Reabilitação térmica da envolvente dos edifícios).

²¹⁰ Veja-se Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004a), p.96 e Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004b), pp. 74-77.

²¹¹ Veja-se ponto 7.3.4.

²¹² Veja-se ponto 7.3.5.

²¹³ Dada a extensão do tema e tendo em consideração o âmbito do presente trabalho não serão abordados em pormenor os temas da reparação de coberturas inclinada ou em terraço em edifícios antigos. Para mais informação veja-se Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), 6.2.4.3 (Revestimentos de coberturas).

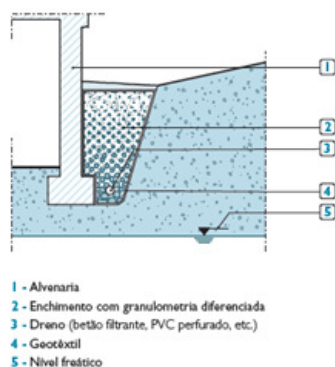


Figura 236 - Corte de vala periférica com enchimento [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

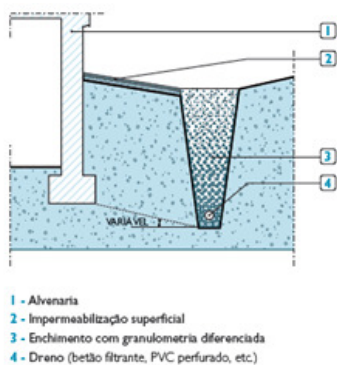


Figura 237 - Vala periférica com enchimento afastada da parede [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

- substituição de elementos de suporte (asnas, madres, ripado) excessivamente deformados;
- reparação ou melhoria do sistema de drenagem existente;
- aumento das pendentes da cobertura.

e) Humidades ascendentes provenientes do terreno

As soluções mais comuns destinadas a impedir a ascensão de água proveniente do terreno através das paredes são:²¹⁴

- **Impedimento da penetração da água no terreno:** Com encaminhamento da água para os sistemas drenantes e seu afastamento da base das paredes e fundações. Podem ser materializados através do tratamento dos declives do terreno junto à paredes, execução de caleiras superficiais, rebaixamentos do nível freático, etc.
- **Execução de valas drenantes:** Realização de uma vala periférica às paredes com o objectivo de drenagem das águas existentes no terreno, impedindo assim o seu acesso por ascensão. Com uma largura superior a 0,30m podem atingir a profundidade total da parede. São executadas através da escavação do terreno e da posterior instalação (na base) de um dreno perfurado envolvido por uma manta geotêxtil, permitindo a recolha e condução das águas. Acompanhando a instalação do dreno, na superfície da construção enterrada deve ser aplicado um revestimento impermeável (feltros ou emulsões betuminosas, folhas de material plástico, ou outras). A vala é posteriormente cheia com um material que facilite a drenagem da água em camadas sucessivas de areia e brita de granulometria decrescente à medida que se aproxima do nível do terreno.
- **Introdução de produtos impermeabilizantes:** Com o objectivo de criar uma barreira contínua impermeável ao longo da parede afectada, são injectados por gravidade ou sob pressão produtos impermeabilizantes. Estes podem ser de dois tipos: tapa-poros (resinas epóxicas, silicatos alcalinos, acrilamidas) ou produtos hidrófugos (siliconatos, silicones, organo-metálicos). As injeções são realizadas numa fiada horizontal de furos abertos na parte inferior das paredes (com profundidade de cerca de 2/3 da espessura total da parede) afastados de 0,1 m a 0,2 m. Estes

²¹⁴ . Veja-se Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004a), pp.91-93 e Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004b), pp. 63-65. Para um estudo mais aprofundado sobre o tema, veja-se Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), pp. 633-640.

produtos impregnam os materiais constituintes da alvenaria criando uma barreira hídrica à ascensão da água por capilaridade nas paredes. Os elementos da construção afectados pela humidade, incluindo rebocos, devem ser saneados até cerca de 50 cm acima dos últimos sinais de humidade.

- **Corte mecânico com inserção de barreiras impermeáveis:** Criação de camada estanque por inserção de uma barreira horizontal (membranas betuminosas, placas de chumbo, PVC, argamassas de ligantes sintéticos, etc.) em toda a espessura da parede

Neste caso, a incorporação dos elementos impermeabilizantes pode ser realizada através da substituição de elementos de alvenaria, corte por carotagens sucessivas, introdução forçada de materiais metálicos com recurso a martelos pneumáticos. Só poderá ser aplicada a alvenarias em bom estado de conservação sem problemas estruturais ou em alvenaria não estrutural

- **Redução da secção absorvente:** Diminuição da secção da parede em contacto com a água ascensional. Através da substituição de algumas zonas da alvenaria por espaços vazios, reduzem-se os poros capilares através dos quais a água possa ascender²¹⁵.

f) Soluções de desumidificação e retirada de água em excesso de paredes

Das soluções mais comuns destinadas a retirar a água em excesso das alvenarias destacam-se:

- **Drenos atmosféricos e processos electro-osmóticos:** A introdução de drenos nas paredes permite a sua secagem por troca de ar saturado com ar seco através dos drenos que servirão como tubos de arejamento. No caso dos processos electro-osmóticos é feita a introdução de eléctrodos na alvenaria e no solo estabelecendo uma diferença de potencial eléctrico. A diferença de potencial eléctrico provoca a deslocação da água carregada de sais.No entanto, nenhuma das duas soluções apresenta resultados comprovados, não podendo ser consideradas como eficazes²¹⁶.
- **Rebocos desumidificadores:** Com tratamentos à base de produtos anti-salinos ou hidrófugos, com boas capacidades de

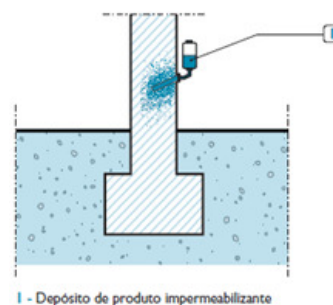


Figura 238 - Introdução de produto impermeabilizante em parede por gravidade [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

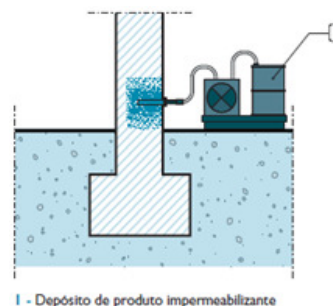


Figura 239 - Introdução de produto impermeabilizante em parede por injeção [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

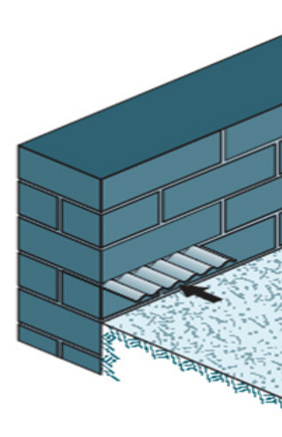


Figura 240 - Inserção de chapas metálicas em parede de alvenaria regular [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

²¹⁵ Este método coloca reservas principalmente no que refere à segurança estrutural, poderá vir a ser afectada.

²¹⁶ Veja-se Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), pp. 639-640.

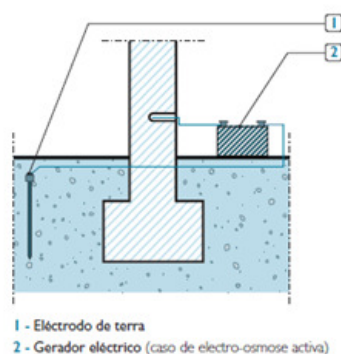


Figura 241 - Processo de electro-osmose

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

permeabilidade e de embeberem água. A expulsão desta é no entanto lenta, funcionando para baixos teores de humidade²¹⁷.

7.3.2 | TÉCNICAS DE LIMPEZA DAS SUPERFÍCIES

Em estruturas arqueadas de edifícios antigos, quer no caso de alvenaria de tijolo cerâmico, quer em elementos de cantaria de pedra revestidos ou não por rebocos ou pinturas, os depósitos e formações superficiais de origem orgânica ou mineral, são uma das principais anomalias detectadas.

Por limpeza das superfícies entende-se a remoção total ou parcial dos depósitos de sujidade (poeiras, sedimentos, gorduras e poluição), incrustações, eflorescências, manchas (ferrugem, sais, vernizes, substâncias orgânicas, etc.), depósitos biológicos e vegetação parasita, constituindo-se como uma operação absolutamente fundamental nas intervenções de reabilitação e conservação.

Não só por razões estéticas, mas devido à necessidade de eliminação de todas as substâncias nocivas aos materiais, a limpeza permite ainda a observação completa de todas as superfícies permitindo a identificação de anomalias ocultas ou que tenham passado despercebidas anteriormente²¹⁸.

Existem porém algumas divergências acerca das intervenções de limpeza, dado que em muitos casos, os métodos conhecidos têm por vezes contribuído para acelerar o processo de degradação, ou sugerem uma ideia falsa sobre a antiguidade das construções, removendo a pátina e a protecção natural dos materiais. A limpeza de construções antigas, particularmente de monumentos é uma operação delicada e irreversível, podendo danificar de forma irreparável os seus materiais e elementos constituintes caso se escolham técnicas desadequadas ou estas sejam mal aplicadas. Para se obterem bons resultados, são necessárias portanto todas as precauções²¹⁹.

De acordo com a natureza e estado de conservação dos elementos, as acções de limpeza e acções complementares de protecção a

²¹⁷ Veja-se Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010); *Reabilitação de edifícios de alvenaria resistente*, Folhas de Técnicas de Reabilitação de Construções, Mestrado em Construção e Reabilitação, Instituto Superior Técnico, Lisboa, pp.149-150.

²¹⁸ Veja-se Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), pp. 702-703.

²¹⁹ Veja-se Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004a), p.74.

desenvolver antes desta²²⁰, devem assim ser escolhidos de forma cuidada obedecendo a um conjunto de requisitos que permitam antes de mais a conservação das superfícies a intervir. Deste modo, deve garantir-se que o processo de limpeza²²¹:

- é gradual e controlável em todas as fases;
- não deve dar origem a materiais que possam causar futuras deteriorações (sais solúveis ou outros);
- não deve originar modificações na superfície (microfissuras, abrasões, perdas de material ou outros defeitos) que possam acelerar a degradação.

São assim desaconselhados quaisquer sistemas de limpeza que dêem origem a agressões físicas ou químicas, nomeadamente utilização muito intensa e descontrolada da água, soluções ácidas ou básicas de qualquer tipo, jactos de areia seca ou húmida, vapor (> 150°), água a alta pressão, limpeza a fogo, espátulas, escovas metálicas ou outros instrumentos de acção mecânica.

Devido aos efeitos nocivos que pode ter sobre as superfícies, em qualquer operação de limpeza torna-se imprescindível ao ensaio prévio do sistema a utilizar numa pequena porção do elemento, de preferência numa zona pouco visível.

Quando a limpeza é difícil ou o valor patrimonial dos objectos é alto, a selecção dos métodos mais adequados e o controlo rigoroso das operações torna-se ainda mais relevante, devendo nesses casos recorrer-se a especialistas em conservação e restauro.

7.3.2.1 | LIMPEZA GERAL DE SUPERFÍCIES

Dos métodos frequentemente usados na limpeza geral de superfícies, destacam-se: a limpeza a seco, a limpeza com água, e a limpeza química ou biológica²²².

²²⁰ Por exemplo, no caso de elementos em avançado estado de deterioração, a limpeza pode ser prejudicial originando perdas de material se não se realizar uma consolidação prévia.

²²¹ Barros, Luís Aires, *ob. cit.*, (2001), p. 299.

²²² Para a limpeza de pedras veja-se Barros, Luís Aires, *ob. cit.*, (2001), pp. 299-308. pedras e Argilés, Josep M. *et al, ob. cit.*, (1999b) p 138. Para a limpeza de alvenaria de tijolo cerâmico veja-se Franke, L. *et al, ob. cit.*, (1998), pp. 17-p18. Para a limpeza de revestimentos foram seguidas as recomendações constantes em Veiga, M. Rosário, *ob. cit.*, (2007a), pp.72-73.

a) Limpeza com água

Nos casos em que existam juntas com argamassas à base de cal ou outras substâncias pouco resistentes à acção solvente da água (pedras, argamassas e pinturas) ou se verifique a presença de sais solúveis, a limpeza com água é desaconselhada. Nas situações em que a utilização da água não é prejudicial, a limpeza de depósitos de sujidade, incrustações e manchas pode ser realizada de forma controlada através de:



Figura 242 - Limpeza com Jactos de água com pressão controlada [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]

- **Pulverização:** Com utilização de água reduzida ao mínimo, deve ser realizada dos postos mais altos para os mais baixos aproveitando o escoamento de água, promove o amolecimento dos depósitos. São recomendados períodos curtos repetidos de pulverização com avaliação de resultados.
- **Nebulização:** Utilizando pequenas quantidades de água vaporizada a baixa pressão, promove o amolecimento dos depósitos que podem ser depois removidos por escovagem suave ou jactos de água com pressão controlada. É particularmente indicado para limpeza de superfícies delicadas.
- **Jactos de água com pressão controlada:** Com pressões inferiores a 70 bar, podem ser quentes ou frios (a 80o ou temperatura superior) melhorando a solubilidade e o amolecimento de alguns depósitos. Deve ter-se especial atenção à quantidade de água utilizada de modo a não originar infiltrações, perdas de material ou efeitos indesejáveis.

b) Limpeza a seco

Nos casos em a utilização da água pode dar origem a efeitos indesejáveis tais como: eliminação de revestimentos, acabamentos ou pormenores originais; aparecimento de humidades interiores devido à permeabilidade elevada dos materiais; hidratação de possíveis sais solúveis presentes, a limpeza deve ser realizada a seco. Esta pode ser realizada através de:

- **Escovagem manual com escovas macias:** Não produzem desgaste nem conduzem à alteração da textura dos materiais. São geralmente utilizadas após o amolecimento dos depósitos.
- **Jactos de ar sob pressão:** Usados para a remoção de depósitos não aderentes.
- **Jactos de partículas abrasivas muito finas:** Deve ser realizado com especiais cuidados, utilizando de partículas de dureza inferior à da superfície a limpar e com a aplicação de pressões

baixas e controladas, de modo a não provocar erosão, alterações de textura ou remoção exagerada das pátinas. Se correctamente utilizado, permite obter em geral bons resultados mesmo em superfícies sensíveis. Com bons resultados em crostas duras.

- **Laser:** Sem riscos associados, é apenas usado em obras de arte ou monumentos de grande valor patrimonial devido ao seu elevado custo. É um método aconselhado para a remoção de crostas negras, provocando a sua pulverização. Apresenta como principais vantagens a grande selectividade e segurança na limpeza, permitindo a limpeza de superfícies muito deterioradas²²³.
- **Ultra-sons:** Funciona por transmissão pequenas vibrações aos depósitos e incrustações a partir de um emissor e de um filme de água. Tal como o Laser, permite operações minuciosas não atacando o substrato. Tem elevado custo.

c) Limpeza com produtos químicos ou biológicos

A maioria dos produtos químicos e biológicos tem contra-indicações podendo alterar quimicamente a composição dos materiais e introduzir manchas ou sais. Deve por isso ter-se especial atenção na sua aplicação e na sua remoção por lavagem das superfícies, principalmente nos casos em que há presença de argamassas e rebocos sensíveis.

Estes produtos poderão ser utilizados para a remoção de depósitos e formações superficiais várias, tais como sujidade, incrustações ou manchas.

Em geral, quer no caso de alvenaria de tijolo cerâmico e elementos de cantaria de pedra, quer no caso de rebocos, a limpeza química ou biológica pode ser realizada através de:

- **Sabões neutros líquidos:** Adicionados à água de lavagem, aumentam o poder de amolecimento das encrustações e sujidades.
- **Pastas gelatinosas ou lamas dissolventes:** Geralmente soluções de sais com reacção alcalina²²⁴ ou argilas especiais. Após a aplicação e actuação, devem remover-se na sua totalidade lavando as superfícies com água destilada ou desionizada e com a ajuda de escovas ou pincéis macios.

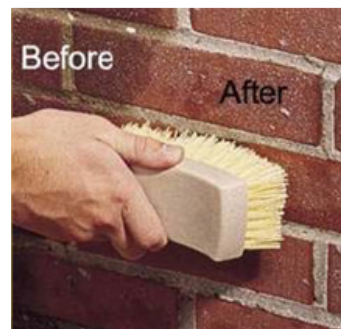


Figura 243 - Limpeza a seco com escova macia
[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]



Figura 244 - Instrumentos de limpeza agressivos: Escovas metálicas, escovas rotativas e fresas abrasivas
[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]



Figura 245 - Microjactos abrasivos
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

²²³ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004a), p.84.

²²⁴ Destes destacam-se: os bicarbonatos de sódio e de amónio, sais de EDTA e bifluoretos de sódio e de amónio. Barros, Luís Aires, *ob. cit.*, (2001),pp. 304-305.



Figura 246 – Limpeza a Laser
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]



Figura 247 – Limpeza com pasta gelatinosa
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]



Figura 248 – Limpeza com compressas biológicas
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

- **Pastas e compressas biológicas:** Colocação de compressas impregnadas com lama de sepiolite, com ureia e glicerina e cobertas com polietileno aderente. Sendo um processo lento, é aconselhado para pequenos objectos e detalhes arquitectónicos. Muito usadas em crostas negras²²⁵.
- **Solventes orgânicos:** Para remoção de ceras, óleos, resinas, produtos hidrófugos e consolidantes naturais ou sintéticos.

7.3.2.2 | LIMPEZA DE EFLORESCÊNCIAS

Dada a natureza da ocorrência de eflorescências, estar relacionada com a presença de sais higroscópicos que sofrem ciclos de dissolução/ cristalização devido à presença da água, uma das soluções mais eficazes para prevenir o seu reaparecimento será como já verificámos, a eliminação da humidade.

Quer no caso de alvenaria de tijolo cerâmico e elementos de cantaria de pedra quer no caso de rebocos, no tratamento de eflorescências, são normalmente utilizadas:

- **Pastas ou compressas húmidas com absorventes neutros:** Através da acção da humidade, os sais cristalizados são dissolvidos e absorvidos pelas pastas ou compressas. Como absorventes pode ser utilizada a argila, pasta de papel ou algodão. Em alternativa as compressas poderão ser embebidas em produtos químicos capazes de dissolver mais facilmente os sais²²⁶. É de referir que estas soluções são de aplicação morosa e não garantem a total remoção dos sais solúveis.
- **Argamassas sacrificiais:** Estas podem ser constituídas por uma mistura à base de cimento, pó de sílica e aditivos modificados. Aplicadas sobre as áreas afectadas são macroporosas e impermeáveis, sendo capazes de recolher todos os sais que surjam e cristalizá-los na sua estrutura sem desagregar²²⁷. É de referir que estas soluções são de aplicação morosa, têm profundidades de actuação pequenas não garantindo à semelhança das anteriores a total remoção dos sais solúveis.

Dependendo da extensão das eflorescências e da natureza do elemento afectado, devido aos sais solúveis estarem presentes

²²⁵ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004a), p.84.

²²⁶ Veiga, M. Rosário, *ob. cit.*, (2007a), p.77.

²²⁷ Veja-se Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos, *ob. cit.*, (2006), p. 642 e Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004b), p. 55.

no interior dos materiais, uma outra solução passível de ser aplicada será a remoção e substituição parcial ou total dos materiais contaminados. No caso de alguns rebocos, esta opção poderá constituir-se como alternativa caso as deficiências apresentadas sejam de ordem tal que a sua limpeza se torne inviável.

7.3.2.3 | LIMPEZA DE COLONIZAÇÕES BIOLÓGICAS OU VEGETAÇÃO PARASITA

Com vista a eliminar as colonizações biológicas ou vegetação parasita das estruturas em estudo e evitar o seu posterior desenvolvimento, são geralmente usados:

- **Biocidas:** Normalmente usados para a limpeza e retardamento do crescimento de algas, fungos e bactérias. Os biocidas mais utilizados são os de cloro, cobre, soluções de amónia quaternária ou borato, devendo ser aplicados em tempo seco e em superfícies secas. Previamente à sua aplicação, os organismos de maiores dimensões devem ser removidos com escovas macias²²⁸. No caso de bolores em alvenarias de tijolo cerâmico, estes devem ser eliminados mediante a realização de uma lavagem esterilizante com uma solução de hipoclorito de sódio a 5% (lixívia) e ser passado várias vezes com água limpa a fim de remover todo o hipoclorito que irá conferir características de alcalinidade ao suporte. Passadas 24h, tempo mínimo necessário para que actuem os elementos activos da solução, proceder à escovagem de toda a superfície, após a qual se deve fazer a aplicação de um produto biocida o qual deve ser extraído cerca de três dias depois através de escovagem. Devido ao seu PH, os biocidas podem alterar quimicamente os materiais constituintes, favorecendo a dissolução de alguns minerais no caso das pedras e contribuindo para o início de processos de degradação.
- **Herbicidas:** Utilizados na limpeza e remoção de plantas superiores e inferiores, devem ser adequados ao tipo de infestante existente (mais ou menos resistente) e não atacar o substrato. A sua utilização é na maioria das vezes precedida da remoção prévia por meios mecânicos suaves. Dos herbicidas mais utilizados destacam-se a clorotriazina e a metoxitriazina.



Figura 249 - Utilização de pastas para dessalinização de paramento de parede de pedra
[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

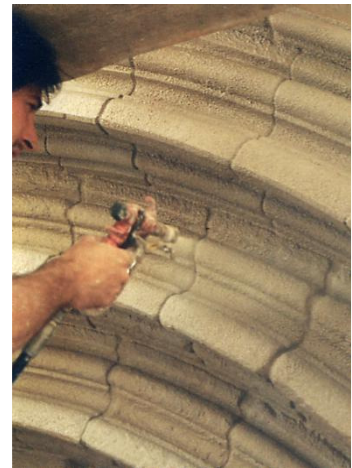


Figura 250 - Aplicação de uma solução biocida em elementos de cantaria
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

²²⁸ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004a), p.84.

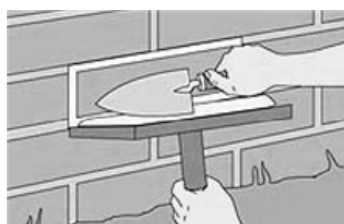


Figura 251 - Tratamento de juntas
[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]

7.3.3 | REPARAÇÃO NÃO ESTRUTURAL EM ELEMENTOS DE ALVENARIA

7.3.3.1 | TRATAMENTO DE JUNTAS

Em alvenarias de pedra ou tijolo, todas as juntas entre elementos que se encontrem abertas ou em processo de desagregação deverão ser tratadas.

O tratamento de juntas compreende as seguintes acções²²⁹:

- i) **Saneamento da junta:** Através da remoção de todos os materiais não funcionais com recurso a micro-martelos pneumáticos ou ferramentas manuais. Quando as argamassas interiores ainda se encontram funcionais são mantidas e rebaixadas.
- ii) **Limpeza e humedificação da junta:** Limpeza das juntas abertas com ar comprimido e escovas macias removendo todas os materiais estranhos e poeiras. Humedificação das juntas com esponja.
- iii) **Enchimento parcial dos vazios existentes:** Com argamassas apropriadas, devendo estas ser o mais semelhantes possível às argamassas de assentamento²³⁰. O enchimento é geralmente executado com uma colher para juntas.
- iv) **Refechamento superficial e acabamentos:** Estucagem de refechamento final, com acabamento liso, ligeiramente abaixo d nível, apresentando os bordos limpos e sem sobreposições à alvenaria.

7.3.4 | TRATAMENTO DE REVESTIMENTOS

7.3.4.1 | COLMATAÇÃO DE FISSURAS E FENDAS

Considerando fissuras ou de fendas de carácter não estrutural, a sua ocorrência pode dar-se nos revestimentos e acabamentos quando estes existem.

No caso da fendilhação de argamassas de reboco ou acabamento, quando a fendilhação não tem origem no suporte, e não é generalizada, a colmatação de fissuras e fendas poderá fazer-se através da sua simples selagem não obrigando à remoção do revestimento.

²²⁹ Veja-se: Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004a), p.100; Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob. cit.*, (2004b), pp.80-81; Branco, Fernando; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2010), pp.156-160.

²³⁰ Veja-se ponto 4.3.1.4.

A selagem simples de fendas envolve as seguintes actividades:

- i) **Avivamento das fendas:** Através de objecto pontiagudo.
- ii) **Limpeza das fendas:** Através de escovagem superficial da zona de selagem a que se segue uma limpeza com jacto de ar comprimido, removendo o material desagregado, sujidades e poeiras.
- iii) **Selagem:** Com argamassa de selagem de composição semelhante ou compatível à do material existente, tendo o agregado a dimensão adequada à espessura a preencher. Esta poderá ter como ligante a cal e como agregados pó de carbonato de cálcio, pó de mármore, sílica, ou outros. Sendo isenta de cloretos e de pó de alumínio, deve apresentar baixa retracção, presa rápida e elevada aderência à superfície.
- iv) **Acabamentos:** Limpeza da argamassa de selagem em excesso.



Figura 252 - Humidade em estuques de gesso, Igreja do Convento do Sacramento, século XVII-XIX

[Veiga, M. Rosário (2010)]

7.3.4.2 | COLMATAÇÃO DE LACUNAS LOCALIZADAS

No caso dos revestimentos, o preenchimento de lacunas poderá ser realizado apenas nas últimas camadas ou em profundidade na totalidade das camadas de uma determinada zona pontual.

Esta reparação deve ser realizada com argamassas o mais possível semelhantes às existentes, sendo as de cal aérea as que em geral apresentam melhores resultados. Estas podem ser fabricadas utilizando somente a cal como ligante, e utilizando como agregados outros minerais (pó de carbonato de cálcio, pó de mármore, sílica, ou outros)²³¹.

A aplicação deve ser realizada pelos métodos tradicionais, seguindo a constituição por camadas original, devendo os trabalhos ser executados por pessoal especializado, dispondo de formação e treino adequados.

Dado que os procedimentos para a reparação de rebocos serão semelhantes aos adoptados para a sua substituição, para mais detalhes ver ponto 7.3.4.5.

7.3.4.3 | CONSOLIDAÇÃO

Por consolidação entende-se a aplicação de um material que ao penetrar em profundidade, restitui a coesão entre as partículas do

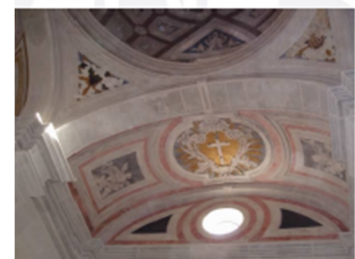
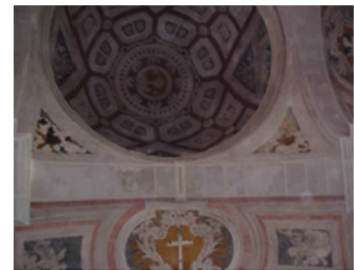


Figura 253 - Restauro com materiais idênticos, Igreja do Convento do Sacramento, século XVII-XIX

[Veiga, M. Rosário (2010)]

²³¹ Veja-se ponto 4.3.1.4.

material desintegrado bem como as suas características mecânicas. Quando o consolidante apresenta ainda características hidrófobas ele é também considerado um protector.

De forma simplificada, e de acordo com a sua constituição, podemos distinguir dois tipos de consolidantes: de base orgânica ou de base inorgânica.

Usados tanto em revestimentos como em alvenarias de pedra ou de tijolo, a classificação e caracterização dos produtos consolidantes, bem como a sua especificação, é apresentada no ponto 7.4.2. com mais detalhe. Verificando-se a possibilidade de utilização do mesmo produto em diferentes materiais, a sua escolha dependerá das propriedades do material a tratar, dos objectivos de cada tratamento e das exigências de cada situação.

a) Consolidantes orgânicos²³²

No caso de revestimentos, os consolidantes orgânicos usados são normalmente constituídos por resinas acrílicas, vinílicas, epóxicas ou poliésteres.

Como principais vantagens, estes apresentam maior facilidade de aplicação, maior flexibilidade e maior capacidade adesiva.

Como desvantagens, apresentam-se menos compatíveis com os materiais a tratar que os consolidantes inorgânicos, podem conduzir a alterações químicas e físicas das superfícies. A sua aplicação é quase irreversível, apresentando uma durabilidade relativamente baixa dada a sua instabilidade química, e à sua sensibilidade à acção dos agentes atmosféricos.

b) Consolidantes inorgânicos²³³

De base mineral ou silico-orgânica, os produtos consolidantes inorgânicos mais conhecidos são o hidróxido de cálcio (água de cal) e de bário, o bicarbonato de cálcio, o silicato de potássio, os silicatos de etilo e os siloxanos ou silicones (considerados por alguns autores como consolidantes orgânicos dada a sua base²³⁴).

Estes apresentam como vantagens relativamente aos orgânicos a sua grande afinidade química e física com os materiais originais

²³² Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha (2005) – *Uma metodologia de estudo para a conservação de rebocos antigos - o restauro através da técnica de consolidação*; VI Seminário Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Florianópolis.

²³³ *Idem.*

²³⁴ Veja-se ponto 7.4.2.1.

não alterando as propriedades hidrófilas destes, apresentando-se bastante resistentes à acção dos agentes agressivos. No caso particular dos consolidantes de base silico-orgânica, com excepção dos silicatos de etilo, estes permitem ainda a reversibilidade da aplicação, não originam produtos secundários e têm uma influência mínima sobre a cor e o brilho dos materiais.

Como desvantagens, os produtos inorgânicos de base mineral têm aplicação irreversível com possibilidade de formação de produtos secundários como sais solúveis que poderão precipitar em eflorescências.

De entre os consolidantes inorgânicos hoje disponíveis no mercado, é o hidróxido de cálcio o produto mais compatível com as argamassas de cal presentes nos revestimentos tradicionais, apresentando no entanto fraca solubilidade à água, exigindo um maior número de aplicações para ser eficaz.

A aplicação destes produtos pode fazer-se através de pincelamento, pulverização ou injeção, sendo a impregnação por capilaridade e imersão reservada para ensaios de laboratório.

Após a escolha do consolidante, os trabalhos apenas poderão ser executados por pessoal especializado, dispendo de equipamento e de tecnologia adequada e segundo as especificações de projecto e do fornecedor.

7.3.4.4 | RESTITUIÇÃO DA ADERÊNCIA

No caso dos revestimentos a restituição da aderência é geralmente realizada por injeção de caldas (*grouts*) de modo a que os vazios entre camadas de revestimento, ou entre o revestimento e as alvenarias, fiquem preenchidos e ligados entre si.

Deste modo, deverão ser usadas caldas com baixa viscosidade, flexíveis, e com capacidade de endurecimento. De modo análogo ao especificado para a substituição de revestimentos, estas caldas deverão ser tanto quanto possível semelhantes na sua constituição às argamassas originais existentes. Argamassas de cal aérea, com adições de pozolanas, ou pequenas adições de cal hidráulica são soluções correntemente usadas²³⁵.

²³⁵ Veiga, M. Rosário (2007a) – *Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Métodos e materiais (TPI58)*, LNEC, Lisboa, p.75.



Figura 254 - Revestimento muito degradado cuja reparação e consolidação é inviável

[Foto LEB]

7.3.4.5 | SUBSTITUIÇÃO PARCIAL OU TOTAL DE REVESTIMENTOS

Quando os materiais ou elementos apresentem deficiências de ordem tal que a sua reparação e consolidação se torne inviável, pode ser necessário substituí-los em parte ou na sua totalidade dependendo da extensão das anomalias e natureza do elemento afectado.

No caso dos rebocos, por vezes basta substituir a última camada mais deteriorada ou a totalidade das camadas em profundidade de uma determinada zona submetida a uma acção deteriorante localizada pontualmente. Nos casos em que as anomalias são generalizadas a toda a superfície, impõe-se a substituição total²³⁶.

Em qualquer um destes casos é de extrema importância que os materiais de substituição sejam adequados e compatíveis, de modo a não correr o risco de acelerar os processos de degradação. A escolha dos materiais a utilizar na realização de revestimentos de substituição prende-se com questões de compatibilidade, exigindo-se que o comportamento futuro do conjunto dos materiais pré-existente e novos seja adequado.

Devem obedecer-se aos seguintes princípios básicos na formulação e escolha das argamassas de substituição:²³⁷

- as características mecânicas (resistência, rigidez) devem ser semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte;
- a aderência do revestimento ao suporte deve ser inferior à coesão do suporte;
- a tensão desenvolvida por retracção restringida deve ser inferior à resistência à tracção do suporte;

²³⁶ Veiga, M. Rosário *et al.* (2001) – *Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings. International Seminar Historical Constructions 2001*. Universidade do Minho, Guimarães e ainda Veiga, M. Rosário; Carvalho, Fernanda (2002) – *Argamassas de reboco para edifícios antigos. Requisitos e características a respeitar. Cadernos de Edifícios, nº 2*. LNEC, Lisboa.

²³⁷ Veja-se Veiga, M. Rosário; Aguiar, José (2003) – *Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos*. Proceedings do 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. Para infoeação complementar sobre requisitos das argamassas de reboco de edifícios antigos ver Veiga, M. Rosário (2003) – *As Argamassas na Conservação*. In Actas das 1ªs Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes, Aveiro, 26 de Novembro de 2003. Colecção Comunicações, COM 103, LNEC, Lisboa.

- a capilaridade, a permeabilidade ao vapor de água e a facilidade de secagem devem ser semelhantes às argamassas originais e superiores às do suporte;
- devem adequar-se ao papel funcional e estético das argamassas que substituem;
- devem possuir durabilidade semelhante e envelhecerem de forma similar às argamassas que substituem e não devem provocar halos ou alterações de cor em revestimentos adjacentes preservados.

Na sequência dos estudos desenvolvidos nos últimos anos, verifica-se que, de entre a diversidade de argamassas de substituição hoje disponíveis, são as de cal aérea as que apresentam melhores resultados. De composição mais próxima à das argamassas originais geralmente usadas em edifícios antigos as argamassas de cal aérea asseguram uma maior compatibilidade estética e físico-química com o suporte.²³⁸

Estas podem ser fabricadas utilizando a cal como único ligante, aditivada com pozolanas, pó de tijolo, cal dolomítica e adições diversas. Nos casos em que se pretendam melhorar as características mecânicas das argamassas de cal, poderão ser utilizadas areias com granulometria estudada de forma a obter melhor compacidade.²³⁹

O uso de argamassas de cimento ou de cals fortemente hidráulicas é desaconselhado dado que se consideram como incompatíveis com os suportes antigos. Por conterem na sua composição elevados teores de álcalis, dão origem a sais solúveis com todos os inconvenientes associados. Para além desta desvantagem, têm uma rigidez e resistência excessiva, fraca permeabilidade e um aspecto final muito diferente das argamassas originais geralmente presentes nas construções em estudo.

Apesar da sua dificuldade e morosidade, nos casos em que se justifique, devido ao valor patrimonial do edifício em geral e dos rebocos em particular, o método ideal de selecção de uma argamassa será um processo iterativo que se repetirá (em etapas sucessivas) até que se atinja uma semelhança razoável das características fundamentais e um comportamento adequado entre a nova argamassa e a existente. Cada etapa deste processo envolve à



Figura 255 - Aplicação em obra de argamassa de cal
[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]



Figura 256 - Regularização e aperto de argamassa de cal e acabamento a talocha
[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

²³⁸ As composições tradicionais geralmente utilizadas em argamassas de reboco são as apresentadas no ponto 4.3.1.4 (*Argamassas*).

²³⁹ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos de, *ob.cit.*, (2006).



Figura 257 - Painéis experimentais para definição de revestimento a utilizar em intervenção de reabilitação

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

partida: o estudo e caracterização da argamassa existente; a reprodução da sua aplicação segundo as técnicas tradicionais; a realização de ensaios verificação dos requisitos mínimos e da semelhança de características com a original; a correcção da formulação e/ou aplicação.²⁴⁰

Nos edifícios de menor interesse monumental e histórico, geralmente é preparada uma argamassa tradicional de cal aérea com agregados similares aos da argamassa existente (preferencialmente locais) e de composição semelhante à de argamassas já testadas em edifícios do mesmo tipo e época. Previamente à sua aplicação em obra segundo as técnicas tradicionais, devem ser realizados painéis experimentais de ensaio para a verificação dos requisitos mínimos e, nos casos em que seja necessário, a formulação experimentada deve ser corrigida.²⁴¹

As técnicas de preparação e aplicação das argamassas, incluindo a aplicação em multicamada²⁴² e as próprias condições de cura são decisivas para o correcto desempenho e durabilidade dos revestimentos, deste modo as tecnologias empregues deverão ser o mais possível fiéis às originais.

No que respeita aos acabamentos, aplicados sobre as camadas de reboco anteriores, estes devem ser semelhantes aos existentes, sendo na generalidade dos casos constituídos por barramentos ou guarnecimentos de massas finas de pasta de cal ou de pasta de cal com agregados muito finos de areia de estuque, pó de pedra, pó de mármore.

Quando existirem elementos decorativos em relevo, a sua recuperação deverá ser efectuada em oficina, sendo posteriormente colados com gesso-cola. No caso de trabalhos de pintura ou ornamentação sobre estuques, qualquer intervenção levada a cabo deve ser realizada por técnicos de restauro especializados.

É de extrema importância que em projecto sejam especificados quer as características e requisitos mínimos das argamassas a utilizar, quer as técnicas detalhadas para a sua aplicação, devendo o pessoal

²⁴⁰ Veiga, M. Rosário, *ob.cit.*, (2003).

²⁴¹ Veiga, M. Rosário (2003); *As Argamassas na Conservação*. In Actas das 1^{as} Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes, Aveiro, 26 de Novembro de 2003. Coleção Comunicações, COM 103, LNEC, Lisboa, 2003

²⁴² Para mais detalhe sobre aplicação multicamada veja-se ponto 4.3.1.4.

envolvido na execução dos trabalhos ter formação e treino adequados.

7.3.5 | PROTECÇÃO DAS ESTRUTURAS CONTRA AGENTES AGRESSIVOS

7.3.5.1 | CONSERVAÇÃO DE REVESTIMENTOS EXISTENTES

O objectivo de qualquer sistema de protecção será o de diminuir a probabilidade de ocorrência de processos de deterioração e o de reduzir a velocidade de manifestação dos mesmos²⁴³.

Deste modo, os revestimentos, quando existem, assumem grande importância na conservação patrimonial, pois protegem a alvenaria contra acções climáticas, choques mecânicos, contaminação ambiental e outras²⁴⁴, pelo que, importa fundamentalmente mantê-los como principais sistemas protectores.

Em geral devem considerar-se para além da eliminação da causa das anomalias e das acções de limpeza todas operações indicadas no ponto 7.3.4 que permitam a sua manutenção, reparação pontual, consolidação e substituição quando necessário.

7.3.5.2 | HIDROFUGAÇÃO

Tanto em alvenarias de tijolo, como de pedra natural ou em rebocos, a forma mais simples e económica de impermeabilizar superfícies consiste na aplicação de um líquido hidrófugo. Conferindo aos materiais propriedades hidrófobas, estes produtos formam uma película transparente e incolor que impede a penetração da água por capilaridade mas deverá permitir a difusão do vapor²⁴⁵.

À semelhança dos consolidantes, um produto de protecção deve possuir boa capacidade de transferência de humidade sendo impermeável à água líquida e permeável ao vapor de água, ser compatível química e fisicamente com o suporte, estável perante agentes químicos e atmosféricos agressivos particularmente os poluentes e não deve alterar o aspecto estético dos materiais a proteger. Para além destas características deve permitir tanto quanto

²⁴³ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob.cit.*, (2006), pp. 153-154.

²⁴⁴ Para além de condicionarem o aspecto final das construções está provado que os rebocos podem ainda reforçar a resistência mecânica de alvenarias e contribuir para o bom funcionamento global destas, sendo totalmente compatíveis relativamente aos materiais e às soluções construtivas. Veja-se Veiga, M. Rosário; Aguiar, José, *ob.cit.*, (2003), p.2.

²⁴⁵ Veja-se ponto 7.4.2.1.



Figura 258 - Efeito da aplicação de um líquido hidrófugo
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]

possível a reversibilidade das aplicações bem como a sua remoção quando a acção de protecção cessar.

Difícilmente um produto por si só apresenta a totalidade das características acima definidas. Se existem produtos hidrófobos capazes de manter o aspecto original, tais como os silico-orgânicos, é igualmente difícil evitar a variação de cor e brilho após a aplicação de produtos orgânicos, muitas vezes com propriedades de protecção mais adequadas no caso específico a tratar.

Dos produtos geralmente utilizados para a hidrofugação de alvenarias ou rebocos em edifícios antigos destacam-se os acrílicos e os siloxanos.

A sua aplicação deve seguir o seguinte procedimento:

- i) **Limpeza das superfícies:** Que deverão estar isentas de sujidades e fissuras.
- ii) **Aplicação da primeira camada:** A pincel ou pistola de baixa pressão.
- iii) **Aplicação de segunda camada:** Decorridas 48h da primeira aplicação e caso se verifiquem resultados satisfatórios.

Deve ainda ter-se em atenção que o período de vida útil dos produtos de protecção é em média de cinco anos. Deste modo será essencial a sua renovação periódica, bem como a minimização das acções agressivas e a monitorização das condições ambientais futuras a que os materiais vão estar sujeitos.

7.3.5.3 | PINTURAS PROTECTORAS

Dependendo da sua composição, para além das funções estéticas que desempenha, a pintura actua como camada protectora que passa a fazer parte integrante das superfícies influenciando o desempenho das construções.

Como foi já amplamente descrito ao longo do presente texto, nas construções arqueadas existentes verifica-se que a caiação simples ou com adição de pigmentos é por excelência a solução mais usada apresentando os melhores resultados em termos de compatibilidade, durabilidade e aspecto estético.

Apesar de ser um dos materiais que mais respeita as características do substrato e dos materiais pré-existentes, nos casos em que não é assegurada uma manutenção regular, a sua resistência à acção da água é susceptível de diminuir de forma bastante acelerada. Devido a esse facto, as características de resistência e consequente

durabilidade e protecção da cal podem hoje em dia ser melhoradas. Através do recurso a aditivos e adjuvantes, a sua capacidade de fixação ao suporte é aumentada, assim como a sua plasticidade e resistência à acção da água. Estes produtos podem ser mais ou menos sofisticados, variando entre os adjuvantes naturais, os silicatos, siloxanos e os acrílicos.

Para além do uso tradicional da cal, as tintas de silicatos, de base aquosa, aditivadas com uma pequena quantidade de resina acrílica²⁴⁶ (consolidante orgânico) constituem-se como uma opção adicional. Estas permitem uma maior coesão e poder de aderência, o que se traduz numa maior resistência às acções climáticas e durabilidade. Para além destas características, apresentam um efeito estético aproximado ao da caição simples, porém uma cor mais uniforme e não transparente como no caso da cal²⁴⁷.

Outra solução é a aplicação de tintas que têm como principais constituintes água, cal, siloxanos, um ligante orgânico de natureza polimérica em pequena quantidade²⁴⁸ e finalmente cargas e pigmentos nos casos em que seja utilizada a cor. Além da função estética desempenhada, a pintura com estas tintas, permite a hidrofugação das superfícies, reforçando o seu poder protector.

Em qualquer dos casos e independentemente do produto aplicado, é necessário ter em conta o valor histórico e arquitectónico do objecto a intervir, sendo a solução escolhida numa base de custo/benefício face às características físicas e estéticas do património que se pretende proteger.

7.4 | TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO E CONSERVAÇÃO ESTRUTURAL

7.4.1 | REPARAÇÃO ESTRUTURAL EM ELEMENTOS DE ALVENARIA

7.4.1.1 | TRATAMENTO DE FENDAS E FRACTURAS

Para uma correcta reparação, e de modo a considerar todos os factores que possam conduzir à escolha da melhor solução, quando se verifica a fendilhação de construções arqueadas de alvenaria estrutural devem identificar-se: o tipo de fendas existentes, a sua abertura, o seu grau de estabilização e a sua causa.

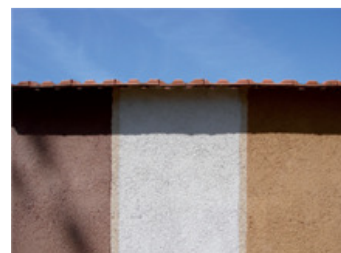


Figura 259 - Aplicações de pinturas de silicatos em murete de alvenaria rebocada [Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

²⁴⁶ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob.cit.*, (2006), pp. 691-694.

²⁴⁷ *Idem.*

²⁴⁸ A adição de polímeros deverá estar de acordo com a Norma DIN 18363 e não deve ser superior a 5% a fim de manter o carácter inorgânico da tinta.

Após a identificação e eliminação da causa que originou a fendilhação (sempre que tal for possível), o tratamento de fissuras ou fendas poderá ser realizado através das seguintes técnicas:

- **Selagem simples:** Em fissuras ou fendas estabilizadas com largura inferior a 0,5mm.
- **Selagem e injeção:** Em fendas estabilizadas com largura superior a 0,5mm.
- **Reparação com introdução de ligações mecânicas:** Em fendas não estabilizadas.

Como materiais de selagem e injeção, dependendo da abertura da fenda a tratar, podem ser aplicados os seguintes produtos:

- **Produtos de Selagem:** No caso de fissuras ou fendas com abertura submilimétrica ou até 3 mm, a selagem pode ser realizada com argamassas ou resinas sintéticas e mástiques de poliuretano. Para fendas com aberturas superiores, para além destes produtos poderão ainda ser usadas argamassas compatíveis com os materiais existentes, constituídas à base de cal e agregados de dimensão adequada à espessura a preencher. Estas deverão ser isentas de elementos cimentícios, cloretos e pó de alumínio, apresentando baixa retracção, presa rápida e elevada aderência à superfície.
- **Produtos de Injeção:** Para a injeção, à semelhança dos produtos de selagem, em fendas com abertura submilimétrica ou até 3 mm poderão ser usadas resinas sintéticas, as únicas suficientemente fluídas para penetrar em profundidade em aberturas de dimensão tão reduzida. A partir de 3 mm, a utilização de caldas de injeção o mais semelhantes possível com os materiais existentes passa a ser possível, permitindo uma maior compatibilidade entre materiais. Nestes casos poderão utilizar-se caldas à base de cal, isentas de elementos cimentícios. Na sua composição não deverão entrar agregados que prejudiquem o seu poder de penetração ou injeção.

Quando as alvenarias se encontram revestidas com argamassas de reboco ou acabamento, o revestimento deverá ser alvo de remoção para ambos os lados da fenda antes de se dar início ao processo ao tratamento. Esta remoção será realizada numa largura de 10cm no caso de selagens simples e injeções ou, de 20 cm no caso de se introduzirem ligações mecânicas. Nestas situações, após o tratamento das fendas deverá proceder-se à reposição dos

revestimentos com produtos compatíveis semelhantes aos pré-existentes.

Acrescenta-se ainda que todos os trabalhos de selagem, injeção e reparação de fendas e fracturas, com ou sem a introdução de ligações mecânicas, apenas poderão ser executados por pessoal especializado dispendo de equipamento e de tecnologia adequada.

Nos pontos seguintes serão descritas as principais técnicas utilizadas no tratamento de fissuras ou fendas: a selagem simples; a selagem e injeção; e a reparação com introdução de ligações mecânicas.

a) Selagem:

A selagem de fendas envolve as seguintes actividades²⁴⁹:

- i) **Avivamento das fendas:** Em “V” com 10 mm de profundidade, através de objecto pontiagudo.
- ii) **Limpeza das fendas:** Através de escovagem superficial da zona de selagem a que se segue uma limpeza com jacto de ar comprimido, removendo o material desagregado, sujidades e poeiras.
- iii) **Selagem:** Com argamassas de selagem compatíveis conforme indicado acima.
- iv) **Acabamentos:** Limpeza da argamassa de selagem em excesso. Reposição dos revestimentos com produtos compatíveis nos casos em que tal for necessário.

b) Selagem e injeção

A selagem e injeção de fendas envolve as seguintes actividades²⁵⁰:

- i) **Abertura de furos:** Ao longo da extensão da fenda deverá proceder-se à abertura de furos de 10 ou 12 mm de diâmetro, com uma profundidade de 3 cm, com o auxílio de um berbequim.
- ii) **Limpeza das fendas:** A superfície das paredes ao longo da extensão da fenda, numa largura de cerca de 5 cm para ambos os lados desta, deverá ser limpa de todas e quaisquer impurezas, removendo-se o material desagregado sujidades e poeiras.

²⁴⁹ LEB (2010b) – *Convento das Maltezas, Santa Casa da Misericórdia de Estremoz, Conservação e Consolidação Estrutural do Claustro: Projecto de Estabilidade - Especificações Técnicas*, Cascais.

²⁵⁰ *Idem*.

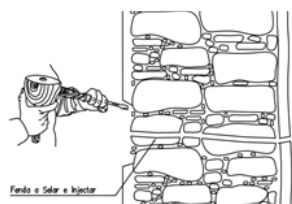


Figura 260 - Remoção de revestimento junto da fenda existente
[LEB (2011b)]

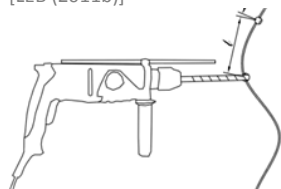


Figura 261 - Abertura de furos para tubos de injeção
[LEB (2011b)]

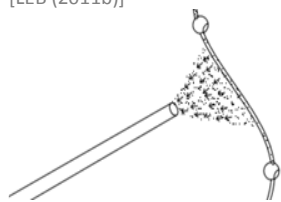


Figura 262 - Limpeza de fendas com jacto de ar e aspiração
[LEB (2011b)]

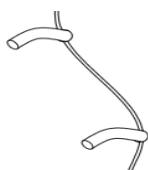


Figura 263 - Colocação de tubos de injeção e purga
[LEB (2011b)]

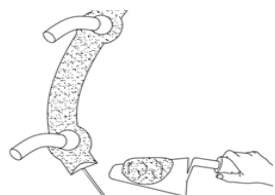


Figura 264 - Selagem superficial da fenda
[LEB (2011b)]

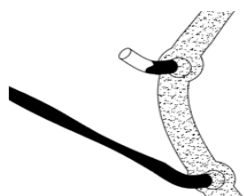


Figura 265 - Injeção da fenda
[LEB (2011b)]

iii) **Colocação dos tubos de injeção e purga:** Os tubos de injeção e purga deverão ser constituídos, em geral, por tubos em plástico transparente e introduzidos nos furos previamente executados.

iv) **Selagem superficial da fenda:** O contorno da fenda deverá ser selado com a argamassa de selagem de modo a que a calda injectada, enquanto líquida, não escorra para fora devendo ainda fixar os tubos de injeção e purga.

v) **Injeção:** A injeção será executada após ter-se verificado o endurecimento da argamassa de selagem. Esta será realizada resinas ou caldas de injeção compatíveis conforme indicado acima. A injeção deverá ser realizada em cada abertura sob pressão controlada até que a calda surja na abertura seguinte. A primeira abertura deverá ser então selada, e a injeção recomeçada na abertura seguinte.

vi) **Acabamentos:** Após a conclusão da injeção e controlo da qualidade dos trabalhos executados, deverão ser removidos os materiais de selagem, os tubos e algum excesso de material de injeção. Reposição dos revestimentos com produtos compatíveis nos casos em que tal for necessário.

c) **Reparação com introdução de ligações mecânicas:**

Nos casos em as fendas não se apresentam estabilizadas ou quando a selagem e injeção não se revelam eficazes devido à dimensão da abertura ou à diferente rigidez existente entre os materiais originais e de tratamento, opta-se pela sua reparação com introdução de ligações mecânicas.

À estabilização de fendas ou fracturas com introdução de ligações mecânicas, dá-se usualmente o nome de “costura”. Dependendo da extensão, abertura e gravidade da fenda as ligações mecânicas podem incluir os seguintes materiais ou sistemas:

- **Armadura em “ponte”:** Soluções de reparação com recurso a um reboco armado (malha metálica, de plástico ou de fibra de vidro) como armadura em “ponte” sobre a fissura. Este tipo de reparação envolve as seguintes acções:

- i) **Selagem e injeção da fenda:** Conforme descrito acima.
- ii) **Colocação de fita de dessolidarização:** Em papel kraft com 2 a 4 cm de largura sobre a fissura.
- iii) **Reparação do reboco:** Com colocação da rede de fibra de vidro (ou outra) centrada sobre a fenda numa largura total

de cerca de 40 a 50 cm fenda e aplicação de com argamassa compatível após humedificação do suporte.

- **Incorporação de elementos metálicos:** Se for necessária a estabilização da fissura devido a condições de segurança estrutural, ou quando o principal objectivo é o de repor o monolitismo da estrutura fendida ou fracturada poderá recorrer-se à introdução de elementos metálicos que “cosem” a fenda e previnem o seu agravamento.

Estes elementos metálicos deverão ser de aço inoxidável podendo assumir os seguintes formatos:

- Gatos metálicos ou grampos, com comprimento inferior a 50 cm, posicionados transversalmente à fenda, a uma profundidade de 10 cm.
- Micro-pregagens, com inclinação aproximadamente a 45º em relação à fenda, penetrando em profundidade na espessura da alvenaria.

Este tipo de reparação envolve as seguintes acções:

- i) **Abertura de roços e/ou furos:** Ao longo da extensão da fenda deverá proceder-se à abertura de roços e/ou furos regularmente espaçados, para o encaixe dos elementos de metálicos de costura.
 - ii) **Limpeza dos roços e/ou furos:** Limpeza com jacto de ar comprimido, removendo o material desagregado, sujidades e poeiras.
 - iii) **Montagem dos elementos metálicos**
 - iv) **Injecção dos elementos metálicos:** A injecção dos elementos metálicos será executada com recuso a selagem dos mesmos e auxílio de tubos de injecção e purga. O material de injecção poderá ser constituído por resinas ou caldas de injecção compatíveis conforme indicado acima.
 - v) **Selagem e injecção da fenda:** Conforme descrito acima.
 - vi) **Acabamentos:** Após a conclusão do tratamento da fenda ou fractura, deverá ser realizada a reposição dos revestimentos com produtos compatíveis nos casos em que tal for necessário.
- **Incorporação de faixas de FRP²⁵¹:** para além dos elementos de aço inox geralmente utilizados, podem ainda reforçar-se a zonas



Figura 266 – Colocação da “armadura em ponte” sobre a fissura

[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

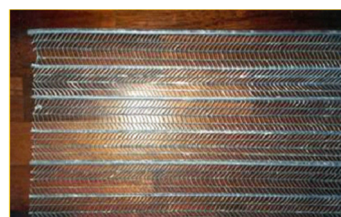


Figura 267 – Malha metálica

[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

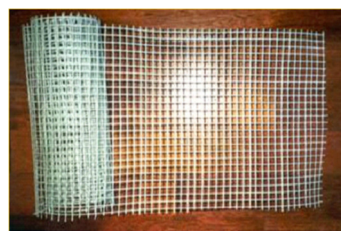


Figura 268 – Malha de fibra de vidro

[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

²⁵¹ Fibre-reinforced-polymer, com a abreviatura de FRP, este é um material compósito, constituído por uma matriz polimérica reforçada com fibras de vidro,

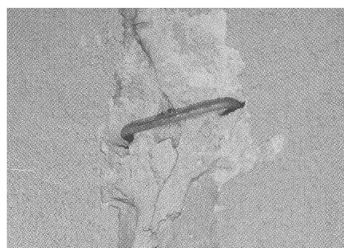


Figura 269 – Grampo metálico aplicado em reparação de fenda [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]

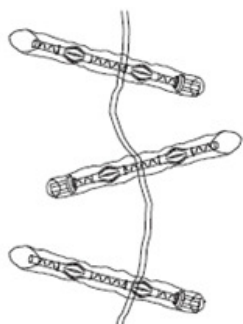


Figura 270 – Micropregagens aplicadas em reparação de fenda [Cóias, Vítor (2007)]

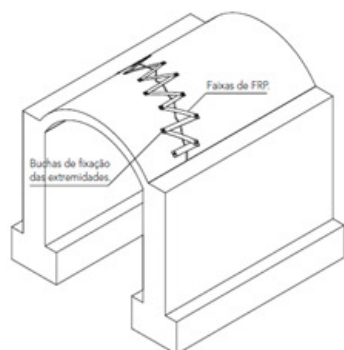


Figura 271 e 272 – Faixas de FRP aplicadas em reparação de fenda [Cóias, Vítor (2007)]

fendidas ou fracturadas através da colagem de faixas de material compósito. O gateamento com faixas FRP envolve geralmente as seguintes acções:

- i) **Selagem e injeção da fenda:** Conforme descrito acima.
- ii) **Limpeza das superfícies:** Limpeza com jacto de ar comprimido das superfícies de colagem em torno da fenda ou fractura, removendo o material desagregado, sujidades e poeiras.
- iii) **Colagem das faixas de FRP:** Com utilização de resinas epóxicas ou compatíveis, após a preparação do substrato.
- iv) **Acabamentos:** Após a conclusão do tratamento da fenda ou fractura, deverá ser realizada a reposição dos revestimentos com produtos compatíveis nos casos em que tal for necessário.

7.4.1.2 | COLMATAÇÃO DE LACUNAS

Como lacunas, entendem-se tanto os pequenos vazios superficiais encontrados pontualmente nos tijolos cerâmicos ou nas aduelas de pedra, como os vazios de maiores dimensões resultantes de destacamentos, desagregação, deterioração mecânica ou outras.

Num ou noutro caso, tendo ou não implicações estruturais, a correcção deste tipo de anomalia deverá ser realizada por complementação, realizando-se a reconstituição da secção, com adição do mesmo material ou de materiais idênticos.

De aplicação geralmente manual, nas alvenarias de pedra ou tijolo poderão usar-se as seguintes técnicas de complementação:

- **Preenchimento:** com pastas artificiais apropriadas (em alvenarias de pedra).
- **Fixação:** de fragmentos originais (em alvenarias de pedra ou tijolo).

carbono, ou aramida. Na matriz são usualmente usadas as resinas epóxicas, poliéster ou éster vinílico de plástico termoendurecível e fenol-formaldeído.

a) Preenchimento com pastas artificiais apropriadas:

Caso a reposição dos volumes em falta seja feita com pastas pétreas artificiais, estas poderão também selar fissuras pouco profundas ou corrigir descontinuidades na superfície da pedra.

Orgânicas ou inorgânicas, as argamassas ou pastas de reparação usadas podem ser pré-doseadas ou produzidas *in situ*. Estas pastas são normalmente constituídas por um ligante e um agregado em pó (sílica, pó de pedra, pó de vidro ou lava basáltica), podendo ser adicionados pigmentos para obtenção da cor pretendida²⁵².

Como ligantes, no caso de lesões superficiais, são aconselhadas as resinas acrílicas²⁵³ permitindo obter pastas com boa aderência, porosidade e elasticidade. Podem ainda usar-se argamassas tradicionais de cal aérea, isentas de produtos cimentícios ou caldas de silicato de potássio ou sódio.

Seja qual for o tipo de material de complementação escolhido, devem usar-se argamassas com muito reduzida ou mesmo nula retracção, de modo a assegurar um contacto contínuo entre os elementos adicionados e os originais, garantindo um comportamento conjunto. Devem ainda possuir permeabilidade ao vapor de água, um desenvolvimento das resistências mecânicas lento e gradual, módulos de elasticidade baixos, adequar-se esteticamente aos materiais que substituem e possuir durabilidade e envelhecimento semelhante aos materiais originais.

A superfície receptora da pasta deverá ser picada e limpa de quaisquer sujidades ou impurezas, de forma a criar entalhes que servirão para encaixar os novos materiais de preenchimento, não se permitindo a gradual redução de espessura até zero. As espessuras mínimas de preenchimento serão de 2 a 3 cm.

Nos casos em que se verifique necessário, para lacunas de grandes dimensões, poderão ser utilizados varões de aço inoxidável embebidos no suporte (selados e injectados com resina epóxida ou calda de injeção compatível), de forma a reforçar a ligação entre o material existente e o novo material de complementação.

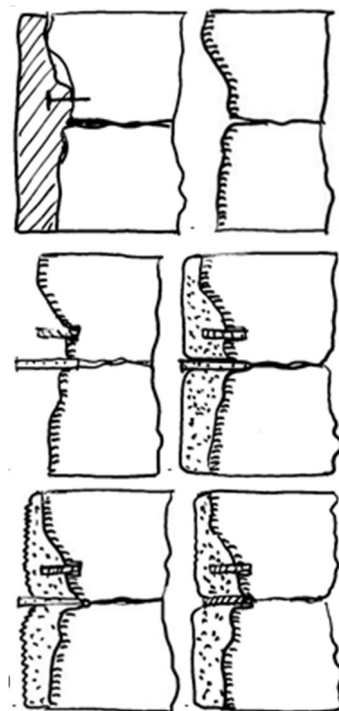


Figura 273 – Reposição de volumes em falta com “pedra artificial”. De cima para baixo: saneamento e humedecimento; selagem da junta e colocação de argamassa; tratamento da superfície e refechamento [Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

²⁵² Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 109-114.

²⁵³ Apesar de muito usadas devido ao seu poder de colagem, as resinas epóxidas apresentam alguma instabilidade degradando-se com os agentes atmosféricos, em particular o oxigénio, radiação UV e soluções ácidas ou alcalinas, sendo a sua utilização aconselhada para tratamento de zonas mais profundas, logo, mais protegidas.



Figura 274 – Fixação de elementos destacados com argamassas
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]



Figura 275 – Fixação de elementos destacados com varões roscados
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

b) Fixação de fragmentos originais

De pedra natural, artificial ou tijolo cerâmico, o preenchimento de lacunas pode ser realizado através da colagem ou da fixação mecânica de fragmentos destes materiais destacados ou eventualmente removidos em outras operações de reparação.

No caso da colagem de pedra, esta poderá ser realizada através das pastas acima indicadas para o preenchimento, desde que apresentem a resistência e comportamento adequados à fixação do fragmento em causa. Caso se verifique necessário, na fixação poderão ser utilizados pernos em varão roscado de aço inoxidável, embebidos em resina epóxida, com diâmetros e comprimentos adaptados à situação em causa.

No caso de alvenaria de tijolo, para preenchimento das lacunas, deverão ser usados elementos semelhantes aos existentes. Estes devem ser embricados com os materiais originais, através de argamassas de assentamento compatíveis, o mais possível semelhantes às originais²⁵⁴.

7.4.1.3 | SUBSTITUIÇÃO DE ELEMENTOS DEFEITUOSOS

A substituição de elementos defeituosos consiste na remoção dos elementos afectados e na sua posterior reconstrução. Esta solução tem geralmente por objectivo a reposição da resistência estrutural original, sendo aplicada na maioria dos casos a elementos cujo grau de danificação seja bastante elevado e que possuam muito baixas resistências (muitas vezes devido a sismos ou fogos)²⁵⁵.

Dadas as implicações ao nível da estabilidade estrutural, a substituição de elementos defeituosos em estruturas arqueadas deve ser acompanhada de escoramento com restrição das sobrecargas de utilização.

No caso de abóbadas e arcos, dado que a degradação grave de elementos é geralmente acompanhada da deformação das estruturas, o reposicionamento de elementos de alvenaria pode ser acompanhado da correcção da geometria²⁵⁶ e de lesões locais.

²⁵⁴ Veja-se ponto 4.3.1.4.

²⁵⁵ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), p. 112 e Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004b), pp. 92-93.

²⁵⁶ Utilizando equipamento hidráulico e um controlo rigoroso dos deslocamentos a geometria original pode ser reposta. Veja-se Córias, Vítor (2007) – *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*, Argumentum Geocorpa, Lisboa, p. 181.

Após a remoção dos elementos originais defeituosos ou mais fragilizados, as superfícies devem ser bem limpas, fazendo-se o embricamento dos blocos da nova alvenaria (de tijolo ou pedra) na estrutura original.

À semelhança do exposto para a colmatação de lacunas, os materiais de substituição dos elementos danificados podem ser da mesma natureza dos existentes, ou de natureza diferenciada. Para além da compatibilidade entre os materiais, há que garantir em particular as propriedades resistentes do próprio material, das ligações entre os elementos novos e os existentes e a transmissão dos esforços instalados. No caso de alvenarias argamassadas, as juntas entre superfícies devem ser refechadas com argamassas apropriadas, o mais semelhantes possível às argamassas de assentamento originais.

À semelhança da colmatação de lacunas, caso seja necessário, no caso de elementos de maior dimensão, para a fixação poderão ser utilizados pernos em varão roscado de aço inoxidável, embebidos em resina epóxida. Podem ainda ser usados grampos de ligação entre peças originais e novas.

7.4.2 | CONSOLIDAÇÃO ESTRUTURAL EM ELEMENTOS DE ALVENARIA

7.4.2.1 | IMPREGNAÇÃO DE CONSOLIDANTES EM ELEMENTOS DE PEDRA

A consolidação tem como objectivo restituir ou aumentar a coesão entre as partículas de um material. Esta deverá não só melhorar a resistência mecânica do elemento tratado, mas também dificultar o acesso e a migração da água no seu interior.

Através da aplicação de diversos procedimentos e produtos, é provocada e aumentada a aderência da parte deteriorada à parte sã. Para conseguir uma boa aderência, o produto aplicado deve penetrar em profundidade suficiente, de modo a que não se formem camadas superficiais rígidas consolidadas sem ligação conveniente ao material de suporte são²⁵⁷.

Quando o produto aplicado possui para além da capacidade de consolidante, propriedades hidrófobas, pode também ser considerado como protector.

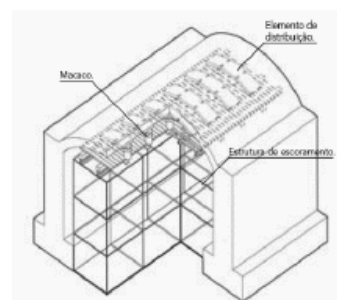


Figura 276 – Escoramento de uma abóbada para reposicionamento de pedras de uma nervura [Cóias, Vítor (2007)]



Figura 277 - Reposicionamento de tijolo cerâmico [Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]

²⁵⁷ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob.cit.*, (2006), pp. 606-609.

Como referido anteriormente²⁵⁸, estes produtos são usados com frequência tanto em alvenarias de pedra ou tijolo como em revestimentos de estruturas antigas. Da diversidade de produtos encontrados no mercado, perante uma intervenção de conservação em qualquer um destes elementos, as exigências são específicas e limitativas das soluções a adoptar.

Dependendo da sua composição e modo de actuação, os consolidantes podem classificar-se como²⁵⁹:

Inorgânicos	Orgânicos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Base mineral diversa ▪ Base Silico-inorgânica ▪ Base Silico-orgânica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Naturais de origem vegetal ou animal ▪ Poliméricos sintéticos

a) Principais características dos produtos de consolidação:

De forma genérica, as principais características que um produto de consolidação deve possuir são²⁶⁰:

- **Boa profundidade de penetração:** É imprescindível seja qual for a natureza do produto consolidante a aplicar que este esteja em estado líquido, possua baixa tensão superficial e baixa viscosidade para penetrar e profundidade em todos os poros e fissuras, podendo restituir a adesão ao material através do processo de presa.
- **Menor influência possível sobre a porosidade e transferência de humidade:** Apesar da porosidade do material se alterar por consequência da aplicação de produtos consolidantes sendo um dos aspectos que poderá condicionar o seu comportamento futuro, não é recomendável a aplicação de produtos que promovam o fechamento dos poros reduzindo a permeabilidade ao vapor de água.
- **Compatibilidade física e química:** O consolidante deverá ainda apresentar compatibilidade com o material a ser tratado, de modo a não induzir a formação de compostos químicos que possam afectar a estrutura do substrato e a alterar o mínimo possível as suas propriedades físicas e mecânicas.
- **Manutenção do aspecto estético:** Os consolidantes não deverão mudar a cor e brilho da superfície e não devem facilitar a

²⁵⁸ Veja-se ponto 7.3.4.3.

²⁵⁹ Rochas dos monumentos portugueses.p 311 a 313

²⁶⁰ Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha, *ob. cit.*, (2005), p.4.

deposição de elementos nocivos tais como o pó e a sujidade, a formação de crostas e a acumulação de sais solúveis.

b) Modo de aplicação:

A forma de aplicação dos produtos consolidantes é de extrema importância e dela pode determinar o êxito do tratamento. Desta depende da profundidade de penetração e de distribuição do produto no interior do material. Deste modo, quando se escolhe um consolidante há que ter em conta a sua natureza e a do dissolvente, a concentração, viscosidade e tensão superficial da solução, a porosidade do material a tratar, o tempo de contacto entre esta e o material e finalmente as condições de temperatura e humidade a que vai ser aplicado²⁶¹.

Em geral a aplicação pode fazer-se através da impregnação por injeção (gravidade ou pressão), pincelamento ou pulverização, sendo que a impregnação por capilaridade e imersão é reservada para ensaios de laboratório.

Dada a heterogeneidade dos materiais sobre os quais os tratamentos são aplicados e as acções agressivas a que estão sujeitos, dependendo da importância da construção na qual se pretende intervir, torna-se necessária a realização de ensaios de aplicação. Estes devem em qualquer situação ser realizados *in situ* sobre áreas mínimas de teste de 2 m², em condições de temperatura e humidade similares àquelas em que serão realizados os trabalhos, sendo a eficácia do produto comprovada uma semana após a aplicação. Em muitos casos torna-se ainda imprescindível a experiência em laboratório de vários tipos de produtos e de procedimentos de aplicação. Deste modo poderá avaliar-se a idoneidade e o desempenho das soluções a utilizar.

c) Produtos inorgânicos

De base mineral diversa e silico-inorgânica:

De natureza similar aos componentes minerais da pedra, da sua aplicação e consequente reacção com os componentes do material do substrato, água e dióxido de carbono do ar resulta a precipitação de um novo produto. Este é insolúvel em água, aderente à parede dos poros e capilares e possui capacidade de consolidação.

²⁶¹ Estes dados são geralmente indicados pelo fornecedor do produto, condicionando a escolha do mesmo.

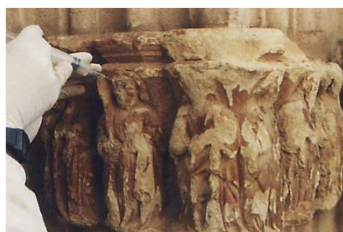


Figura 278 - Injeção de consolidantes inorgânicos por pressão

[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]



Figura 279 - Injeção de consolidantes inorgânicos por gravidade

[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

O seu uso é feito com grande moderação dada a irreversibilidade desta técnica. Sendo destinados normalmente, à consolidação de construções de alvenaria, são particularmente indicados para a consolidação de construções de grande valor arquitectónico²⁶².

Como principais consolidantes inorgânicos tradicionais, de base mineral diversa e silico-inorgânica, usam-se desde tempos ancestrais²⁶³:

- **Hidróxidos de cálcio e de bário:** Capazes de consolidar sedimentos muito pouco coerentes e particularmente adequados para a consolidação de calcários, os hidróxidos de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e de bário ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) actuam por carbonatação devido ao dióxido de carbono (CO_2) atmosférico originando cristais de carbonato de cálcio (CaCO_3) e de bário (BaCO_3) acompanhados de água (H_2O). Ao precipitar, os carbonatos de neoformação preenchem os poros reduzindo o volume de vazios e provocando um efeito de soldadura com os componentes do material original, funcionando assim como consolidantes. Têm como desvantagens a possível formação de eflorescências e a sua reacção muito superficial podendo bloquear o acesso da solução em profundidade.
- **Bicarbonato de cálcio:** O bicarbonato de cálcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ actua por descarbonatação e desidratação, originando carbonato de cálcio (CaCO_3), dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O).
- **Aluminato de potássio:** A acção consolidante do aluminato de potássio (2KAlO_2) é realizada em presença de água (H_2O) por hidrólise, originando a precipitação de alumina (Al_2O_3), produto considerado como bom consolidante.
- **Silicato de sódio e de potássio:** Os silicatos de sódio e de potássio (SiO_3Na_2 e SiO_3K_2), são normalmente estabilizadas com hidróxidos alcalinos, formando-se sílica coloidal quando o estabilizante reage com o anidrido carbónico do ar. À semelhança dos hidróxidos de cálcio e bário, a sua reacção muito superficial pode bloquear o acesso da solução em profundidade.

Como principais vantagens e desvantagens dos consolidantes de base mineral diversa e silico-inorgânica, referem-se²⁶⁴:

²⁶² Veja-se Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 104-106; Argilés, Josep M. *et al*, *ob.cit.*, (1999b), pp.154-157; Barros, Luís Aires, *ob.cit.*, (2001), pp. 311-313; Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha, *ob.cit.*, (2005), p. 5.

²⁶³ Veja-se Argilés, Josep M. *et al*, *ob.cit.*, (1999b), p.154; Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), p. 104.

Consolidantes inorgânicos - Base mineral diversa e silico-inorgânicos	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande afinidade química e física com os materiais originais ▪ Boa capacidade de penetração (devido ao baixo peso molecular) ▪ Capacidade de não alterar as propriedades hidrófilas dos materiais ▪ Boa estabilidade química e resistência à radiação UV ▪ Melhoria das propriedades mecânicas superior à obtida com consolidantes orgânicos²⁶⁵ ▪ Colmatam espaços vazios (poros ou fissuras) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desadequados para o preenchimento e consolidação de vazios superiores a 50-100 microns (dependendo do produto) ▪ Aplicação mais complexa que os orgânicos ▪ Irreversibilidade da aplicação ▪ Mais rígidos, logo menos flexíveis que os orgânicos ▪ Resultam numa coloração esbranquiçada (por vezes inconveniente) ▪ Originam produtos secundários como sais solúveis que poderão precipitar em eflorescências.

De base Silico-orgânica:

Com composição à base de silício, dependendo do tipo de ligações e dos elementos químicos que os formam, poderão ser considerados como produtos orgânicos ou inorgânicos (dado que a partir da sua base orgânica se produzem compostos inorgânicos), actuando exclusivamente em profundidade como consolidantes, ou ainda superficialmente como produtos hidrofugantes.

Entre os compostos silico-orgânicos mais utilizados distinguem-se²⁶⁶:

- **Silanos:** Como os compostos silico-orgânicos mais simples, os silanos (SiH₄) são resultantes da combinação do silício com átomos de hidrogénio. Com boa capacidade de penetração.
- **Silicatos de etilo:** Quando nos silanos os hidrogénios são substituídos por grupos alcoxi (-OR), ou seja, quando um átomo de silício se une a um radical orgânico através de um átomo de oxigénio (Si-OR), o produto resultante denomina-se por alcoxi-

²⁶⁴ Veja-se Argilés, Josep M. *et al*, *ob.cit.*, (1999b), pp.154-157; Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha, *ob.cit.*, (2005), p. 5.

²⁶⁵ Veja-se Argilés, Josep M. *et al*, *ob.cit.*, (1999b), pp.154-157.

²⁶⁶ Veja-se Argilés, Josep M. *et al*, *ob.cit.*, (1999b), pp.154-157; Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha, *ob.cit.*, (2005), p. 5.

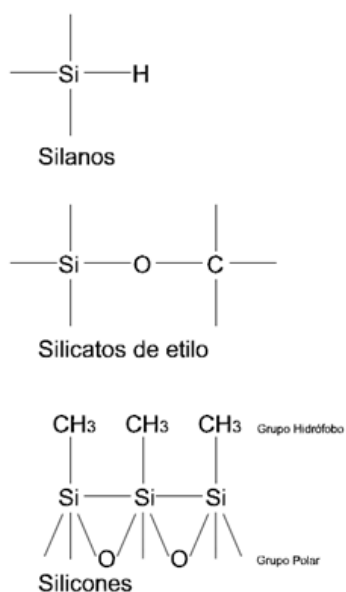


Figura 280 – Silico-orgânicos
[Argilés, Josep M. et al (1999b)]

silano ou silicato de etilo²⁶⁷. Considerados como derivados do ácido silicílico, os silicatos de etilo (orgânicos) hidrolisam-se facilmente, condensando-se depois no interior do material sob a forma de depósitos de sílica amorfa, acabando por se converter num material inorgânico com propriedades consolidantes.

- **Siloxanos ou silicones:** Ainda neste grupo e classificados como polímeros mistos, os silicones são formados por uma cadeia principal inorgânica de ligações silício-oxigénio (Si-O-Si), à qual estão ligados através dos átomos de silício, radicais orgânicos. Estes radicais são compostos por átomos de carbono e hidrogénio, sendo os mais comuns os grupos metil (CH₃), etil (C₂H₅) e fenil (C₆H₅)²⁶⁸. Possuindo baixa tensão superficial, os grupos orgânicos das moléculas de silicone são os responsáveis pela repelência à água (orientados para o exterior) e os grupos polares pela ligação ao substrato (orientados para o interior). Desta forma, para além de consolidantes do substrato possuem ainda boas propriedades protectoras afastando a água das superfícies. Apresentam uma boa penetração e não se alteram por acção dos raios UV ou quando expostos a chuvas ácida. Contudo, durante segundas aplicações, podem ser alterados se a aplicação anterior não tiver ficado devidamente curada.

²⁶⁷ Oliveira, José (2013) – *Estudo da durabilidade e eficácia da acção de repelentes de água em fachadas de edifícios recentes*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, p.27.

²⁶⁸ Oliveira, José, ob.cit., (2013), p.27.

Como principais vantagens e desvantagens dos consolidantes inorgânicos de base silico-orgânica, sublinham-se²⁶⁹:

Consolidantes inorgânicos – Silico-orgânicos	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande afinidade química e física com os materiais originais ▪ Boa capacidade de penetração ▪ Impermeabilidade à água líquida ▪ Permeabilidade ao vapor de água (não colmatam os poros e fissuras) ▪ Estáveis perante agentes químicos (em particular a chuva ácida) e micro-organismos; ▪ Estáveis perante a radiação ultravioleta; ▪ Reversibilidade da aplicação e facilidade de extracção no caso dos silicões ▪ Facilidade de aplicação (produtos mono-componentes) ▪ Influência mínima sobre a cor e o brilho dos materiais (formam filmes extremamente finos e praticamente invisíveis) ▪ Não originam produtos secundários 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mais rígidos, logo menos flexíveis que os orgânicos ▪ Irreversibilidade da aplicação no caso dos silicatos de etilo ▪ Não colmatam espaços vazios (poros ou fissuras)

d) Produtos orgânicos

Naturais de origem vegetal ou animal:

De natureza diferente da pedra ou tijolo cerâmico, ao serem aplicados formam uma camada hidrorrepelente que reveste as paredes dos poros e capilares. Muitas vezes usados em diluições de solventes orgânicos ou a quente, têm essencialmente um papel impermeabilizante.

Conhecidos desde a Antiguidade são aplicados sob variadas formas, tais como²⁷⁰:

- dissoluções de azeite de linho cozido;

²⁶⁹ Complementado e adaptado de Heinz Leitner (1996) *Stabilization of architectural surfaces*. In: ASC-96, Mauerbach, ICCROM, BDA Vienna. Veja-se Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha, *ob.cit.*, (2005), p. 5. Veja-se também Argilés, Josep M. *et al*, *ob.cit.*, (1999b), pp.156-157; Oliveira, José, *ob.cit.*, (2013), p.26.

²⁷⁰ Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha, *ob.cit.*, (2005), p. 4.



Figura 281 – Cachorro na Torre de Belém antes da intervenção com consolidantes

[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]



Figura 282 – Cachorro na Torre de Belém depois da intervenção com consolidantes de resinas epóxicas

[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a)]

- ceras naturais de origem animal ou vegetal;
- parafinas;
- caseínas;
- albumina de ovo ;
- resinas naturais.

Poliméricos sintéticos:

De entre os consolidantes orgânicos sintéticos hoje mais utilizados destacam-se²⁷¹:

- **Polímeros acrílicos:** A variedade de polímeros acrílicos é vasta, podendo apresentar-se mais ou menos viscosos ou endurecidos de acordo com o seu grau de polimerização. As resinas e emulsões acrílicas têm um efeito consolidante e protector, limitando as trocas com a atmosfera. De utilização mais fácil e mais estáveis que as resinas epoxídicas e poliésteres, podem ser usados em solução ou sob a forma de produtos termoendurecedores. Possuem grande resistência à luz solar, ao calor e intempéries, têm por vezes tendência a amarelecer. Pouco sensíveis à água, insensíveis às acções biológicas. Sendo solúveis em solventes orgânicos, a sua aplicação torna-se reversível.
- **Polímeros vinílicos:** À semelhança dos anteriores, os polímeros vinílicos são solúveis em solventes orgânicos sendo depois aplicados em solução e usados como revestimentos protectores e adesivos, limitando a penetração da água. Distinguem-se pela sua corrente aplicação: o acetato de polivinil (PVA), com boa resistência ao envelhecimento, permeabilidade ao vapor de água, e insensibilidade às acções biológicas; o cloreto de polivinil (PVC), de degradação fácil sob a acção do calor e da luz; ou o álcool polivinílico, muito resistentes mecanicamente, extremamente sensível á agua e ao vapor de água, sendo porém impermeável à maior parte dos gases.
- **Resinas epoxídicas:** Usadas sobretudo como consolidantes, as resinas epoxídicas podem ainda ser usadas como produtos de protecção. Funcionando como sistemas termoendurecedores, a estas poderão ser adicionados adjuvantes e cargas ou diluentes que lhes alteram as características e a fluidez. Após o endurecimento, possuem boas propriedades mecânicas e de

²⁷¹ Barros, Luís Aires, *ob.cit.*, (2001),.pp. 311-313 e Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha, *ob.cit.*, (2005), p. 4.

adesão ao suporte. Com boa resistência aos agentes químicos, não são completamente incolores e amarelecem com o tempo.

- **Nylon, poliéster e poliuretanos:** No caso do poliuretano, este é introduzido na pedra através da evaporação dos solventes. Aumenta a resistência mecânica da pedra, sendo porém vulnerável à exposição ao calor e luz. Desaconselha-se utilização de poliéster devido à sua fraca resistência aos raios ultra violeta, aos ácidos e aos álcalis.

Como principais vantagens e desvantagens dos consolidantes orgânicos de base natural ou polimérica sintética, referem-se²⁷²:

Consolidantes Orgânicos	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muito boa capacidade adesiva ▪ Mais elásticos e flexíveis que os inorgânicos ▪ Reversibilidade superficial (porém irreversibilidade em profundidade) ▪ Facilidade de aplicação ▪ Impermeabilidade à água líquida ▪ Permeabilidade ao vapor de água (não colmatam os poros e fissuras) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menor capacidade de penetração, porém podem usar-se diluídos em soluções de baixa viscosidade ▪ Maior instabilidade química, degradando-se com o oxigénio, ozono, luz do dia, radiação UV e soluções ácidas ou alcalinas ▪ Maior susceptibilidade ao ataque de microorganismos ▪ Menos duradouros que os inorgânicos, a sua acção protectora e diminui com o passar do tempo e o seu aspecto altera-se ▪ Propriedades físico-químicas distintas do material pétreo ou cerâmico

Após a escolha do produto a utilizar, os trabalhos de consolidação, apenas poderão ser executados por pessoal especializado, dispondendo de equipamento e de tecnologia adequada e segundo as especificações de projecto e do fornecedor.

²⁷² Complementado e adaptado de Heinz Leitner (1996) *Stabilization of architectural surfaces*. In: ASC-96, Mauerbach, ICCROM, BDA Vienna. Veja-se Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha, *ob.cit.*, (2005), p. 5. Veja-se também Argilés, Josep M. *et al*, *ob.cit.*, (1999b), pp.154-157.



Figura 283 – Tubos de injeção e purga aplicados
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]

7.4.2.2 | INJEÇÃO DE CALDAS LIGANTES EM ELEMENTOS DE ALVENARIA

A injeção de caldas ligantes consiste na introdução de caldas capazes de preencher as fracturas e vazios, substituindo ou integrando as argamassas originais, através de furos previamente realizados nas alvenarias.

Esta técnica tem por objectivo a melhoria da resistência mecânica dos materiais através da reposição ou aumento da sua coesão interna, sendo uma intervenção comum quer em alvenarias de pedra como em alvenarias de tijolo.

Na consolidação de alvenarias, as caldas possuem várias funções, tais como:

- aumento da coesão entre os elementos de alvenaria (reparação);
- preenchimento de vazios (lacunas, injeção e selagem de fissuras ou fendas);
- reforço das capacidades resistentes dos materiais (reforço).

Quanto à escolha do produto a injectar, é necessário garantir a compatibilidade química, física e mecânica com os materiais existentes. Para além destes aspectos, o produto deve possuir a fluidez adequada à penetração, desenvolver presa e resistência gradual e lentamente, ser estável a longo prazo e ter uma retracção reduzida ou ser mesmo ligeiramente expansivo, de modo a assegurar um contacto contínuo entre os elementos adicionados e os originais.²⁷³

Os produtos de injeção geralmente utilizados na consolidação de alvenarias são os seguintes:

- caldas de cimento estabilizadas por bentonite ou cal;
- caldas de silicato de potássio ou sódio;
- sistemas poliméricos sintéticos (resinas epóxicas, polímeros acrílicos, polímeros vinílicos);
- ceras orgânicas naturais (no caso da alvenaria de pedra).

Como foi já amplamente descrito, refere-se que as caldas de injeção de base cimentícia, apesar de produzirem melhor ligação entre os elementos de alvenaria, têm elevada retracção e comprometem o

²⁷³Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 107-108; Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004b), pp. 85-87; Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006), pp. 594-595.

princípio da reversibilidade. Estas podem ser melhoradas com aditivos fluidificantes, anti-retracção ou expansivos²⁷⁴.

A injeção de caldas ligantes em alvenarias envolve as seguintes actividades:

- i) **Trabalhos preparatórios:** Remoção dos revestimentos mal aderentes ou degradados.
- ii) **Saneamento e tratamento das superfícies:** Limpeza das superfícies com sistema adequado, inspecção das alvenarias, colmatação de lacunas, substituição de materiais degradados e tratamento da fendilhação²⁷⁵.
- iii) **Abertura de furos:** Ao longo da extensão da zona a tratar deverá proceder-se à abertura de furos de 10 ou 12 mm de diâmetro, numa profundidade de aproximadamente 2/3 da espessura do elemento. Devem executar-se 2 a 3 furos por metro quadrado, regularmente espaçados, com o auxílio de um berbequim.
- iv) **Colocação dos tubos de injeção e purga:** Os tubos de injeção e purga deverão ser constituídos, em geral, por tubos em plástico transparente e introduzidos nos furos previamente executados.
- v) **Selagem superficial dos furos:** O contorno dos tubos de injeção e purga deverá ser selado com a argamassa de selagem de modo a que a calda injectada, enquanto líquida, não escorra para fora.
- vi) **Injecção:** A injeção será executada após se ter verificado o endurecimento da argamassa de selagem. Será realizada uma primeira injeção para colmatar os maiores vazios e de seguida, outra com um produto de grande capacidade de penetração, de modo a assegurar a consolidação total de todos os elementos. A injeção deverá ser executada de baixo para cima, de modo a assegurar o preenchimento total dos vazios e por camadas com altura função da pressão e da disposição dos furos de injeção. Deverá ser realizada em cada abertura sob pressão controlada (entre 0,1 a 0,2 MPa mas sempre adequada à resistência dos materiais a consolidar) até que a calda surja na abertura seguinte.
- vii) **Acabamentos:** Após a conclusão da injeção e controlo da qualidade dos trabalhos executados, deverão ser removidos



Figura 284 – Injecções de caldas ligantes em alvenaria ordinária de tijolos
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]



Figura 285 – Injecção de fissura em arco de tijolo maciço
[Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)]

²⁷⁴ Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, Vasconcelos de, *ob.cit.*, (2006), pp. 594-595.

²⁷⁵ Veja-se pontos 7.3.2.1, 7.4.1.1, 7.4.1.2 e 7.4.1.3.

os materiais de selagem, os tubos e algum excesso de material de injeção. Reposição dos revestimentos com produtos compatíveis nos casos em que tal for necessário.

Todos os trabalhos apenas poderão ser executados por pessoal especializado, dispondo de equipamento e de tecnologia adequada.

7.4.3 | TÉCNICAS DE REFORÇO ESTRUTURAL

7.4.3.1 | REBOSOS ARMADOS

Nas situações em que há necessidade de melhorar a função resistente das alvenarias de pedra ou tijolo, mesmo em estruturas arqueadas, uma das soluções de possível aplicação é um revestimento armado com espessura aproximada de 2 a 3 cm.

Nos casos em que existem revestimentos originais, esta técnica apresenta como desvantagens a necessidade da sua remoção total. O seu uso deve ser bastante criterioso em construções de valor histórico, só devendo ser aplicada em casos de extrema necessidade.

A execução de um reboco armado em alvenarias envolve as seguintes actividades²⁷⁶:

- i) **Trabalhos preparatórios:** Remoção dos revestimentos existentes.
- ii) **Saneamento e tratamento das superfícies:** Limpeza das superfícies com sistema adequado, inspeção das alvenarias, colmatação de lacunas, substituição de materiais degradados e tratamento da fendilhação²⁷⁷.
- iii) **Colocação da armadura:** Fixação da armadura através de elementos de aço inoxidável. A armadura a utilizar pode ser metálica adequadamente protegida contra a corrosão, de fibra de vidro com protecção anti-alcalina, ou de rede de polipropileno.
- iv) **Aplicação do reboco:** Com argamassa de formulação adequada o mais semelhante possível à argamassa original, geralmente com base de cal aérea²⁷⁸.

Quando tal se justifique, esta solução poderá ser reforçada pela utilização de conectores ou pregagens garantindo uma maior fixação

²⁷⁶ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004b), pp. 87; Branco, Fernando; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2010), pp. 71-76.

²⁷⁷ Veja-se pontos 7.3.2.1, 7.4.1.1, 7.4.1.2 e 7.4.1.

²⁷⁸ Veja-se ponto 4.3.1.4.

entre as camadas de reboco armado e o suporte bem como um reforço da resistência²⁷⁹ (o que no caso particular das estruturas arqueadas, tem extrema relevância).

7.4.3.2 | AUMENTO DA SECÇÃO POR ENCAMISAMENTO

Esta é uma técnica de aplicação similar à anterior, na qual o reforço é realizado através do aumento da secção resistente por adição de uma lâmina de argamassa armada e convenientemente solidarizada à estrutura de suporte por pregagens. Este revestimento pode ser executado apenas em um ou em ambos os lados da alvenaria. Normalmente armadas com uma rede de metal galvanizada, as argamassas são aplicadas por projecção ou manualmente, obtendo-se uma maior espessura (cerca de 5 cm) e características mecânicas superiores às que se verificam nos rebocos armados ou convencionais.

Com aplicação usual em alvenarias de pedra e de tijolo maciço, é também bastante comum em arcos e abóbadas. Esta é no entanto uma técnica de natureza bastante intrusiva e irreversível, colocando-se em causa a sua aplicação face a outras técnicas e soluções hoje disponíveis.

No caso de abóbadas ou restantes estruturas arqueadas, quando o encamisamento é realizado pelo intradorso, durante a fase de trabalhos preparatórios é muitas vezes necessária a desmontagem de coberturas ou a remoção de revestimentos de piso e de carregos. Estas são operações extremamente delicadas, obrigatoriamente acompanhadas do escoramento das estruturas, devendo ser devidamente monitorizadas face aos danos que poderão provocar. Em qualquer situação de intervenção, as condições iniciais deverão ser repostas tão rápido quanto possível.

De base hidráulica ou cimentícia, as argamassas deverão ter formulação adequada o mais compatível possível com as alvenarias existentes podendo ser adjuvadas para melhoria das suas qualidades químicas, físicas e mecânicas.

O Encamisamento com argamassas ou betão de alvenarias envolve as seguintes actividades²⁸⁰:



Figura 286 - Aplicação de reboco com armadura metálica
[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]

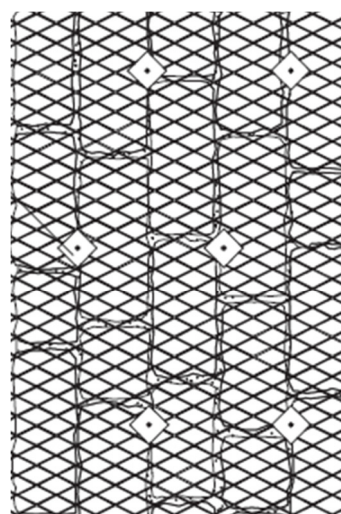
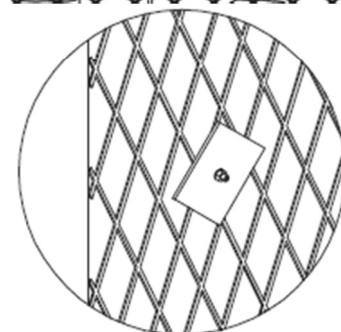


Figura 287 - Fixação de armadura metálica com confinadores simples
[Cóias, Vítor (2007)]



²⁷⁹ Ver ponto 7.4.3.3.

²⁸⁰ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 124-132; Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004b), pp. 98-99; Branco, Fernando; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2010), pp. 98-112.



Figura 288 - Encamisamento de abóbada de alvenaria com lâmina superior de betão armado
[Appleton, João (2003)]

- i) **Trabalhos preparatórios:** Remoção dos revestimentos existentes, desmontagem de coberturas, remoção de revestimentos de piso e de carregos.
- ii) **Saneamento e tratamento das superfícies:** Limpeza das superfícies com sistema adequado, inspecção das alvenarias, colmatagem de lacunas, substituição de materiais degradados e tratamento da fendilhação²⁸¹.
- iii) **Colocação da armadura:** Fixação da armadura através de confinadores²⁸². A armadura a utilizar é geralmente metálica adequadamente protegida contra a corrosão, sendo aplicada em duas camadas perpendiculares entre si.
- iv) **Aplicação de argamassas:** Aplicação das argamassas resistentes por projecção ou manualmente numa espessura variável entre os 5 e os 10 cm. No caso de a aplicação ser feita por projecção, esta será realizada em duas camadas: após a primeira camada é aplicada a armadura de reforço, sendo depois projectada a segunda camada de argamassa ou betão.

7.4.3.3 | REFORÇO COM ADIÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS

O reforço com adição de elementos metálicos consiste essencialmente na introdução de confinadores ou tirantes no interior ou pelo exterior das estruturas a reforçar, provocando um acréscimo na sua resistência mecânica ou o desvio e suporte de esforços.

Dependendo do objectivo a atingir, das soluções de confinamento metálico mais comuns destacam-se: os confinadores apertados mecanicamente, os confinadores aderentes ou com manga injectada, os tirantes activos, os tirantes passivos não aderentes e os tirantes passivos aderentes.

a) Confinadores apertados mecanicamente

Esta técnica consiste na introdução de confinadores de aço inoxidável dotados de placa de distribuição, rotulada ou não, nos elementos a reforçar. Após o aperto, a tensão de confinamento transmitida espessura total da alvenaria provoca um acréscimo da sua resistência à compressão. Podem também ser usados para a ligação entre elementos distintos da mesma construção ou para fixar armaduras, às superfícies.

²⁸¹ Veja-se pontos 7.3.2.1, 7.4.1.1, 7.4.1.2 e 7.4.1.

²⁸² Ver ponto 7.4.3.3.

Com reduzida intrusividade e total reversibilidade, é uma solução corrente no reforço de elementos de alvenaria, mesmo em construções com valor histórico.

A aplicação de confinadores apertados mecanicamente envolve as seguintes actividades²⁸³:

- i) **Saneamento e tratamento das superfícies:** Remoção dos revestimentos existentes nas zonas das placas de distribuição.
- ii) **Abertura de furos:** Furação de pequeno diâmetro criteriosamente localizada. A furação deve ser realizada com coroa diamantada a seco, sem percussão.
- iii) **Montagem dos confinadores:** Introdução nos furos dos confinadores de aço inoxidável e aperto das ancoragens.
- iv) **Protecção e Acabamentos:** Após a conclusão e controlo da qualidade dos trabalhos executados, deverá ser feita a reposição dos revestimentos com produtos compatíveis nos casos em que tal for necessário, dissimulando as placas de distribuição, ou poderão ser deixados à vista.

b) Confinadores aderentes ou com manga injectada

À semelhança da técnica anterior, a aplicação de confinadores aderentes ou com manga injectada é realizada através da introdução de confinadores de aço inoxidável nas alvenarias a reforçar. Após o seu posicionamento são selados com caldas de injeção apropriadas ficando solidarizados com a estrutura.

Tem como objectivo o aumento da resistência à compressão das alvenarias e a melhoria da ligação entre elementos.

Devido ao seu total embebimento nas alvenarias, podem tornar-se totalmente invisíveis na presença de rebocos o que determina a sua reduzida intrusividade. Embora com alguma dificuldade podem ainda ser removidos por carotagem, apresentando alguma reversibilidade.

Em confinadores aderentes simples, a selagem por injeção é feita directamente no contacto com a alvenaria, com controlo das pressões e dos caudais. Nas situações em que se pretenda evitar a propagação da argamassa injectada no interior dos paramentos, os confinadores podem ser dotadas de mangas têxteis. Nestes casos a injeção é realizada no interior das mangas, que ao deformar formam

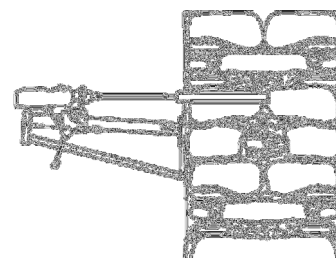


Figura 289 - Furação por rotação para instalação de confinadores ou tirantes metálicos [LEB (2011b)]

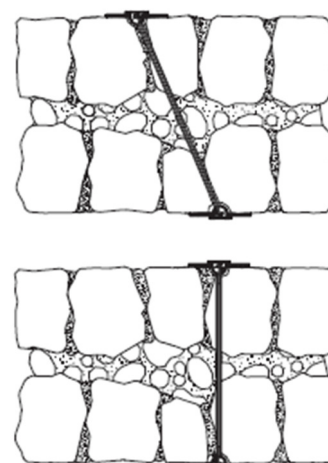


Figura 290 - Confinamento transversal de elementos de alvenaria [Cóias, Vítor (2007)]



Figura 291 - Sistema de rótula constituído por semi-esfera e copo, permitindo a adaptação da fixação a qualquer inclinação do confinador [Cóias, Vítor (2007)]

²⁸³ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 124-132

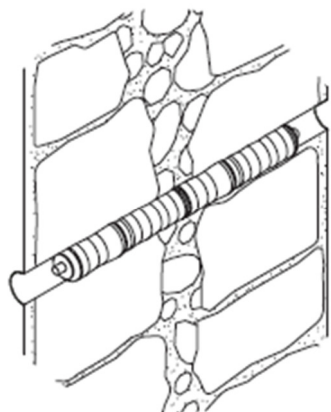


Figura 292 - Confinador dotado de manga injectada
[Cóias, Vítor (2007)]



Figura 293 - Aplicação de pregagens aderentes para reforço estrutural, Castelo de Paderne
[LEB (2005)]

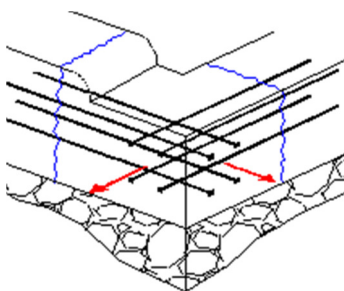


Figura 294 - Aplicação de pregagens aderentes para reforço estrutural de cunhal, Castelo de Paderne
[LEB (2005)]

bolbos de argamassa estanques, adaptando-se e preenchendo os vazios da alvenaria sem perigo de contaminação desta.

A aplicação de confinadores aderentes ou com manga injectada envolve as seguintes actividades²⁸⁴:

- i) **Abertura de furos**²⁸⁵
- ii) **Montagem dos confinadores:** Introdução nos furos dos confinadores de aço inoxidável. Estes elementos podem ser ou não dotados de mangas têxteis.
- iii) **Injecção de calda:** A calda deve ser apropriada à injecção, de retracção controlada e baixo teor salino. A injecção é feita directamente na alvenaria, com controlo de pressões e caudais, ou no interior das mangas deformáveis.
- iv) **Protecção e Acabamentos:** Após a conclusão e controlo da qualidade dos trabalhos executados, deverá ser feita a reposição dos revestimentos com produtos compatíveis nos casos em que tal for necessário.

Todos os trabalhos deverão ser executados por pessoal especializado, dispondo de equipamento e de tecnologia adequada.

c) Pregagens aderentes ou com manga injectada

O reforço por pregagens aderentes consiste colocação de barras de aço inoxidável em furos previamente abertos, que atravessam os elementos a reforçar, transversal ou longitudinalmente. Consoante o objectivo, os varões podem possuir comprimento e localização muito variada. Após o seu posicionamento são selados com caldas de injecção apropriadas ficando solidarizados com a estrutura.

Esta técnica aplica-se no reforço estrutural de arcos, abobadas, paredes, cunhais e outros elementos de alvenaria de pedra natural ou de tijolo cerâmico. Para além de promover a resistência à tração das alvenarias, melhora a ligação entre elementos tais como paredes ortogonais, paredes e abobadas, paredes e arcos, etc.

Com moderada intrusividade, mas praticamente irreversíveis, actuam profundamente no sistema estrutural original. O resultado é uma nova estrutura compósita cujo comportamento é difícil de modelar e prever, com valor tecnológico significativamente reduzido. O seu uso

²⁸⁴ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 124-132; Branco, Fernando; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2010), pp. 98-112.

²⁸⁵ Veja-se: a) *Confinadores apertados mecanicamente* do presente ponto.

é recomendado em construções com elevado valor histórico apenas na ausência de soluções de intervenção menos intrusivas.

Deve ser aplicada em elementos com espessuras entre 0,50 e 2,0 m, não sendo recomendável para espessuras inferiores.

À semelhança dos confinadores, em pregagens aderentes simples, a selagem por injeção é feita directamente no contacto com a alvenaria. Em situações em que se pretenda evitar a contaminação das alvenarias pela argamassa de injeção, deverão usar-se mangas têxteis.

A execução de pregagens aderentes envolve geralmente as seguintes actividades²⁸⁶:

- i) **Saneamento e tratamento das superfícies:** Remoção dos revestimentos existentes nos casos em que tal se verifique necessário, Limpeza das superfícies com sistema adequado, inspecção das alvenarias, colmatação de lacunas, substituição de materiais degradados e tratamento da fendilhação²⁸⁷.
- ii) **Abertura de furos:** Furação de pequeno diâmetro criteriosamente localizada. A furação deve ser realizada com coroa diamantada a seco, sem percussão.
- iii) **Montagem dos varões:** Introdução nos furos dos varões de aço inoxidável ou aço corrente protegido contra a corrosão. Estes varões podem ser ou não dotados de mangas têxteis.
- iv) **Injecção de calda:** A calda deve ser apropriada à injeção, de retracção controlada e baixo teor salino. A injeção é feita directamente na alvenaria, com controlo de pressões e caudais, ou no interior das mangas deformáveis.
- v) **Protecção e Acabamentos:** Após a conclusão e controlo da qualidade dos trabalhos executados, deverá ser feita a reposição dos revestimentos com produtos compatíveis nos casos em que tal for necessário.

Todos os trabalhos deverão ser executados por pessoal especializado, dispondo de equipamento e de tecnologia adequada.

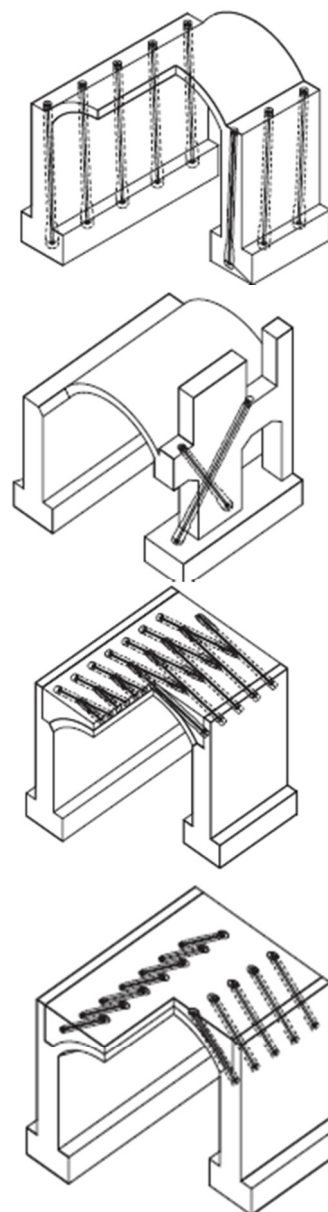


Figura 295 - Soluções de aplicação de pregagens dotadas de manga injectada para reforço de abóbadas

[Cóias, Vítor (2007)]

²⁸⁶ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 124-132; Branco, Fernando; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2010), pp. 98-112.

²⁸⁷ Veja-se pontos 7.3.2.1, 7.4.1.1, 7.4.1.2 e 7.4.1.



Figura 296 - Reforço estrutural de abóbada com tirantes, Mosteiro das Salzedas
[Lourenço, Paulo B. *et al* (2008)]

d) Tirantes activos

Esta técnica de reforço consiste na aplicação de tirantes de aço alta resistência ou de material compósito, efectuando o seu tensionamento de forma a introduzir na estrutura um novo sistema de forças. A aplicação do pré-esforço pode fazer-se tanto pelo interior das alvenarias por meio de furações previamente executadas como pelo exterior.

Este tipo de reforço é particularmente indicado para o reforço e consolidação de arcos e abobadas como para o de alvenarias antigas em geral. Indicado também para acções de reabilitação sísmica. De moderada intrusividade, mas de aplicação praticamente irreversível. O seu uso é recomendado em construções com elevado valor histórico apenas na ausência de soluções de intervenção menos intrusivas.

Dependendo do posicionamento dos tirantes, estruturalmente, podem ser introduzidas forças de compressão favoráveis nas paredes ou forças de desvio nos contrafortes e apoios que ajudam a transmissão e o controlo dos impulsos horizontais. Estas permitem melhorar o comportamento das paredes sob acções no seu próprio plano, melhorar o comportamento das estruturas em serviço ao nível da deformação e fendilhação e alterar distribuições de esforços.

A execução de tirantes activos envolve geralmente as seguintes actividades²⁸⁸:

- i) **Abertura de furos:** Furação de pequeno diâmetro criteriosamente localizada. A furação deve ser realizada com coroa diamantada a seco, sem percussão.
- ii) **Montagem dos tirantes:** Inserção dos cabos de aço no interior dos furos e montagem do sistema de ancoragem. Antes da montagem das placas de ancoragem deve realizar-se um reforço prévio com um revestimento armado da zona onde esta apoiará, para protecção das alvenarias e distribuição uniforme dos esforços.
- iii) **Injecção e aplicação do pré-esforço:** Após a injecção e cura da calda procede-se ao tensionamento dos cabos.
- iv) **Protecção e Acabamentos:** Após a conclusão e controlo da qualidade dos trabalhos executados, deverão ser adoptadas medidas de protecção das ancoragens ou de tirantes

²⁸⁸ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 124-132; Branco, Fernando; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2010), pp. 98-112.

expostos, através de recobrimentos ou pinturas intumescentes.

Todos os trabalhos deverão ser executados por pessoal especializado, dispondo de equipamento e de tecnologia adequada.

e) Tirantes passivos não aderentes

O reforço com tirantes passivos não aderentes consiste na aplicação de tirantes de aço alta resistência ou de material compósito, não tensionados. Esta é uma técnica similar à anterior, porém neste caso, após a introdução dos tirantes de aço ou de material compósito, estes são apenas esticados com auxílio de um equipamento de aperto.

Neste caso, não são introduzidas acções na estrutura. Funciona para cargas ou deformações adicionais, travando deslocamentos e encaminhando esforços. É indicado para o reforço e consolidação de arcos, abobadas e alvenarias antigas e para a reabilitação sísmica.

Devido ao facto de não serem injectados, os tirantes poderão ser removidos em qualquer altura sem necessidade de trabalhos de demolição, o que torna esta técnica de reforço totalmente reversível, apesar da moderada intrusividade.

Como elementos de fixação poderão ser usadas ancoragens injectadas e chapas metálicas ou sistemas de ancoragem dúcteis, que permitem a deformação plástica em caso de acção extrema (como um sismo por exemplo) reduzindo a probabilidade de ocorrência de danos na alvenaria.

Os tirantes e peças de ancoragem deverão ser devidamente protegidos contra a corrosão e acção do fogo.

A execução de tirantes passivos não aderentes envolve geralmente as seguintes actividades²⁸⁹, algumas já especificadas anteriormente²⁹⁰:

- i) **Abertura de furos**
- ii) **Montagem dos tirantes**
- iii) **Aplicação do aperto:** Com controlo de torque.
- iv) **Protecção e Acabamentos:** Após a conclusão e controlo da qualidade dos trabalhos executados, deverão ser adoptadas medidas de protecção das ancoragens ou de tirantes

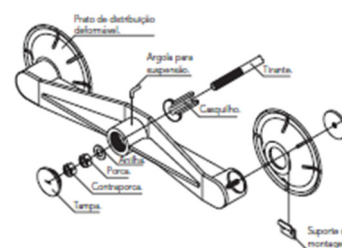


Figura 297 - Sistema de ancoragem de tirantes dúctil [Cóias, Vítor (2007)]



Figura 298 - Sistema de ancoragem de tirantes em placa injectada, Convento das Maltezas, Estremoz [Foto do autor]

²⁸⁹ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 124-132; Branco, Fernando; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2010), pp. 98-112.

²⁹⁰ Veja-se: d) *Tirantes activos* do presente ponto.

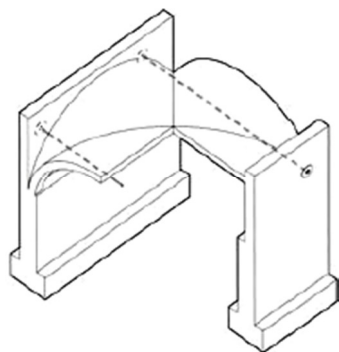


Figura 299 - Aplicação de tirantes passivos não aderentes para estabilização de abóbada
[Cóias, Vítor (2007)]



Figura 300 - Aplicação de tirantes passivos não aderentes para estabilização de abóbada, Convento das Maltezas, Estremoz
[Foto do autor]

expostos, através de recobrimentos ou pinturas intumescentes.

Todos os trabalhos deverão ser executados por pessoal especializado, dispondo de equipamento e de tecnologia adequada.

f) Tirantes passivos aderentes

A execução de tirantes passivos aderentes e o âmbito da sua aplicação é em tudo semelhante à execução de tirantes passivos não aderentes, sendo o reforço feito também com tirantes de aço alta resistência ou de material compósito, não tensionados. Diferenciam-se dos anteriores por serem protegidos por uma manga injectável.

A execução de tirantes passivos aderentes envolve geralmente as seguintes actividades²⁹¹, algumas já especificadas anteriormente²⁹²:

- i) **Abertura de furos**
- ii) **Montagem dos tirantes**
- iii) **Aplicação do aperto**
- iv) **Injecção de calda:** A calda deve ser apropriada à injecção, fazendo-se esta com controlo de pressões e caudais
- v) **Protecção e Acabamentos:** Após a conclusão e controlo da qualidade dos trabalhos executados, deverão ser adoptadas medidas de protecção das ancoragens.

7.4.3.4 | REFORÇO COM ADIÇÃO DE ELEMENTOS NÃO METÁLICOS

O reforço por adição de elementos não metálicos é realizado através da aplicação às alvenarias de faixas de materiais polímeros reforçados com fibras de carbono²⁹³ geralmente colados ao suporte com resinas de elevado desempenho. Funcionando como armaduras exteriores, os tecidos ou laminados de carbono resistem essencialmente a esforços de tracção.

²⁹¹ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 124-132; Branco, Fernando; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2010), pp. 98-112.

²⁹² Veja-se: d) *Tirantes activos* do presente ponto.

²⁹³ Os materiais compósitos (FRP - Fibre-reinforced-polymer) mais utilizados são os tecidos e os laminados de carbono. Com a abreviatura de CFRP (Carbon-Fibre-reinforced-polymer), os tecidos de carbono são constituídos por filamentos que unem vários milhares de fibras de carbono altamente resistentes. Possuindo propriedades mecânicas semelhantes às do aço, são no entanto extremamente leves e maleáveis. Os laminados, são um material compósito, constituído por uma matriz polimérica onde estão incorporadas as fibras de carbono (CFRP), vidro (GFRP), ou aramida (AFRP). Na matriz são usualmente usadas resinas epóxicas, de poliéster ou éster vinílico, de plástico termo-endurecível e fenol-formaldeído.

Dado que a aplicabilidade a estruturas de alvenaria de pedra é condicionada pela irregularidade superficial das superfícies que dificulta a aderência destes sistemas, estes elementos de reforço são normalmente usados em conjunto com sistemas de fixação mecânica, tais como dispositivos de ancoragem (chapas metálicas, varões selados e buchas de fixação mecânica ou química em aço inoxidável ou galvanizado), pregagens e confinadores.

Tendo com principais aplicações o reforço sísmico, o contraventamento e a transmissão de esforços, são geralmente usados em construções antigas e na reabilitação de património arquitectónico, dada a possibilidade de reversibilidade das aplicações e a sua reduzida intrusividade.

No caso do reforço pelo intradorso de abóbadas de arcos ou cúpulas, durante os trabalhos preparatórios é muitas vezes necessária a desmontagem de coberturas, ou a remoção de revestimentos de piso e de carregos. Tal como foi referido anteriormente, estas são operações delicadas, obrigatoriamente acompanhadas do escoramento e monitorização das estruturas.

Dependendo do elemento a reforçar, esta técnica envolve as seguintes actividades:

- i) **Trabalhos preparatórios:** Remoção dos revestimentos existentes, desmontagem de coberturas, remoção de revestimentos de piso e de carregos.
- ii) **Saneamento e tratamento das superfícies:** Limpeza das superfícies com sistema adequado, inspecção das alvenarias, colmatação de lacunas, substituição de materiais degradados e tratamento da fendilhação.²⁹⁴
- iii) **Regularização de imperfeições:** Regularização de defeitos geométricos nas superfícies de colagem dos materiais de reforço, geralmente com argamassa cimentícia modificada, alisada à espátula. Aplicação prévia de um primário de preparação.
- iv) **Colagem e fixação dos laminados ou tecidos:** Colagem das camadas de laminados ou tecidos com resina epóxida, e fixação mecânica dos mesmos.
- v) **Acabamentos em laminados ou tecidos:** Aplicação de nova camada de resina de impregnação e polvilhação manual com areia de quartzo.



Figura 301 - Reforço de parede de alvenaria com faixas de laminados de carbono

[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]



Figura 302 - Preparação de extradorso de abóbada para colagem de laminados de carbono

[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]

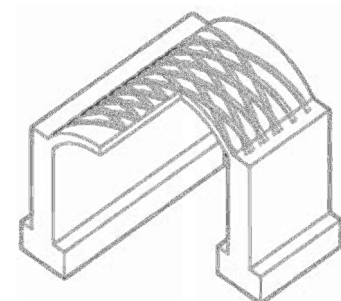


Figura 303 - Aplicação de laminados de carbono para estabilização de abóbada

[Cóias, Vítor (2007)]

²⁹⁴ Veja-se pontos 7.3.2.1, 7.4.1.1, 7.4.1.2 e 7.4.1.



Figura 304 - Reforço sísmico com recurso a contrafortes de alvenaria

[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]

vi) Aplicação de argamassas ou de sistemas de protecção: A Protecção dos laminados com argamassas ou outros elementos garantindo a resistência à acção do fogo é necessária. No caso do reforço do extradorso de abobadas ou estruturas arqueadas, esta pode fazer-se apenas através da reposição dos materiais originais, carregos e revestimentos. Nas restantes situações os laminados podem ser protegidos por uma camada de argamassa de reboco.

Todos os trabalhos deverão ser executados por pessoal especializado, dispondo de equipamento e de tecnologia adequada.

7.4.3.5 | REFORÇO COM CONTRAFORTES DE ALVENARIA

Com o objectivo de garantir e reforçar a resistência às acções horizontais, nos casos em que tal seja possível, podem executar-se contrafortes de alvenaria em posições seleccionadas garantindo uma melhoria da estabilidade.

7.4.3.6 | ALTERAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE ESFORÇOS

Do exposto nos capítulos anteriores, percebe-se que a alteração da distribuição de esforços, activa ou passivamente, é na maior parte dos casos um recurso inevitável numa intervenção de reabilitação estrutural.

Esta pode ocorrer de forma simplificada através de duas acções:

- Como resultado da decisão de restringir ou limitar os usos e conseqüentemente as sobrecargas instaladas numa determinada estrutura.
- Através de acções de reforço, no âmbito das quais se actua não só sobre as resistências mecânicas e ductilidade nos materiais, como também em alguns casos sobre os sistemas de transmissão de esforços existentes.

Disso são exemplo muitas das técnicas atrás descritas. Através da adopção de medidas correctivas dirigidas à eliminação da causa das anomalias alterando as condições de carga, ou mediante a introdução de novos elementos estruturais tais como pregagens, tirantes, sistemas de pré-esforço ou de contraventamento, armaduras e lâminas resistentes, verificam-se muitas vezes alterações profundas no funcionamento global e no papel desempenhado pelos vários elementos estruturais.

Em estruturas de alvenaria, particularmente no caso de estruturas arqueadas, imposição de forças ou de deslocamentos nos apoios (pré-esforço), a criação de novas estruturas susceptíveis de aliviar os esforços sobre as alvenarias pré-existentes (pregagens, laminas de betão, ou outras), ou a introdução de elementos capazes de absorver forças horizontais (tirantes passivos), é matéria extremamente delicada que deve ser analisada por especialistas e acompanhada de muito perto durante a execução.

Em todo o caso, toda e qualquer intervenção de reabilitação, pressupõe acima de tudo acções de conservação. Conservação do valor tecnológico das construções, dos materiais e tecnologias tradicionais, do saber acumulado de gerações que durante séculos resistiu e chegou até nós. Deste modo, reforça-se a importância das questões da intrusividade, reversibilidade, compatibilidade e durabilidade, com as quais se iniciou o presente capítulo. Questões que devem ser consideradas em qualquer acção de intervenção, particularmente nas que conduzam à alteração na distribuição de esforços e funcionamento estrutural das construções.

7.4.4 | REPARAÇÃO, CONSOLIDAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL DE FUNDAÇÕES

7.4.4.1 | CONSOLIDAÇÃO DE TERRENOS

Quando há necessidade de proceder ao tratamento de problemas relacionados com as fundações, as primeiras questões que se colocam estão associadas à natureza e condições geológicas do terreno, essenciais para a segurança estrutural do edifício.

Nos casos em que estas se apresentem degradadas provocando danos nas construções, após avaliação das propriedades mecânicas do solo de fundação, pode realizar-se a consolidação dos terrenos, melhorando as suas características resistentes.

Das soluções geralmente usadas para o efeito destacam-se²⁹⁵:

- a substituição da camada superficial de terreno por outro de melhores características, eventualmente compactado;
- a compactação do terreno existente;
- a pré-carga do terreno provocando a sua consolidação²⁹⁶;

²⁹⁵ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004b), pp. 88-89; Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006), pp. 603-604.

²⁹⁶ Usado em terrenos argilosos muito deformáveis.

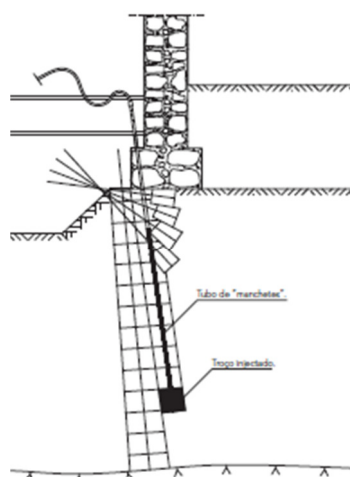


Figura 305 - Injecção de calda de cimento no solo de fundação com tubos de "manchetes"

[Cóias, Vítor (2007)]

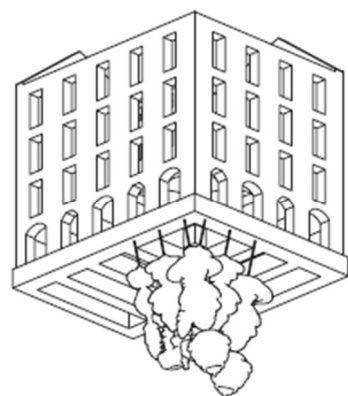


Figura 306 - Injecção de resina hidroactiva no solo de fundação

[Cóias, Vítor (2007)]

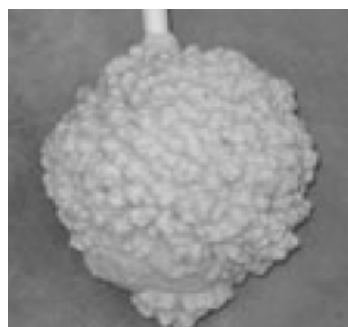


Figura 307 - Bolbo de solo consolidado recuperado de ensaio

[Cóias, Vítor (2007)]

- consolidação do terreno existente através de injeções de caldas²⁹⁷

Em obras de reabilitação as três primeiras soluções têm pouca aplicabilidade, pelo que são as injeções o principal método de consolidação usado nestes casos. Estas têm como objectivo promover o aumento da capacidade de carga do terreno, por adensamento e melhoria da sua coesão. Através do enchimento dos vazios do solo com um material mais resistente, é criada uma matriz com características de rigidez, estabilidade e capacidade de carga superiores á do solo original.

A consolidação de terrenos por injeção apresenta como vantagens a melhoria do seu desempenho perante os problemas a solucionar e a reduzida intrusividade face às estruturas a suportar. Devido à penetração em profundidade do material de injeção no terreno, esta técnica apresenta como desvantagens o facto não permitir a detecção de objectos ou de material histórico, a dificuldade de controlo dos resultados, e a irreversibilidade das soluções. O seu uso deve ser assim criterioso em construções ou áreas de valor arqueológico ou histórico²⁹⁸.

As injeções de caldas podem ser realizadas:

- **Com caldas de cimento:** Em solos permeáveis, sucessivamente a diferentes cotas de profundidade e a pressões controladas. Com a utilização de tubos de "manchetes", formam-se cortinas estanques ou resistentes a impulsos.
- **Com caldas de resinas hidroactivas:** Em solos menos permeáveis, sucessivamente a diferentes cotas de profundidade e a pressões controladas. Estas resinas podem ser em geral de poliuretano. As injeções têm geometria final desconhecida, impossibilitando o seu posterior controlo.

Todos os trabalhos deverão ser executados por pessoal especializado, dispondo de equipamento e de tecnologia adequada.

7.4.4.2 | REPARAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DA FUNDAÇÃO EXISTENTE

As técnicas anteriormente descritas para a reparação estrutural e consolidação de alvenarias poderão ser aplicadas no caso de fundações. A natureza dos trabalhos a realizar será em tudo

²⁹⁷ Esta solução tem também como vantagem a diminuição da permeabilidade do terreno à água, contribuindo para a correcção de humidades ascendentes.

²⁹⁸ Veja-se Cóias, Vítor, *ob.cit.*, (2007), pp.216-219 e pp.225-226.

semelhante á apresentada nos capítulos anteriores para as estruturas superiores (arcos, abobadas, cúpulas e paredes ou contrafortes de suporte), não sendo alvo de informação adicional.

7.4.4.3 | REFORÇO POR AUMENTO DA DIMENSÃO DA SECÇÃO: ALARGAMENTO E RECALÇAMENTO

O reforço estrutural por aumento da dimensão da secção é geralmente realizado através do alargamento das fundações implicando ou não o seu recalçamento. Com o aumento da área de distribuição de esforços, é melhorada a capacidade de carga e a resistência da fundação, por diminuição das tensões instaladas.

Apresenta como vantagens a maior reversibilidade face a soluções com fundações indirectas, o reduzido risco de danos na estrutura e a possibilidade de controlo das forças exercidas pelo elemento de fundação. É de referir no entanto que estas são operações delicadas, obrigatoriamente acompanhadas do escoramento e monitorização das estruturas. Como desvantagem indica-se a sua eventual intrusividade.

Esta solução é utilizada em fundações directas, e pode assumir um carácter passivo ou activo. No primeiro caso (passivo), o alargamento é realizado sem a suspensão da carga das fundações, o que determina que as novas secções só entrarão em carga para sobrecargas adicionais tais como acções sísmicas ou assentamentos futuros. No segundo caso (activo), é feita a suspensão da carga antes da execução dos alargamentos, havendo transferência imediata da carga instalada na estrutura para a nova secção resultante.

a) Alargamento da secção com suspensão de carga

Dependendo da natureza do elemento a reforçar, e considerando o caso de fundações de alvenaria, o alargamento da secção com suspensão de carga envolve em geral as seguintes actividades:²⁹⁹

- i) **Escoramento da estrutura existente.**
- ii) **Abertura de valas:** Com escavação faseada, adjacente às fundações a alargar.
- iii) **Montagem de elementos de ligação:** Carotagem horizontal das fundações existentes em pontos especificados para o efeito e regularmente espaçados. Introdução dos elementos

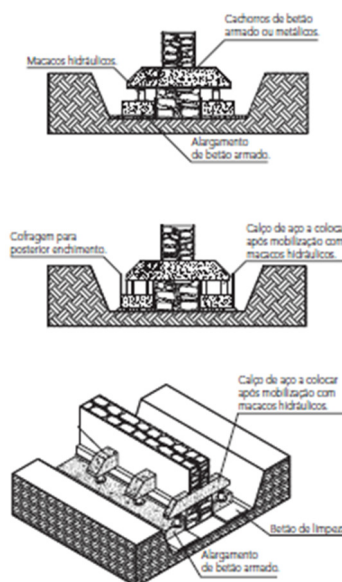


Figura 308 - Alargamento de fundações com suspensão e transferência de carga [Cóias, Vítor (2007)]

²⁹⁹ Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004a), pp. 114-117; Flores, Inês; Brito, Jorge, *ob.cit.*, (2004b), pp. 93-94; Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006), pp. 600-602; Cóias, Vítor, *ob.cit.*, (2007), pp.216-220.

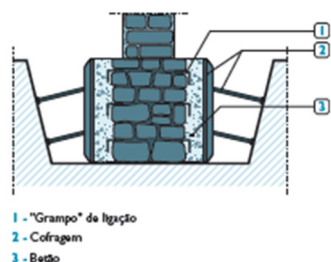


Figura 309 - Alargamento de fundações sem suspensão de carga

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]



Figura 310 - Alargamento de fundações sem suspensão de carga

[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]

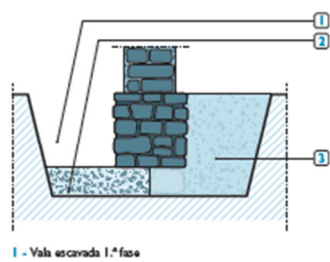


Figura 311 - Recalçamento de fundações

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

de ligação nos furos realizados. Os elementos de ligação podem ser constituídos por barras tipo "Dywidag" pré-esforçadas, pregagens aderentes ou barras passantes, possibilitando a conexão da fundação existente à nova secção adjacente a betonar.

- iv) **Execução da secção de alargamento inferior:** Montagem das armaduras ordinárias e betonagem da zona inferior dos alargamentos, contra o terreno de fundação, sobre camada de betão de limpeza, deixando armaduras de espera.
- v) **Execução de sistemas de transmissão de carga:** Execução pontual de carlingas de betão armado ou metálicas, passantes no interior da base da parede existente, regularmente espaçadas. Posicionamento dos macacos hidráulicos sobre os alargamentos inferiores para apoio das carlingas. Entrada em carga dos macacos com suspensão da carga (total ou parcial, conforme especificado em projecto) e introdução de calços de aço. Abaixamento e retirada dos macacos.
- vi) **Complemento da secção de alargamento:** Betonagem da restante secção de alargamento com ligação à zona inferior e à fundação existente através da armadura de espera.
- vii) **Fechamento das valas e acabamentos:** Reposição dos terrenos, pavimentos e rebocos removidos. Acabamentos.

b) Alargamento da secção sem suspensão de carga

Caso se pretenda fazer o alargamento, sem suspensão da carga, este envolverá as seguintes actividades:

- i) **Escoramento da estrutura existente**
- ii) **Abertura de valas**
- iii) **Montagem de elementos de ligação**
- iv) **Execução das secções de alargamento na sua totalidade**
- v) **Fechamento das valas e acabamentos**

A correcta ligação entre o betão novo e a alvenaria dependerá neste caso do atrito gerado na superfície de contacto entre estes materiais e da resistência ao corte dos elementos de ligação aplicados.

c) Recalçamento da secção

Nos casos em que é necessário o recalçamento da secção, este envolve em geral as seguintes actividades:

- i) **Escoramento da estrutura existente.**
- ii) **Abertura de valas**

iii) **Infra-escavação e betonagem:** Por troços de terreno sob a fundação existente, sucessivamente escavados e betonados, com recurso a betão simples ou armado. Para uma maior segurança este tipo de recalce pode ser realizado faseadamente em cada um dos lados da fundação.

iv) **Fechamento das valas e acabamentos**

O recalçamento da fundação poderá ser complementado com a execução de fundações profundas tais como microestacas, estacas raiz ou estacas hélice.

Todos os trabalhos deverão ser executados por pessoal especializado, dispondo de equipamento e de tecnologia adequada.

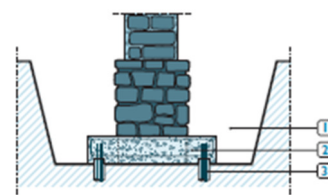
7.4.4.4 | REFORÇO ESTRUTURAL COM FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Nos casos em que a melhoria das propriedades do terreno ou o aumento da secção da fundação não seja viável, poderá ser necessária a transmissão das cargas da fundação existente para um terreno mais profundo e competente. Este tipo de reforço pode também ser executado nos casos em que as fundações existentes sejam já profundas e se encontrem degradadas (podridão em estacas de madeira, corrosão em estacas metálicas ou de betão armado, entre outras).

À semelhança das consolidações de terreno, pelo facto de penetrarem em profundidade no terreno, apresentam como desvantagem o facto de só permitirem a detecção de material arqueológico ou histórico se este se constituir como obstáculo à progressão dos trabalhos. O seu uso deve ser criterioso em construções ou áreas de valor arqueológico ou histórico. Dependendo da solução adoptada podem ter diversos graus de reversibilidade.

O reforço ou recalçamento com fundações profundas é realizado através de vários tipos de estacas que podem ou não atravessar as fundações existentes. Das mais utilizadas destacam-se:

- **Estacas cravadas de madeira ou de aço:** De fácil execução e elevada compatibilidade entre materiais e sistemas no caso da madeira. A cravação introduz vibrações no solo e estrutura que podem levar ao aumento dos danos. São de aplicação reversível.
- **Estacas helicoidais:** a sua introdução é feita no terreno por rotação controlada, apresentando reduzido risco de danos na estrutura. São de aplicação reversível.



1 - Vala escavada
2 - Vigas de encaçoamento e recalçamento
3 - Estaca

Figura 312 - Recalçamento de fundações com execução de microestacas

[Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)]

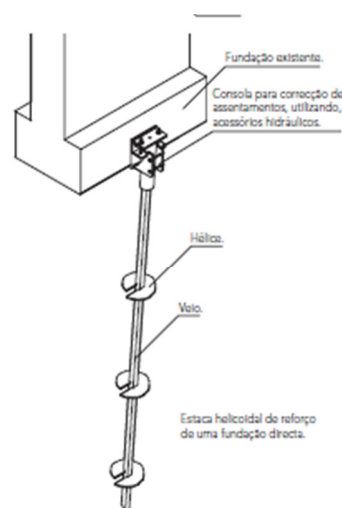


Figura 313 - Estacas helicoidais
[Cóias, Vítor (2007)]

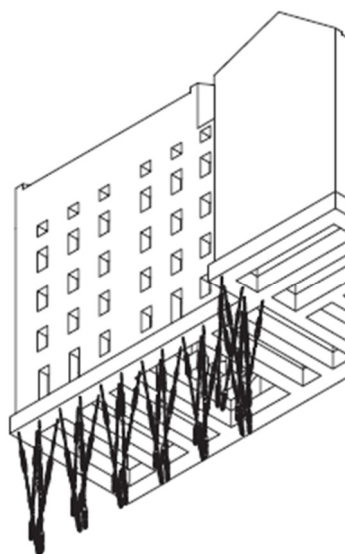


Figura 314 - Microestacas
[Cóias, Vítor (2007)]



Figura 315 - Maciços de encabeçamento de microestacas
[Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)]

- **Estacas raízes:** Executadas *in situ* por furação, com introdução de armadura e betonagem com caldas de cimento, sendo a extracção do tubo de furação realizada com recurso a ar comprimido. Podem funcionar isoladamente ou em grupo como cortina. Mesmo apresentando pequeno diâmetro, são intrusivas e a sua aplicação é irreversível.
- **Microestacas:** Executadas *in situ* por furação, não necessitam de armadura extra pois o tubo de furação em aço é mantido no terreno. A sua betonagem é feita com caldas de cimento, constituindo ou não bolbo de selagem. De pequeno diâmetro, podem funcionar isoladamente ou em grupo como cortina. Como desvantagens apresentam alguma intrusividade e a sua aplicação é irreversível. Como vantagens, apresentam a grande facilidade e limpeza de execução o facto de não introduzirem vibrações na estrutura. Para além destas, permitem a realização de furos inclinados que podem inclusivamente atravessar as alvenarias a recalçar, sendo o equipamento utilizado para a sua execução de dimensões muito reduzidas, o que se constitui como uma vantagem adicional face às outras técnicas.

Independentemente da técnica utilizada, a transmissão dos esforços das fundações às novas estacas realizar-se-á sempre por vigas de encabeçamento, sendo estas materializadas através dos alargamentos ou recalçamentos descritos anteriormente³⁰⁰.

³⁰⁰ Veja-se ponto 7.4.4.3.

CAPÍTULO 8 | CASOS DE ESTUDO

8.1 | ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO CAPÍTULO

Em qualquer acção de conservação e reabilitação, seja num contexto de modernização do existente para a incorporação de novos usos, ou simplesmente apenas com o intuito de resolver problemas ambientais, funcionais ou danos físicos construtivos acumulados ao longo dos anos, a necessidade de garantir a qualidade dos trabalhos executados e a preservação dos valores patrimoniais existentes é fundamental. Para tal, a aplicação de uma metodologia de intervenção faseada, que englobe a investigação, análise e diagnóstico exaustivos da estrutura, a elaboração de um projecto informado e, finalmente, a sua execução acompanhada, será sempre essencial e incontornável.

Através da exposição realizada ao longo dos capítulos anteriores, verifica-se que o processo de intervenção depende não só do reconhecimento dos valores históricos, estéticos, culturais ou tecnológicos da construção e da necessidade da sua salvaguarda, como do estado de conservação em que a estrutura se encontra (tipos de anomalias existentes, suas causas e grau de severidade) e da facilidade que tem em se adaptar às soluções preconizadas e às novas exigências a que vai estar sujeita.

Com o objectivo de demonstrar aplicabilidade da informação e do faseamento metodológico apresentado no presente trabalho, bem como o emprego de algumas das principais soluções de intervenção especificadas para a conservação e reabilitação de estruturas arqueadas, serão apresentados no presente capítulo três estudos de caso. Pela sua abrangência e pertinência seleccionaram-se: o *Projecto de Conservação e Restauro do Arco da Rua Augusta* da autoria do *Atelier 15*; o *Projecto de Conservação e Consolidação Estrutural do Claustro do Convento das Maltezas em Estremoz* e o *Projecto Reabilitação dos Antigos Celeiros da EPAC em Évora*, ambos da autoria da *LEB-Projectistas, Designers e Consultores em Reabilitação de Construções*.

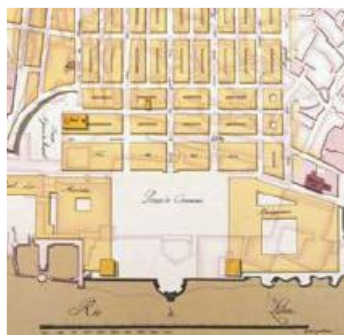


Figura 316 - Planta topográfica da cidade de Lisboa, segundo o novo alinhamento de Eugénio dos Santos Carvalho e Carlos Mardel, Extracto de Litografia, GRA 53, Museu da Cidade.

[Rodrigues da Silva, Ana (2012)]

Figura 317 - Aspecto original do alçado da ala norte da Praça do Comércio com um arco de triunfo que monumentaliza a entrada da Rua Augusta, assinado Sebastião Joseph de Carvalho e Mello e Eugénio dos Santos, 1758, Palácio Galveias, cota: A24672, N22340.

[Rodrigues da Silva, Ana (2012)]

8.2 | ARCO DA RUA AUGUSTA. PROJECTO DE CONSERVAÇÃO E RESTAURO

8.2.1 | ÂMBITO DOS TRABALHOS

Inserido na Praça do Comércio uma das mais emblemáticas praças da Europa e classificado como Monumento Nacional, o Arco da Rua Augusta assume-se como peça fundamental do espaço. Concebido como arco triunfal, devido à sua singularidade e nobreza é hoje um dos edifícios com maior valor histórico, arquitectónico e potencial turístico da cidade de Lisboa.

Durante séculos de ocupação esporádica sem qualquer função utilitária³⁰¹, o que por certo contribuiu para a sua degradação, o espaço foi motivo de inúmeras intenções de utilização. Apenas em 1987, salientando-se o "*interesse cultural do imóvel*", através da DGEMN e do Instituto Português do Património Cultural, foi proposta a "*abertura do Arco ao público (...), prevendo uma exposição documental relativa ao imóvel e à zona em que se encontrava inserido (...)*"³⁰². A partir de 1988 e até 2009 desenvolveram-se estudos de valorização e usufruto dos espaços, levantamentos, trabalhos de consolidação de elementos em risco e obras de reabilitação cujo intuito seria o de dotar o interior do Arco da Rua Augusta das condições mínimas de salubridade, conforto e segurança, sem que no entanto a *proposta* fosse alguma vez oficialmente concretizada³⁰³.



Em 2010, enquadrado pelo plano estratégico de requalificação e dinamização da zona ribeirinha, em particular da Praça do Comércio, e tendo como objectivo a recuperação do monumento e o seu aproveitamento museológico, é finalmente elaborado um protocolo entre a Direcção Regional de Cultura de Lisboa e Vale do Tejo (DRCLVT) e a Frente Tejo, SA, dando origem ao Projecto de Conservação e Restauro do Arco da Rua Augusta, cuja finalização dos

³⁰¹ Chegou a ser usado como arquivo e pombal.

³⁰² Rodrigues da Silva, Ana (2012) – *O Arco da Rua Augusta: História, Valores e Usos*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura da universidade de Lisboa, Lisboa, p. 229.

³⁰³ Veja-se Rodrigues da Silva, Ana, *ob. cit.*, (2012), p. 230.

trabalhos permitiria a sua tão desejada abertura ao público no dia 9 de Agosto de 2013.

Da autoria do *Atelier 15*, com coordenação de Sérgio Fernandez e Alexandre Alves Costa, o projecto contou com a colaboração e consultoria de José Aguiar e Luís Mateus da FAUL, de Delgado Rodrigues especialista em conservação da pedra e de Sandra Alves especialista em restauro. Todos os trabalhos de levantamento fotogramétrico e 3D foram realizados pelo Grupo ARCHC3D da FAUL coordenado por Luís Mateus.

No seguimento dos trabalhos desenvolvidos pelo *Atelier 15* para a elaboração do *Projecto de Conservação e Restauro do Arco da Rua Augusta*, foi realizado e apresentado um levantamento do estado de conservação da construção. Para além deste levantamento, foram definidos os objectivos, procedimentos e acções necessárias à sua conservação, bem como a reunião e o fornecimento de toda a informação que serviria de suporte à elaboração dos trabalhos. Será com base nos dados constantes das Condições Técnicas Especiais e Peças Desenhadas resultantes, que serão apresentados os resultados da *Investigação, análise e de diagnóstico*, bem como a exposição das *Estratégias e técnicas de intervenção*³⁰⁴.

8.2.2 | DESCRIÇÃO E HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO

No âmbito do plano de reconstrução da Baixa, com o objectivo de superar a catástrofe social, económica e urbanística provocada pelo terramoto, são em 1756 delineadas várias hipóteses de reorganização urbana. Prevendo a harmonia entre a largura das ruas e a altura dos edifícios, a planta da autoria de Eugénio dos Santos dá então origem a uma disposição em grelha ortogonal segundo um plano totalmente novo, ligando o Rossio ao antigo Terreiro do Paço.

Pensado integralmente como espaço signficante, o Terreiro do Paço renascia agora como Real Praça do Comércio, deliberadamente aberta ao Tejo e porta emblemática da nova Lisboa, que se reerguia após a catástrofe. Ao estilo da *place royale* francesa, modelo tipológico a seguir em pleno século XVIII, combinando um programa funcional que incluía a alfândega, o edifício da bolsa do comércio, tribunais e serviços, com elementos simbólicos como o Arco (triumfal) da Rua Augusta, a estátua de D. José I e o Cais das Colunas, a nova praça acompanhava a evolução do conceito de espaço urbano



Figura 318 - Vista da Praça do Comércio de Lisboa, segundo o projeto de Eugénio dos Santos e Carlos Mardel, com a torre sineira, nunca construída. Óleo s/ folha de zinco de José Caetano Ciríaco, 1794.

[Rodrigues da Silva, Ana (2012)]



Figura 319 - Excerto do Desenho do Alçado Norte da Praça do Comércio, Frontaria da arcada, de Eugénio dos Santos e Carlos Mardel, 1759.

[Rodrigues da Silva, Ana (2012)]

³⁰⁴ Ver pontos 8.2.3 e 8.2.4.



Figura 320 - Construção do Arco da "RUA AUGUSTA". Foto de Wenceslau Cifka, Prova em albumina montada em cartão, 1862.

[Rodrigues da Silva, Ana (2012)]



Figura 321 - O arco da "RUA AUGUSTA" em construção. Foto de autor desconhecido, anterior a 1873.

[Rodrigues da Silva, Ana (2012)]

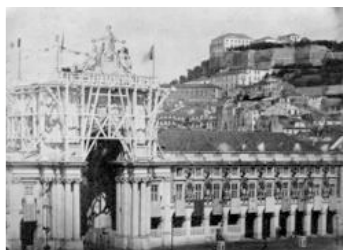


Figura 322 - Arco da Rua Augusta ornamentado por ocasião do (casamento) aniversário de Dom Luís I (1862), em 1872.

[Rodrigues da Silva, Ana (2012)]



Figura 323 - "Glória coroando o Génio e o Valor" e a inscrição em latim de Calmels, em De Olisipo a Lisboa, Estudos Olisiponenses, 1992

[Rodrigues da Silva, Ana (2012)]

público³⁰⁵. A Real Praça do Comércio passaria a ser o "novo centro oficial da capital e do governo do país³⁰⁶, (...) símbolo das grandes transformações sociais pombalinas, designadamente, do poder material e espírito de economia da nova cidade onde a implementação central da estátua equestre de D. José I (1775), expressaria a glória do monarca à qual foi dedicada³⁰⁷.

Como parte integrante do conjunto edificado e segundo o desenho de Eugénio dos Santos e de Carlos Mardel, concluído cerca de 100 anos depois de ter tido início, a construção do Arco da Rua Augusta inicia-se em 1759 com a construção da faseada da nova Praça do Comércio. Segundo José Augusto França³⁰⁸, "quando se levantaram os edifícios simétricos da face norte do Terreiro do Paço (...) o arco ficara porém detido nos princípios do século, (...) subia apenas à altura da sua cimalha, num jogo de colunatas compósitas que, colocadas em 1815, ficaram à espera de coroamento". Com a aprovação do projecto do arquitecto Veríssimo José da Costa em 1844 o arco foi finalmente rematado em 1873 por um frontão encimado por grupos escultóricos e realizada a introdução de um espaço intermédio, designado por Sala (do relógio) com cobertura em terraço.

Com altura máxima de 40.00 m medida até ao topo da figura central e terraço à cota de 29.20 m³⁰⁹, sob o ponto de vista formal, "(...) o Arco da Rua Augusta é composto por 3 corpos integralmente revestidos de cantaria, sendo o central mais elevado e vazado por um arco de volta perfeita, cujo fecho do vão se encontra acima do nível das platibandas. Os dois corpos laterais fazem a transição para as alas contínuas e integram, na sua composição, as arcadas e as janelas destas. (...) "³¹⁰.

Como arco do triunfo, à semelhança dos grandes modelos da antiguidade, apresenta elevada complexidade arquitectónica e decoração abundante sob a forma de esculturas e de elementos

³⁰⁵ A praça assumia-se como lugar de socialização e poder onde se concentram os principais edifícios e monumentos de valor funcional, político, social e simbólico, representativos tanto do poder iluminista como da burguesia mercantil.

³⁰⁶ França, José A. (1989) – *A Reconstrução de Lisboa e a Arquitectura Pombalina*, Instituto da Cultura e Língua Portuguesa, Lisboa, p. 34.

³⁰⁷ Referido por Rodrigues da Silva, Ana, *ob. cit.*, (2012), p. 65.

³⁰⁸ Veja-se França, José A. (1990) – *A Arte em Portugal no Século XIX*, Vol. I e II, 3.ª ed., Bertrand Editora, Lisboa, p. 328.

³⁰⁹ Rodrigues da Silva, Ana, *ob. cit.*, (2012), p. 91.

³¹⁰ Veja-se site do IGESPAR, citado por Rodrigues da Silva, Ana, *ob. cit.*, (2012), p. 90.

ornamentais. Situadas a Sul à cota dos entablamentos, destacam-se as figuras humanas de Viriato, Vasco da Gama, D. Nuno Álvares Pereira e Marquês de Pombal, ladeadas pelas representações alegóricas dos rios Tejo e Douro, todas elas da autoria do escultor Vítor Figueiredo de Bastos. Completando o conjunto, na platibanda o grupo escultórico alegórico superior composto pela "Glória coroando o Génio e o Valor", e a inscrição em latim do escultor francês Anatole Calmels.

Relativamente às questões materialidade, o Arco da Rua Augusta é constituído por elementos de cantaria de pedra calcária compacta tipo lioz de boa qualidade, com associação de variedades mais impuras³¹¹. Para além da pedra, existem ainda alguns elementos metálicos figurativos, guardas e letras, e numerosas peças de estabilização estrutural, em bronze e ferro³¹².

8.2.3 | INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DE DIAGNÓSTICO

8.2.3.1 | METODOLOGIA DE TRABALHOS ADOPTADA

Para que as anomalias existentes, agentes agressores, mecanismos de degradação e níveis de risco associados fossem adequadamente identificados e em consequência, pudessem ser desenvolvidas soluções e especificações para as acções de conservação e de reabilitação a adoptar, foi realizado uma avaliação rigorosa da construção. A fase de investigação, análise e diagnóstico incluiu os seguintes trabalhos fundamentais:

- Investigação Histórica
- Inspeção visual
- Fotogrametria e Levantamento 3D Laser
- Ensaios de caracterização
- Tratamento da informação recolhida
- Avaliação do estado de conservação, da segurança e diagnóstico

Assumindo particular relevância nesta intervenção, destacam-se:

- **Divisão da construção em sectores e unidades espaciais:** Como indicado nas Condições Técnicas Especiais que acompanharam o Projecto (...) foi definido que o levantamento seria efectuado

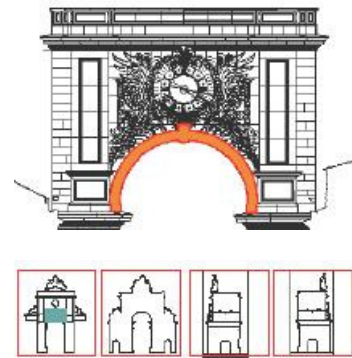


Figura 324 - Unidade espacial B11.2

[Atelier 15 (2011)]

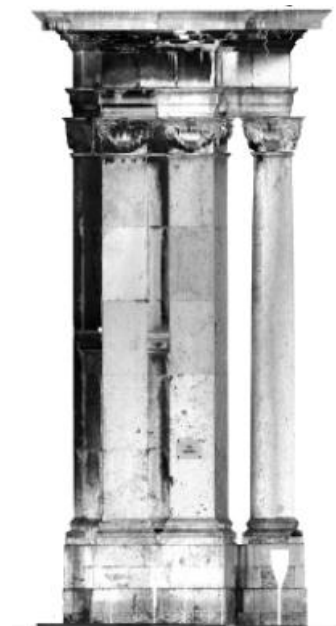


Figura 325 - Levantamento 3D laser, Corte transversal CT1

[Atelier 15 (2011)]



Figura 326 - Levantamento 3D laser, Alçado 01-02

[Atelier 15 (2011)]

³¹¹ Atelier 15, Arquitectura Lda (2011) – *Projecto de Conservação e Restauro do Arco da Rua Augusta: Projecto de Execução - Condições Técnicas Especiais*, Lisboa, p.13.

³¹² Atelier 15, Arquitectura Lda, *ob. cit.*, (2011), p. 2.

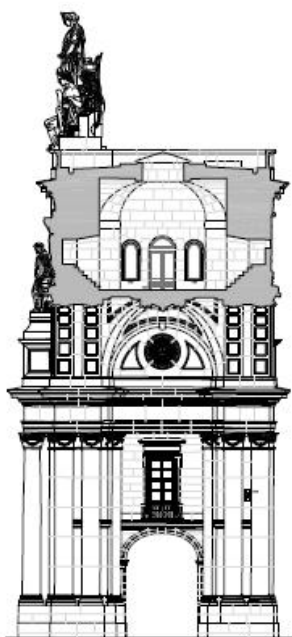


Figura 327 - Excerto do Desenho 04, Corte C
[Atelier 15 (2011)]

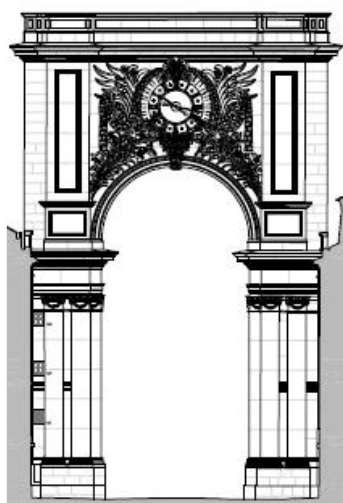


Figura 328 - Excerto do Desenho 03, Alçado Norte
[Atelier 15 (2011)]



Figura 329 - Excerto do desenho 08, Pormenor G, Escultura alçado Sul
[Atelier 15 (2011)]

por sectores e com base em unidades espaciais que pudessem ser consideradas como áreas elementares de actuação em obra. Para isso, considerou-se que essas unidades seriam áreas relativamente homogéneas em termos dos problemas presentes e conseqüentemente das acções necessárias. Por exemplo, uma escultura ou um grupo escultórico, complexos em termos da sua configuração e exigentes em termos dos métodos de acção, foram considerados unidades de levantamento e de intervenção, porque actuar sobre peças decorativas, ainda que os problemas sejam semelhantes, não é igual a trabalhar sobre o pano de parede, não decorado, que lhes está contíguo³¹³.

- **Inspeção visual:** Durante a inspeção visual foi realizada a caracterização geométrica e material dos elementos existentes, bem como o registo e mapeamento de todas as anomalias, alterações ou intervenções anteriores.
- **Fotogrametria:** Cada sector ou unidade espacial definida foi fotografado de vários ângulos, sendo as fotografias georreferenciadas. Estas foram posteriormente tratadas por métodos computacionais possibilitando a reconstituição da sua imagem espacial, bem como a referência das anomalias levantadas.
- **Levantamento 3D laser:** Foi realizado o levantamento topográfico tridimensional a laser permitindo obter a definição geométrica exacta dos elementos existentes na construção. A nuvem de milhares de pontos gerada foi posteriormente tratada obtendo-se a definição tridimensional do volume construído, bem como a possibilidade de visualização de cortes, alçados e plantas em qualquer localização pretendida.
- **Ensaios:** Como complemento da inspeção, foram realizados ensaios de medição da humidade superficial com humidímetro, testes para detecção e identificação de sais com recurso a fitas e kits colorimétricos e testes de arrancamento de argamassas nas juntas.
- **Tratamento da informação recolhida:** Toda a informação recolhida pelos métodos acima descritos foi tratada individualmente para cada sector e unidade. Deste modo foram produzidos: i) desenhos de inspeção com a definição geométrica, material e estereotómica completa da construção; ii) cortes e alçados diversos, rigorosos em formato de nuvem de pontos provenientes do levantamento 3D laser; iii) fichas de

³¹³ Atelier 15, Arquitectura Lda, *ob. cit.*, (2011), p. 1.

trabalho pormenorizadas para cada unidade espacial, contendo a localização geral e ilustração em pormenor baseadas no levantamento fotogramétrico, descrição da unidade e do seu estado de conservação, acções de intervenção necessárias e medição de áreas de trabalho envolvidas.

No Anexo 1 serão apresentados dois exemplos tipo das fichas de trabalho produzidas. Como exemplo, serão ainda no Anexo 2 expostos excertos das Peças Desenhadas contendo alçados, cortes e plantas.

8.2.3.2 | AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO, SEGURANÇA E DIAGNÓSTICO

a) Avaliação do estado de conservação

Resumidamente verifica-se que o quadro patológico analisado compreendeu deficiências da seguinte natureza³¹⁴:

Não estruturais:

- **Depósitos superficiais de sujidade:** Com excepção das áreas directamente afectadas pela água de lavagem das chuvas, todas as áreas encontravam-se cobertas por depósitos de sujidade presentes sob a forma de manchas ou em véu difuso, com excepção das áreas afectadas pela acção directa das chuvas. Estas foram agrupadas em três graus: véu incipiente a ligeiro; depósitos superficiais de cor escura que se destacam da pedra subjacente e que praticamente não a deixam reconhecer; depósitos espessos e crostas negras.
- **Manchas:** À semelhança dos depósitos de sujidade, em todas as áreas existiam manchas de cor distinta localizada, mais clara ou escura, devida à presença de materiais estranhos ao substrato.
- **Erosão:** Foram detectadas perdas de massa na superfície do material com diferentes morfologias e graus de intensidade. Estas foram agrupadas em três níveis de intensidade: superfícies sem perda aparente de material ou perdas muito ligeiras; perdas moderadas de material, formando cavidades; superfície fortemente erodida onde são raros ou ausentes restos da superfície original do bloco.
- **Depósitos de escorrência brancos (arcos interiores):** Estes depósitos de pequena espessura e com desenvolvimento linear foram identificados em juntas entre blocos, onde apenas



Figura 330 - Depósitos superficiais de sujidade de cor escura
[Atelier 15 (2011)]



Figura 331 - Manchas
[Atelier 15 (2011)]



Figura 332 - Erosão, superfície fortemente erodida
[Atelier 15 (2011)]



Figura 333 - Depósitos de escorrência brancos (arcos interiores)
[Atelier 15 (2011)]

³¹⁴ *Idem*, pp. 2-12.



Figura 334 - Remendos e Reconstruções de cimento
[Atelier 15 (2011)]



Figura 335 - Dejectos e outros depósitos de aves
[Atelier 15 (2011)]



Figura 336 - Colonização biológica
[Atelier 15 (2011)]



Figura 337 - Vegetação
[Atelier 15 (2011)]



Figura 338 - Manifestações de vandalismo
[Atelier 15 (2011)]

afectavam a imagem das superfícies, não sendo associadas a nenhum dano aparente.

Remendos e Reconstruções de cimento: Com o objectivo de reconstruir a superfície original em áreas erodidas, encontraram-se executadas reconstruções e remendos de materiais cimentícios. Ocorrem sob diversas formas e dimensões, onde o impacto visual pode ser muito relevante nas intervenções de maior dimensão.

- **Dejectos e outros depósitos de aves:** Visualmente só foram identificados em alguns pontos, no entanto é possível que existam noutras superfícies dos elementos arquitectónicos.
- **Colonização biológica:** A ocorrência de líquenes, algas e fungos encontra-se presente na generalidade das áreas afectadas por humidade, como cornijas e platibandas.
- **Vegetação:** Ocorrência pontual de plantas superiores, como gramíneas, silvas, etc.
- **Manifestações de vandalismo:** Este tipo de anomalia ocorre maioritariamente em áreas ao nível da rua, sob a forma grafiti.
- **Corrosão em elementos metálicos:** Alguns dos elementos estão afectados por corrosão e apresentam perdas na pintura, nomeadamente nas duas coroas nas estátuas que encimam o monumento, nos dois cabeços de amarração decorativos no terraço, em grampos de fixação e guardas de vãos.

Estruturais

No seguimento da avaliação do estado de conservação do arco, foram detectadas algumas anomalias estruturais e de funcionalidade que ao agravarem-se poderão pôr em risco a estabilidade de vários troços da construção e a segurança dos utentes:

- **Juntas abertas ou não funcionais:** Entre blocos que perderam a argamassa de assentamento, fissuras, fracturas, lascagem e lacunas localizadas.
- **Elementos arquitectónicos com manifestações de instabilidade:** Nomeadamente as peças em consola, como por exemplo as asas e os braços nas esculturas do topo.

b) Conclusões e diagnóstico

Da análise do quadro patológico verificou-se que não seria necessária a verificação da segurança da estrutura. Análise qualitativa do estado de conservação concluiu-se que a

intervenção a realizar destinar-se-ia a resolver anomalias de pequeno impacto. Desta forma as acções propostas deveriam enquadrar-se no âmbito das operações de manutenção e de reparação.

8.2.4 | ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS DE INTERVENÇÃO

Através do diagnóstico da estrutura, no âmbito das operações de manutenção ou conservação preventiva e de reparação foi definido um conjunto de acções cujos principais objectivos seriam:

- Dotar as superfícies de melhores condições para resistirem aos agentes de degradação.
- Obter uma imagem cuidada, coerente e enaltecadora do valor histórico e património arquitectónico.

Das acções prescritas e posteriormente realizada destacam-se:

- **Acções de limpeza:** Todas as superfícies foram limpas, com excepção das áreas onde a pedra estava totalmente exposta e sem qualquer depósito de sujidade. Os procedimentos adoptados deveriam ser ajustados ao tipo de sujidade em causa e graduados de acordo com as intensidades presentes em cada unidade de intervenção.

Em algumas áreas, a sujidade identificada como “crostas negras” apresentava simultaneamente perda de material por escamação. Nestas zonas, deveriam usados métodos mais conservativos recorrendo à limpeza por compressas ou com radiação laser e à passivação das superfícies mais fragilizadas de soluções de oxalato de amónio.

Métodos de limpeza a jacto de areia não foram permitidos. No entanto, foram admitidos outros métodos de limpeza de elevada produtividade, como o uso de jacto de água com pressão controlada, sempre que se garantisse que os substratos em causa não fossem agredidos.

Nas zonas onde a limpeza gerou um aspecto inadequado foram aplicadas velaturas à base de cal e pigmentos inorgânicos com o objectivo de compatibilizar a área intervencionada com a envolvente.

- **Tratamento de Juntas:** As juntas deveriam ser devidamente saneadas e preenchidas em profundidade com produtos que garantissem a sua estanqueidade, sendo o acabamento das superfícies executado com cor e textura que harmonizassem com as faces pétreas adjacentes.



Figura 339 - Corrosão em elementos metálicos
[Atelier 15 (2011)]



Figura 340 - Fractura com lascagem
[Atelier 15 (2011)]

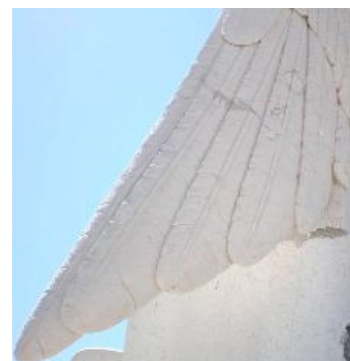


Figura 341 - Elemento arquitectónico com manifestações de instabilidade
[Atelier 15 (2011)]



Figura 342 - Operações de limpeza
[Fotografia José Aguiar]



Figura 343 - Limpeza com compressas
[Fotografia José Aguiar]



Figura 344 - Correção áreas erodidas, zona de teste
[Fotografia José Aguiar]



Figura 345 - Escultura após tratamento
[Fotografia José Aguiar]

- **Correcção de áreas erodidas:** Com o objectivo de reduzir a facilidade de acesso da água ao interior dos elementos pétreos, as cavidades das áreas erodidas, com profundidades superiores a 1.0 cm, deveriam ser colmatadas com argamassa apropriada aplicada individualmente.
- **Áreas com remendos ou revestidas em cimento:** Nas zonas onde os remendos estavam pouco aderentes ao substrato deveria proceder-se à sua remoção e estucagem. Admitia-se que esta operação fosse feita com meios mecânicos, desde que facilmente controláveis pelo operador de modo evitar atingir a pedra. As áreas inteiramente rebocadas com cimento Portland, resultantes de intervenções anteriores e indicados em projecto, seriam removidas e refeitas com argamassas de cal aérea, com acabamento liso e pintadas com tintas minerais de silicato de potássio. A sujidade resultante de prévias aplicações de remendos e colmatações de juntas deveria ser eliminada ou atenuada por aplicação de velatura apropriada.
- **Acabamento de juntas e de fracturas em áreas esculpidas:** Para além do saneamento a realizar nas juntas onde as argamassas estivessem deterioradas, também as juntas onde se desenvolveram colonizações biológicas, deveriam raspadas ou desgastadas numa espessura que garantisse a sua total limpeza e na qual se pudesse aplicar um barramento. Este deveria ser preparado com um ligante hidráulico isento de sais solúveis e formulado com pedra em pó, sendo permitida a adição de terras para o ajustamento da cor em obra.
- **Colonização biológica e vegetação:** A eliminação da colonização biológica deveria ser executada com biocida e com recurso a limpeza nos casos da existência simultânea de sujidades.
- **Vandalismo e Outras anomalias:** As pinturas devidas a manifestações de vandalismo seriam eliminadas com recurso a métodos que não danificassem o substrato. Em casos raros poderia ser necessário efectuar restauros em pedra.
- **Elementos Metálicos:** Todos os elementos metálicos deveriam ser alvo de limpeza, passivação química e tratamento de protecção, sendo as superfícies metálicas pintadas de acordo com o projecto original.

Os tirantes e grampos seriam substituídos por material adequado, quando se encontravam não funcionais, e nos casos onde era possível a sua recuperação deveriam ser devidamente saneados e passivados contra a corrosão. As argamassas que

recobrem os pernos de amarração e grampos de estabilização seriam removidas quando detectados sinais de empolamento e repostas por material novo.

- **Reparação de fendas, fracturas e lascagem:** Nas zonas onde existiam fendas estas deveriam ser seladas e injectadas. Nos casos onde existiam fracturas, seria necessário aplicar soluções com introdução de ligações metálicas, recorrendo apenas a materiais inoxidáveis e de elevada durabilidade com o intuito de fixar devidamente as partes separadas. No caso das lacunas, os fragmentos deveriam ser tratados por colagem com acabamento superficial da fractura.
- **Elementos Instáveis:** Apesar dos elementos instáveis existentes serem em geral de dimensão reduzida, eram numerosos, devendo ser alvo de reparação.

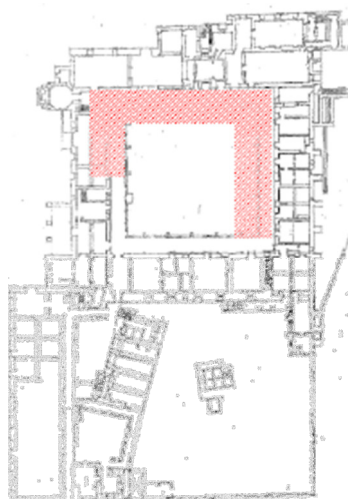


Figura 346 - Planta geral das construções e definição de zona a intervir
[LEB (2010a)]



Figura 347 - Vista aérea do Convento da Maltezas
[LEB (2010a)]

8.3 | CLAUSTRO DO CONVENTO DAS MALTEZAS EM ESTREMOZ. PROJECTO DE CONSERVAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO ESTRUTURAL

8.3.1 | ÂMBITO DOS TRABALHOS

Construído no início do século XVI, tendo passado por diversas alterações de uso que lhe acrescentaram novos pisos e dependências, o Convento das Maltezas em Estremoz passou por intervenções várias e vicissitudes diversas ao longo da sua extensa vida.

Durante séculos de ocupação como antigo convento de freiras, e hospital assistencial, é hoje propriedade da Santa Casa da Misericórdia de Estremoz, assumindo funções culturais e educativas como Igreja da Misericórdia e Centro Ciência Viva. Na sequência da sua transformação em núcleo museológico, em 2002, foi detectado um conjunto significativo de anomalias estruturais junto ao Torreão poente e zonas adjacentes da ala Sul, anomalias que foram alvo de intervenção procedendo-se nessa data à consolidação estrutural das zonas afectadas.

Anos mais tarde em 2009, o Convento das Maltezas, volta a apresentar apresentar anomalias estruturais e de funcionalidade em tudo semelhantes às verificadas anteriormente, porém na zona oposta do claustro. Foi então elaborada uma peritagem estrutural pela FUNDEC³¹⁵ com o apoio do ICIST³¹⁶. Tendo como objectivo a recuperação do espaço e o tratamento do quadro patológico identificado, foi realizado em 2010 o *Projecto de Conservação e Consolidação Estrutural Claustro do Convento das Maltezas*, da autoria da LEB-Projectistas, *Designers e Consultores em Reabilitação de Construções*. Com coordenação de Thomaz Ripper, o projecto contou com a colaboração de João Ferreira e Andreia Tomás, sendo os trabalhos de levantamento 3D realizados pela empresa *3D Total*.

No seguimento dos trabalhos desenvolvidos pela LEB, foi realizado e apresentado um levantamento do estado de conservação da construção e definidos os objectivos, procedimentos e acções necessárias à sua conservação. Será com base nos dados constantes das Condições Técnicas Especiais, Cálculos e Memória Justificativa e

³¹⁵ Associação para a formação e o Desenvolvimento em Engenharia Civil e Arquitectura.

³¹⁶ Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção do Instituto Superior Técnico.

Peças Desenhadas resultantes, que serão apresentados os resultados da *Investigação, análise e de diagnóstico*, bem como a exposição das *Estratégias e técnicas de intervenção*³¹⁷.

8.3.2 | DESCRIÇÃO E HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO

O *Claustro do Convento das Maltezas* situa-se no Convento de São João da Penitência da Ordem de Malta, hoje conhecido por Convento das Maltezas, localizado em Estremoz, Évora, Portugal.³¹⁸

Iniciado com a construção do piso térreo no primeiro quartel do século XVI, o convento sofre posteriormente remodelações com o acrescento do piso nobre no século seguinte na sequência da instalação temporária do Hospital de Nossa senhora dos Mártires de Estremoz já incorporado na Santa Casa da Misericórdia. No século XVIII surge o presépio e o nicho junto ao portão principal.

Classificado como Monumento Nacional em 1924, o edifício é reabilitado parcialmente em 2002 convertendo-se em museu e pólo cultural. Hoje é partilhado por diferentes entidades, nomeadamente pela Misericórdia de Estremoz, pela paróquia de Santo André, pelo Centro Ciência Viva de Estremoz e pelo Pólo de Estremoz da Universidade de Évora.

Em geral o edifício apresenta uma estrutura tradicional com paredes verticais de grande espessura em alvenaria ordinária de pedra, rebocadas com argamassa de cal e posteriormente caiadas. Os tectos e pisos constituem-se por abóbadas de tijolo maciço rebocadas e caiadas inferiormente onde assentam os pavimentos em soalho de madeira, ladrilho cerâmico ou pedra natural.

As coberturas, na sua maioria inclinadas, apresentam estrutura de madeira e são revestidas a telha cerâmica.

Apesar de nunca se ter tido acesso às fundações, estima-se que sejam directas em embasamentos de alvenaria de pedra.³¹⁹

De planta quadrada, o claustro apresenta um desenvolvimento em altura de dois pisos e uma estrutura "*híbrida*", "*contrafortada e arcaizante*" com elementos góticos e manuelinos no piso térreo³²⁰.



Figura 348 - Espaços do claustro suportados por abóbadas de ogivas e arestas [LEB (2010a)]



Figura 349 - Arcadas do registo inferior com arcos e fustes de mármore [LEB (2010a)]



Figura 350 - Sistema de contrafortes para suporte das abóbadas do claustro [LEB (2010a)]

³¹⁷ Ver pontos 8.3.3 e 8.3.4.

³¹⁸ Veja-se http://pt.wikipedia.org/wiki/Claustro_da_Misericórdia_de_Estremoz.

³¹⁹ Veja-se FUNDEC (2009) – *Peritagem às anomalias estruturais no Convento das maltezas em Estremoz*, Relatório FUNDEC PS nº 8/09, Relatório ICIST EO nº 21/09, Lisboa.



Figura 351 - Decoração das impostas em abóbadas de aresta [LEB (2010a)]



Figura 352 - Verificação geométrica de elementos de suporte [LEB (2010a)]

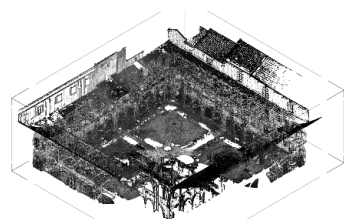


Figura 353 - Vista topográfica tridimensional do Claustro do Convento das Maltezas, levantamento 3D laser [LEB (2010a)]

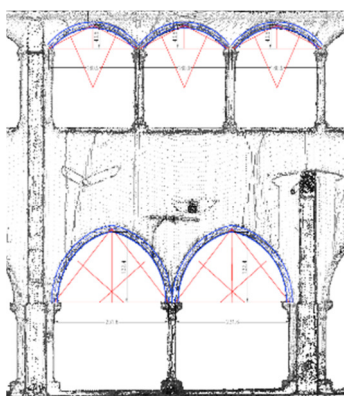


Figura 354 - Definição geométrica de elementos estruturais existentes na construção com base no levantamento levantamento 3D laser [LEB (2010a)]

Estruturalmente é formado por abóbadas de ogivas e arestas de tijolo maciço, rebocadas e caiadas, quer na cobertura quer no piso intermédio, com decoração zoomórfica e antropomórfica e que suportam superiormente pavimentos cerâmicos. As abóbadas são suportadas exteriormente pelas construções periféricas e interiormente pela arcaria e contrafortes de pedra natural. As arcadas do registo inferior constituídas por arcos geminados, apresentam capitéis se apresentam indiferenciadamente lisos ou com motivos naturalistas³²¹ e fustes de mármore local apoiados em bases quadradas, que descarregam nas fundações.

8.3.3 | INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DE DIAGNÓSTICO

8.3.3.1 | METODOLOGIA DE TRABALHOS ADOPTADA

A Investigação, análise e estabelecimento do diagnóstico do Claustro do Convento das Maltezas incluiu os seguintes trabalhos fundamentais:

- Investigação Histórica e recolha de informação
- Inspeção visual *in situ*
- Levantamento 3D Laser
- Ensaio de caracterização
- Tratamento da informação recolhida
- Avaliação do estado de conservação, da segurança e diagnóstico

Assumindo particular relevância nesta intervenção, destacam-se:

- **Inspeção visual:** Recorrendo a meios visuais e utilizando equipamento de prospecção pouco intrusivo, procedeu-se ao registo fotográfico, à caracterização geométrica e material dos elementos existentes, bem como ao registo e mapeamento de todas as anomalias existentes, dando-se especial atenção à identificação dos agentes agressores e acções actuantes. Durante esta inspeção foram ainda identificadas algumas das alterações e intervenções anteriores mais significativas, bem como os sistemas de funcionamento estrutural existentes.

³²⁰ Veja-se <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/69807>.

³²¹ Veja-se LEB (2010a) – *Convento das Maltezas, Santa Casa da Misericórdia de Estremoz, Conservação e Consolidação Estrutural do Claustro: Projecto de Estabilidade – Cálculos e Memória Justificativa*, Cascais.

- **Levantamento 3D Laser:** À semelhança do levantamento topográfico realizado no Arco da Rua Augusta foi também neste caso feito o levantamento tridimensional a laser permitindo obter a definição geométrica de todo o claustro. A importância da definição geométrica exacta dos elementos estruturais existentes, teve no entanto outras valências para além da simples caracterização geométrica. Incluindo as exageradas deformações observadas no local, a nuvem de pontos gerada permitiu observar com rigor os deslocamentos existentes, a sua posição relativa e a sua amplitude, dados determinantes para a avaliação da segurança.
- **Ensaio de caracterização:** Como complemento da inspecção, foi realizada observação boroscópica em pontos diversos, avaliação de fendas com fissurómetro, ensaios de medição da humidade superficial com humidímetro, execução de carotes para observação da constituição das abóbadas.
- **Caracterização do terreno de fundação:** A informação relativa ao tipo de solo sobre o qual estão assentes as fundações do claustro foi obtida através da análise da carta geológica da região de Estremoz e da observação de fotografias da última intervenção realizada. Concluiu-se que se trata de uma massa em terra vegetal argilosa a muito argilosa, bem compactada, com 3 a 4 m de espessura, assente sobre uma formação rochosa cárcica de calcário carbonatado, deteriorada devido à percolação de água, podendo apresentar deficiente resistência e rigidez
- **Tratamento da informação recolhida:** Após identificar e avaliar as anomalias estruturais e de funcionalidade pelos métodos descritos acima, as respectivas deficiências foram mapeadas e classificadas em função da sua natureza através de uma simbologia própria representada nas peças desenhadas.

No Anexo 3 a título de exemplo, serão apresentados alguns excertos das Peças Desenhadas de projecto nos quais se pode observar o levantamento de anomalias e a caracterização estrutural.

- **Verificação Estrutural:** Na análise de arcos e abóbadas de alvenaria existem três tipos de verificações estruturais que podem ser usadas: as de equilíbrio (estática), de geometria (compatibilidade) e de resistência do material (estado de tensões). Para estruturas como a do Claustro do Convento das Maltezas, as duas primeiras verificações têm um papel



Figura 355 - Observação buroscópica de cavidades em abóbada
[LEB (2010a)]



Figura 356 - Execução de carotes para observação do material de carregamento das abóbadas
[LEB (2010a)]

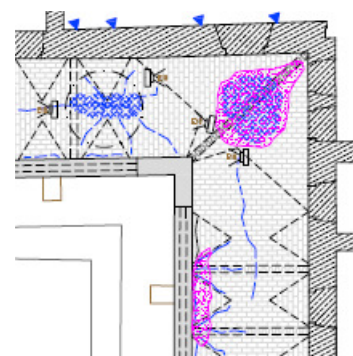
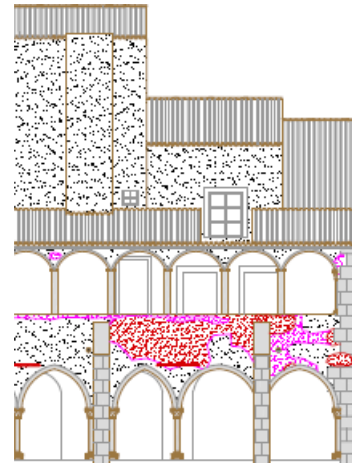


Figura 357 - Excerto de desenho de mapeamento e classificação das anomalias
[LEB (2010a)]



Figura 358 - Depósitos de sujidade e manchas em revestimentos
[LEB (2010a)]



Figura 359 - Depósitos biológicos em contrafortes
[LEB (2010a)]



Figura 360 - Destacamento de revestimentos
[LEB (2010a)]



Figura 361 - Elementos fissurados ou com lacunas
[LEB (2010a)]

fundamental na avaliação das condições de segurança em detrimento da terceira, uma vez que o estado de tensões instalado é normalmente muito reduzido face aos valores limites de resistência dos materiais existentes. Desta forma, a verificação estrutural incidiu essencialmente sobre o estudo do equilíbrio e da geometria das abóbadas e elementos de suportes com o objectivo de compreender a origem das deformações observadas e de avaliar o nível de segurança dos elementos resistentes.

8.3.3.2 | AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO, DA SEGURANÇA E DIAGNÓSTICO

a) Avaliação do estado de conservação:

O quadro patológico analisado compreendeu deficiências da seguinte natureza³²²:

Anomalias não estruturais:

- **Depósitos de sujidade:** Em revestimentos devidos à deposição de poeiras e sujidade acumulada, sobretudo nas áreas não lavadas pela água da chuva no exterior do claustro.
- **Manchas:** À semelhança dos depósitos de sujidade, em todas as nas áreas não lavadas existiam manchas de cor distinta localizada, mais clara ou escura, devida à presença de materiais estranhos ao substrato.
- **Depósitos biológicos:** Em contrafortes, associados à presença de humidade e/ou matéria orgânica, decorrem do desenvolvimento vegetação, musgos e bolores.
- **Esboroamento:** Em revestimentos com causa provável na presença de água, amolecimento dos materiais, cristalização de sais, fendilhação e roturas.
- **Destacamentos:** De revestimentos por perda de aderência ao suporte, devido a teor de água elevado no suporte e a fenómenos de fendilhação.
- **Fendilhação generalizada não orientada:** Em revestimentos de abóbadas.
- **Elementos fissurados ou com lacunas:** Nos fustes, capiteis e base dos elementos de suporte em pedra do claustro, ocorrem em muitos casos fissurações que podem envolver perda de fragmentos de material.

³²² LEB, *ob. cit.*, (2010a), pp.5-7.

Anomalias estruturais:

- **Deformação acentuada dos contrafortes e elementos verticais das fachadas:** Como resultado dos impulsos das abóbadas, e da deficiente resposta da camada superior do terreno de fundação em terra vegetal compactada que cede face ao excesso de pressões em um dos lados das sapatas, verifica-se a deformação acentuada por rotação dos contrafortes e elementos verticais das fachadas.
- **Juntas abertas ou não funcionais:** Entre blocos nos contrafortes devido á perda de argamassa de assentamento e ao deslocamento destes elementos por rotação na direcção do centro do claustro.
- **Fendas orientadas nas abóbadas do primeiro piso junto à fachada:** Fissuras ou fendas com direcção e abertura bem definida e com comprimento considerável, devido à rotação do plano da fachada na direcção do centro do claustro.
- **Deformação dos elementos de madeira da cobertura:** Cuja secção transversal não é a mais apropriada, e que estão directamente sujeitos à acção das águas pluviais e da humidade, degradando-se progressivamente, resultando no acréscimo de impulsos horizontais no topo dos contrafortes da fachada.
- **Deformação com fendilhação em duas direcções das abóbada do primeiro piso:** Nesse caso os impulsos são ainda mais gravosos, dada a frequente existência de sobrecargas de utilização. As abóbadas do primeiro piso encontram-se deformadas e fendilhadas no sentido longitudinal, na sua generalidade.
- **Rotura da abóbada em arco abatido de cobertura:** Devido ao acréscimo de impulsos horizontais nos contrafortes ao nível da cobertura e à deformação global dos contrafortes e apoios das das abóbadas, facto que também resulta no acréscimo de esforços instabilizantes, foi provocada a deformação extrema com rotura do próprio corpo de uma das abóbadas da cobertura.

b) Avaliação da segurança:

Para além da análise qualitativa do quadro patológico, foi neste caso e em paralelo verificada a segurança estrutural através de uma análise quantitativa.



Figura 362 - Juntas abertas ou não funcionais em contrafortes [LEB (2010a)]



Figura 363 - Fendas orientadas nas abóbadas do primeiro piso junto à fachada [LEB (2010a)]



Figura 364 - Deformação com fendilhação em duas direcções das abóbada do primeiro piso [LEB (2010a)]

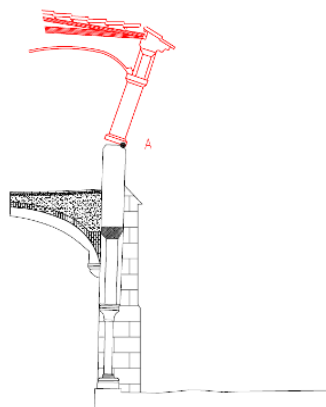


Figura 365 - Possível mecanismo de colapso em torno do ponto A [LEB (2010a)]

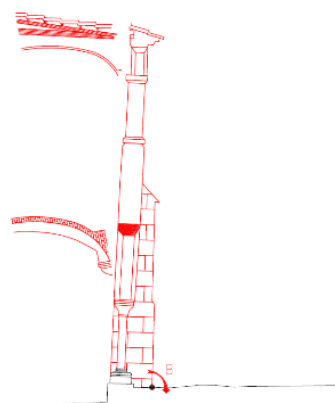


Figura 366 - Possível mecanismo de colapso em torno do ponto B [LEB (2010a)]

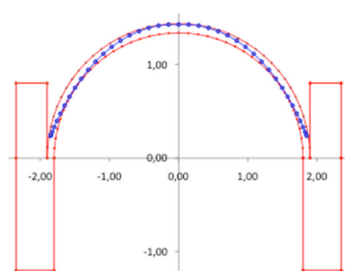


Figura 367 - Simulação numérica das linhas de pressão da abóbada do primeiro piso através de meios computacionais [LEB (2010a)]

Após a caracterização das propriedades dos materiais e das acções actuantes, foram então definidos modelos de comportamento estrutural que simulassem o funcionamento dos elementos da construção.

Com base nas anomalias estruturais e de funcionalidade identificadas a verificação de segurança da estrutura baseou-se em dois possíveis mecanismos de colapso:

- Mecanismo de colapso em torno do ponto de assentamento dos pilares que sustentam a abóbada de cobertura do piso superior e a estrutura do telhado (identificado como ponto A).
- Mecanismo de colapso em torno do ponto de assentamento dos contrafortes que escoram e contribuem na sustentação da abóbada do piso intermédio (identificado como ponto B).

Ambos os casos foram analisados numericamente, com recurso a métodos gráficos de equilíbrio. As relações Momento Estabilizante / Momento Instabilizante calculadas conduziram nas duas situações a valores superiores a 1, pelo que não se garantia a verificação da segurança dos contrafortes.

Em paralelo com esta verificação foi analisada a segurança das abóbadas e realizada a determinação dos seus impulsos sobre os elementos verticais em estudo.

Sabendo que o equilíbrio num arco e abóbada de alvenaria pode ser verificado através da linhas de pressões e, que essa linha teórica, representa um caminho possível para a resultante das forças através dos elementos estruturais, para uma estrutura estar em equilíbrio, unicamente em compressão, basta que exista uma linha de pressão que se encontre dentro dos limites geométricos da estrutura analisada. Com base neste princípio foram elaborados modelos geométricos, para a simulação de linhas de pressão dos elementos estruturais em estudo.

Os modelos foram calibrados tendo em conta a geometria da estrutura, as características dos materiais e a localização das cargas aplicadas, tendo sido verificada a segurança das abóbadas e arcos analisados.

c) Conclusões e diagnóstico:

Da análise qualitativa do estado de conservação e da análise quantitativa da segurança estrutural, concluiu-se em resultado dos impulsos das abóbadas, e da deficiente resposta do terreno de fundação havia uma deformação acentuada por rotação dos

contrafortes e elementos verticais das fachadas. Por consequência esta rotação faria com que as abóbadas de deformassem ou fendilhassem em alguns casos. Verificada a segurança das abóbadas, não foi no entanto verificada a dos contrafortes. Importaria assim definir acções que permitissem a estabilização e posterior consolidação do conjunto abóbadas/elementos de suporte.

A intervenção a realizar destinar-se-ia então a resolver anomalias estruturais e não estruturais. Consequentemente seriam necessárias:

- Eliminação das causas das anomalias.
- Introdução de elementos de reforço para contenção dos impulsos e controlo das rotações das bases dos contrafortes.
- Intervenções de consolidação e reparação estrutural que permitissem restituir o monolitismo das peças fendilhadas.
- Operações de manutenção e de reparação não estrutural.

8.3.4 | ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS DE INTERVENÇÃO

Através do diagnóstico desenvolvido foi elaborada uma metodologia de intervenção desenvolvida em duas fases. Na primeira far-se-ia a estabilização estrutural do claustro e na segunda a conservação das superfícies de cobertura, pavimentos e paredes.

No anexo 4 apresenta-se num formato esquemático o resumo da metodologia de intervenção

A 1ª Fase da metodologia de intervenção correspondente a acções estabilização estrutural do claustro deveria compreender os seguintes trabalhos:

- **Limpeza dos tirantes existentes:** Limpeza e tratamento dos tirantes metálicos existentes por aplicação de um produto conversor de ferrugem e protecção.
- **Selagem e injeção de fendas em abóbadas:** Deveria ser realizada a selagem simples em fissuras ou fendas estabilizadas com largura inferior a 0,5mm e a selagem e injeção em fendas estabilizadas com largura superior a 0,5mm.
- **Reconstrução parcial da abóbada da cobertura:** A reconstrução deveria compreender o escoramento provisório da área de intervenção e da área envolvente, a demolição e remoção dos pavimentos e elementos estruturais cerâmicos pelo extradorso,

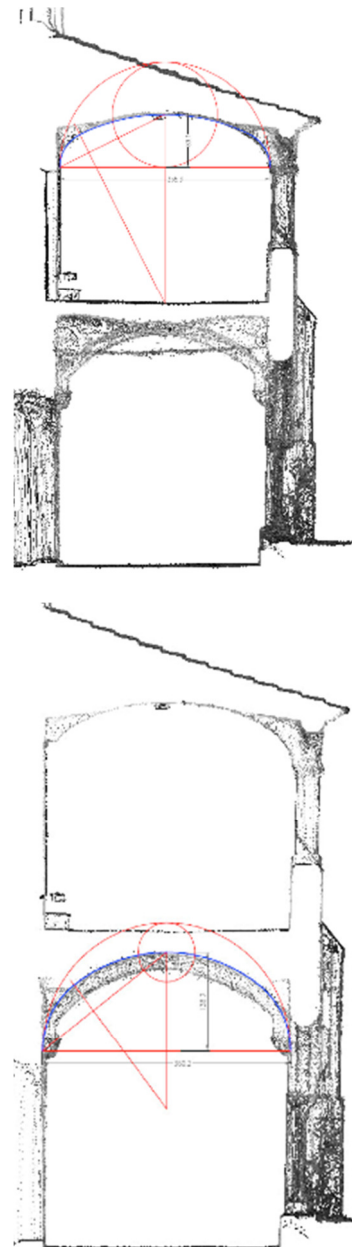


Figura 368 - Defenição geométrica rigorosa das abóbadas do primeiro piso e cobertura através dos resultados da nuvem de pontos do levantamento3D [LEB (2010a)]

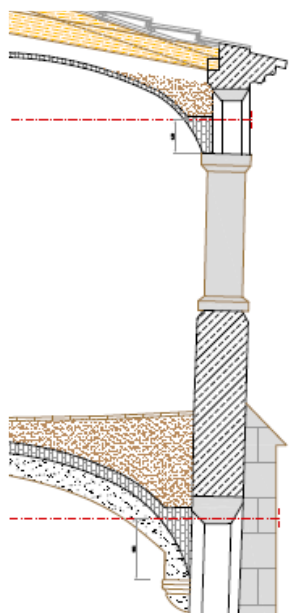


Figura 369 - Execução de tirantes ao nível do primeiro piso e cobertura
[LEB (2010a)]

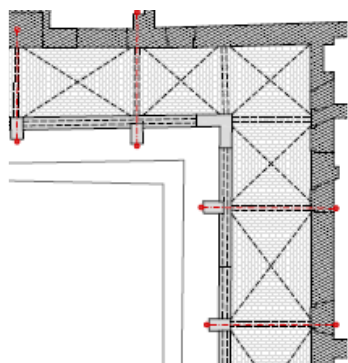


Figura 370 - Excerto da planta de localização dos tirantes ao nível do primeiro piso
[LEB (2010a)]

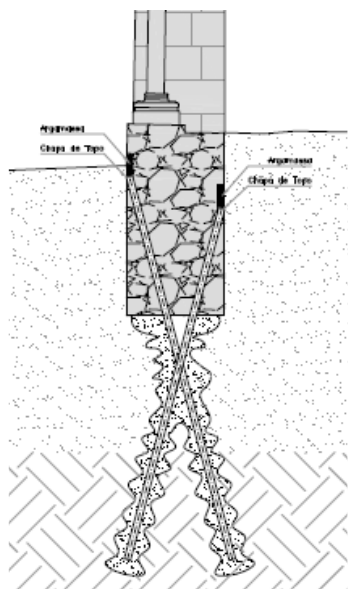


Figura 371 - Execução de microestacas

a reconstrução da abóbada com novos elementos cerâmicos com geometria idêntica à existente.

- **Execução de tirantes ao nível do primeiro piso e cobertura:** Deveria ser executado o reforço das abóbadas do primeiro piso e cobertura, sendo os tirantes constituídos por sistemas de em aço inox, incluindo barras de trespasse com sistema de rótulas, conectores, esticadores e chapas de ancoragem.
- **Reabilitação dos Contrafortes:** as juntas existentes nos contrafortes seriam alvo de selagem e injeção com argamassas compatíveis com base de cal.
- **Execução de microestacas:** Deveria ser realizada a consolidação das fundações através da execução de microestacas auto perfurantes. A incerteza nos elementos enterrados poderia levar à necessidade de proceder a ajustes na definição do reforço das fundações. As microestacas seriam aplicadas em cerca de 10 metros de profundidade, de modo a que nos primeiros metros atravessassem os elementos de alvenaria das fundações existentes e nos restantes o terreno de fundação
- **Consolidação das fundações:** a consolidação das fundações existentes deveria ser realizada pelo lado exterior do claustro mediante a aplicação de caldas de injeção, constituídas por microcimentos de baixa viscosidade com baixo teor em sais e alta resistência aos sulfatos, de modo a assegurar uma selagem rígida das juntas, fissuras e espaços vazios.

A 2a Fase da metodologia de intervenção correspondente a acções de conservação das superfícies de cobertura, pavimentos e paredes compreenderia os seguintes trabalhos:

- **Substituição da cobertura de madeira:** Substituição dos elementos estruturais de madeira existentes por uma estrutura equivalente, sendo a execução desta realizada com elementos de madeira maciça de pinho bravo devidamente tratada, de classe de qualidade e resistência especificadas.
- **Revestimento de Cobertura:** Colocação de sistema de subtelha incluindo todos os respectivos componentes (ripas de PVC, telas de remate, fixações e ligações).
- **Revestimentos e Pinturas:** Tratamento geral de revestimentos e pinturas, incluindo operações de limpeza, reparação, consolidação e protecção, conforme definido no Projecto de Arquitectura.

8.4 | ANTIGOS CELEIROS DA EPAC EM ÉVORA.

8.4.1 | ÂMBITO DOS TRABALHOS

Com data de construção desconhecida e escassa informação histórica disponível, sabe-se que Edifício dos Ex-Celeiros da EPAC, caracterizado pela sua extensa estrutura abobadada, passou ao longo dos anos por intervenções várias. Da consulta dos documentos constantes nos processos existentes na Câmara Municipal de Évora, verifica-se a o registo de intervenções de reparação e reabilitação desde meados do século passado, nas quais se incluíam desde simples operações de manutenção ao reforço estrutural das suas fundações.

Após anos de abandono, em 2007, com o objectivo de definir os procedimentos de reabilitação necessários para o futuro aproveitamento destes espaços que apresentavam graves problemas funcionais e estruturais, a Câmara Municipal de Évora lança o concurso para a elaboração do *Projecto de Reabilitação Estrutural e Trabalhos Complementares de Diagnóstico do Edifício dos Ex-Celeiros da EPAC*. Da autoria da *LEB-Projectistas, Designers e Consultores em Reabilitação de Construções*, sob coordenação de Thomaz Ripper, o projecto foi desenvolvido por João Ferreira, com a colaboração de Andreia Tomás.

No desenvolvimento dos trabalhos foram realizadas sucessivamente ao longo de três anos três fases de trabalho distintas: o Relatório de Avaliação após a inspecção e diagnóstico do estado de conservação da obra existente, identificando os agentes agressores, mecanismos de degradação e níveis de risco associados; o Estudo Prévio que permitiu avaliar a capacidade de carga da estrutura existente e investigar algumas hipóteses para a concretização das intervenções de reforço; e finalmente o Projecto de Execução para a Reabilitação Estrutural, definindo a metodologia de reparação e de reforço a executar com vista a alcançar os objectivos propostos.

Será com base nos dados constantes nas Memórias de Cálculo e Justificativas, Condições Técnicas Especiais e Peças Desenhadas resultantes, que serão apresentados os resultados da *Investigação, análise e de diagnóstico*, bem como a exposição das *Estratégias e técnicas de intervenção* ³²³.



Figura 372 – Fachada Norte e portão principal
[LEB (2010c)]

³²³ Ver pontos 8.4.3 e 8.4.4.

8.4.2 | DESCRIÇÃO E HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO³²⁴

Originalmente geridos pela Empresa Pública de Abastecimento de Cereais (EPAC), os espaços do edifício destinavam-se a armazenar o excesso da produção cerealífera da região, impedindo a especulação de preços e disciplinando a distribuição dos cereais.

Com a extinção da EPAC em 1991, após alguns anos de degradação progressiva, o Edifício dos Ex-Celeiros da EPAC foi sofrendo algumas intervenções e avaliações estruturais, das quais se salientam:

- Obras de substituição das telhas de cobertura (1964)
- Obras de Reparação no exterior dos edifícios, em rebocos, caixilhos e pinturas (1981)
- Parecer do LNEC sobre o comportamento estrutural das construções, com a descrição das características construtivas dos edifícios e das anomalias então detectadas (1998).
- Relatório Geotécnico da BELBETÕES referente a abertura de quatro poços de inspecção e seis sondagens com furacão à percussão (1999).
- Projecto de Reforço de Fundações realizado pela TRIEDE com o objectivo de consolidar estruturalmente as edificações (2000).
- Relatório sobre controlo de deformações realizado pela CURVA de NÍVEL com medições das deformadas realizadas por métodos topográficos (2000).

Inserido no núcleo Histórico de Évora e apesar das vicissitudes, da falta de recursos e dos graves problemas estruturais e funcionais que apresentava, hoje, parte dos espaços serve de armazém à Biblioteca Municipal de Évora e a outra é utilizada como espaço cultural destinado à promoção da Música e da Dança, sendo conhecido como *Espaço Celeiros*.

Os Ex-Celeiros da EPAC são constituídos por um conjunto de três edifícios identificados como A, B e C.



Figura 373 – Planta do conjunto com identificação dos edifícios A, B e C
[LEB (2008)]

³²⁴ Veja-se LEB (2008) – *Reabilitação Estrutural dos Antigos Celeiros da EPAC, Évora: Relatório de Avaliação, Trabalhos Complementares de Diagnóstico - Memória descritiva e Justificativa*, Cascais.

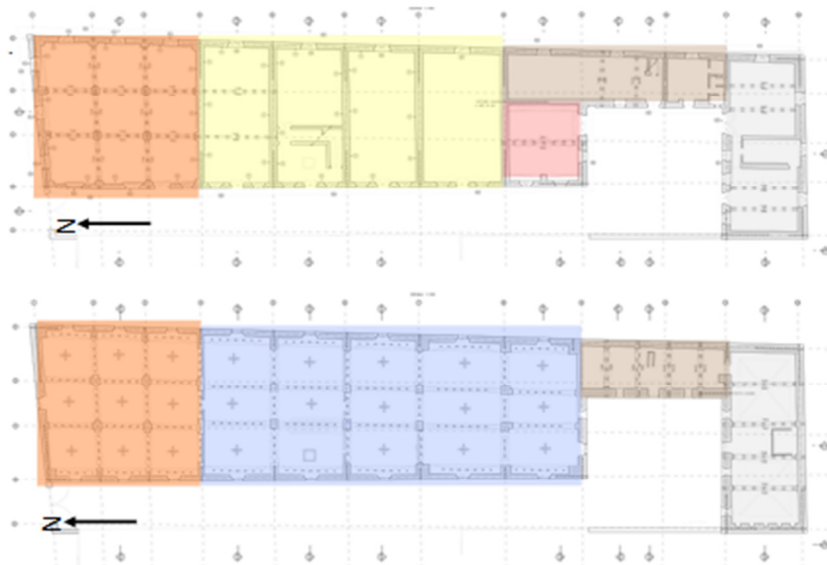


Figura 374 – Planta geral de coberturas do Piso 0
[LEB (2009)]

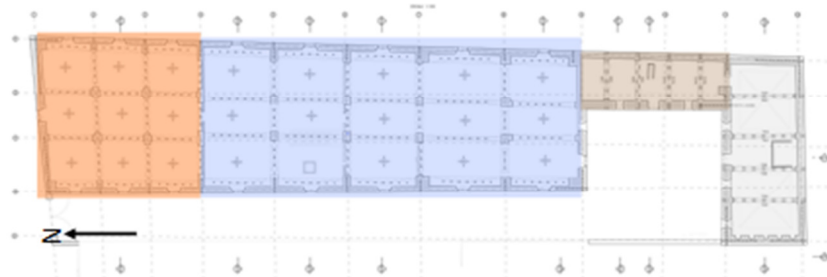


Figura 375 – Planta geral de coberturas do Piso 1
[LEB (2009)]

a) Edifício A

De planta rectangular e composto por dois pisos, o edifício A é limitado a Norte pela Rua do Cicioso e a Este pela Rua da Rampa. No entanto é na fachada Oeste que se localizam praticamente todos os acessos ao interior, cadenciadamente distribuídos pelos seus 70 m de comprimento.

No piso térreo, o espaço mais a Norte (a laranja) apresenta uma geometria quadrada em planta e é coberto por nove abóbadas de aresta, que por sua vez são suportadas na periferia por quatro paredes (três de fachada e uma interior) e no interior por quatro pilares. Os espaços centrais (a amarelo) apresentam uma geometria rectangular em planta e uma cobertura constituída por abobadas abatidas suportadas pelas paredes laterais interiores. A Sul do edifício (a magenta) o espaço térreo é caracterizado em planta por uma geometria aproximadamente quadrada (8.8×10m), sendo o vão do tecto vencido por uma abóbada abatida. À semelhança do piso térreo, no piso superior (a laranja) o espaço a Norte é coberto por nove abóbadas de aresta, enquanto que a cobertura do espaço central, agora de maiores dimensões (a azul), é constituída por arcos e abóbadas suportados conjuntamente por pilares interiores e pelas paredes de fachada.

b) Edifício B

Adjacente ao anterior, encontramos o edifício B também de dois pisos. Este apresenta dimensões mais reduzidas e uma geometria em planta de forma rectangular (17×9m) com fachadas a Este e Oeste.



Figura 376 – Abóbadas de aresta
[LEB (2008)]



Figura 377 – Abóbadas de berço
[LEB (2008)]



Figura 378 – Abóbadas abatidas
[LEB (2008)]



Figura 379 – Abóbadas de barrete de clérigo
[LEB (2008)]



Figura 380 – Parede de alvenaria interior
[LEB (2008)]



Figura 381 – Pormenor de aparelhamento de um pilar de alvenaria cerâmica interior
[LEB (2008)]



Figura 382 – Material de enchimento das abóbadas - carrego
[LEB (2008)]



Figura 383 – Cobertura em telha cerâmica
[LEB (2008)]



Figura 384 – Pormenor de cabeça de uma microestaca de reforço existente na base da fachada Oeste
[LEB (2008)]

Ao nível térreo, o vão que recobre o espaço mais a norte é vencido por abóbadas de aresta e o do espaço a sul por abóbadas de berço, ambas suportadas pelas paredes de fachada. Junto às janelas existem ainda abóbadas secundárias de luneta horizontal. O piso superior, coberto por uma abóbada de berço, é composto por uma única divisão, permitindo o acesso ao piso superior do edifício C.

c) Edifício C

Possuindo quatro fachadas (Norte, Sul; Este e Oeste), o Edifício C à semelhança dos anteriores é composto por dois pisos, apresentando uma geometria rectangular (26x11.5m).

As suas duas salas principais são cobertas no piso térreo por abóbadas de barrete de clérigo, apoiadas nas paredes de fachada e nas paredes interiores. Junto às janelas existem ainda abóbadas de luneta horizontal. No piso superior, com acesso pelo edifício B, o vão é vencido por uma abóbada de berço, suportada pelas paredes de fachada.

Todos os edifícios que constituem o conjunto dos Ex-Celeiros da EPAC, apresentam em geral paredes verticais de grande espessura (0,70 a 1,20 m) compostas por elementos pétreos graníticos, acomodados por elementos secundários cerâmicos e argamassados com argamassa de cal aérea ou bastarda e posteriormente caiados. Os pilares existentes são na sua maioria de alvenaria de tijolo maciço de geometria regular (32x16x7 cm).

Os tectos e pisos constituem-se por abóbadas de tijolo maciço rebocadas e caiadas inferiormente, onde assentam os pavimentos de ladrilhos cerâmicos. Estes são na generalidade assentes através de uma argamassa pobre sobre um material de enchimento arenoso, o carrego, que faz parte do sistema estrutural das abóbadas, funcionando como enchimento estabilizador do extradorso.

As coberturas, na sua maioria inclinadas, apresentam estrutura de madeira e são revestidas a telha cerâmica.

Segundo o projecto de reforço das fundações realizado pela TRIEDE as fundações originais das paredes existentes seriam constituídas por arcos de arcos de alvenaria de tijolo maciço apoiados em embasamento de alvenaria de pedra irregular situadas a profundidades que entre 2,0 m e os 5,5 m. Estas foram posteriormente reforçadas com microestacas num total de 180.

É ainda de salientar o sistema de revestimentos encontrado. Constituído por camadas múltiplas de argamassa à base de cal e areia, possuindo características de baixa retração, fraca resistência mecânica, elevada porosidade e boa aderência à base, proporciona uma boa compatibilidade com o suporte, permitindo a evaporação da água. Como resultado de operações de reparação e/ou substituição mais recentes, foram encontradas em algumas zonas argamassas à base de cimento Portland e membranas impermeabilizantes de cor negra, com todas as desvantagens associadas.

8.4.3 | INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DE DIAGNÓSTICO

8.4.3.1 | METODOLOGIA DE TRABALHOS ADOPTADA

A Investigação, análise e estabelecimento do diagnóstico dos edifícios dos Ex-Celeiros da EPAC incluiu os seguintes trabalhos fundamentais:

- Investigação Histórica e recolha de informação
- Inspeção visual *in situ*
- Levantamento 3D Laser
- Ensaios de caracterização
- Tratamento da informação recolhida
- Avaliação do estado de conservação, da segurança e diagnóstico

Com particular relevância nesta intervenção, destacam-se:

- **Inspeção visual:** À semelhança dos casos anteriores, recorrendo a meios visuais e utilizando equipamento de prospecção pouco intrusivo, procedeu-se ao registo fotográfico, à caracterização geométrica e material dos elementos existentes verificando a conformidade geométrica entre as plantas fornecidas pela Câmara Municipal de Évora e o existente, ao registo e mapeamento de todas as anomalias existentes, dando-se especial atenção à identificação dos agentes agressores e acções actantes. Durante esta inspecção foi ainda avaliada a espessura das paredes, verificadas as sobrecargas de utilização de alguns compartimentos, identificadas algumas das alterações e intervenções anteriores mais significativas, bem como os sistemas de funcionamento estrutural existentes.
- **Ensaios de caracterização:** Como complemento da inspecção, foi realizada a medição da abertura de com fissurómetro e fita



Figura 385 – Membrana impermeabilizante em parede interior [LEB (2008)]



Figura 386 – Medição de fendas com fissurómetro e fita métrica [LEB (2008)]



Figura 387 – Medição de humidade com humidímetro [LEB (2008)]



Figura 388 e Figura 389 – Corte na parede de alvenaria para instalação de macacos planos; Realização do ensaio [LEB (2008)]



Figura 390 – Fendilhação em paredes de alvenaria [LEB (2008)]



Figura 391 – Destacamento de revestimentos [LEB (2008)]

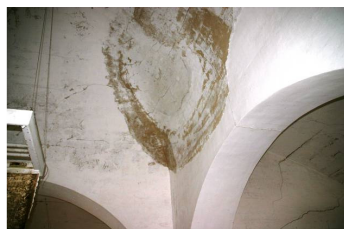


Figura 392 – Manchas de humidade em abóbadas [LEB (2008)]



Figura 393 – Manchas de humidade em parede interior [LEB (2008)]



Figura 394 – Manchas de humidade em parede exterior [LEB (2008)]

métrica, medições de humidade nas paredes de alvenaria exteriores mediante a utilização de um humidímetro e ensaios de macacos planos. Dos ensaios de macacos planos realizados, dois foram duplos para avaliação dos módulos de deformabilidade, e os restantes seis foram simples para a determinação dos níveis de tensão.

- **Caracterização do terreno de fundação:** A informação relativa ao tipo de solo sobre o qual estão assentes as fundações encontrava-se descrita no relatório de inspecções realizado pela empresa BELBETÕES, constatando-se que os solos existentes são do tipo aterro arenoargiloso, com ocorrência ocasional de pedras e de elementos cerâmicos, de capacidade reduzida e heterogénea.
- **Tratamento da informação recolhida:** Após identificar e avaliar as anomalias estruturais e de funcionalidade pelos métodos descritos acima, as respectivas deficiências foram mapeadas e classificadas em função da sua natureza através de uma simbologia própria representada nas peças desenhadas

No Anexo 5 a título de exemplo, serão apresentados alguns excertos das Peças Desenhadas de projecto nos quais se pode observar o levantamento de anomalias e a caracterização estrutural.

8.4.3.2 | AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO, DA SEGURANÇA E DIAGNÓSTICO

a) Avaliação do estado de conservação:

O quadro patológico analisado durante a primeira fase dos trabalhos compreendeu a observação de deficiências da seguinte natureza³²⁵:

Anomalias não estruturais:

- **Fendilhação e destacamento dos revestimentos:** Com particular incidência nas faces exteriores das fachadas principais.
- **Manchas de humidade:** Com ocorrência maioritária a meia altura das paredes do rés-do-chão e nas abóbadas dos tectos do primeiro piso.

Anomalias estruturais:

³²⁵ LEB, *ob. cit.*, (2010a), pp.5-7.

- **Fendilhação nas paredes de alvenaria:** A principal e mais preocupante anomalia detectada nas paredes de alvenaria que suportam o conjunto edificado são as fendas com aparente comportamento activo. Sendo a fachada Norte do edifício A a zona mais afectada, foram aí detectadas aberturas na ordem dos 16 mm na base da fachada exterior e aberturas ainda superiores (30 mm) no interior ao nível do primeiro piso. Verificava-se ainda a ocorrência de fendas com abertura significativa na nas fachadas Oeste e Este onde foram registadas fendas localizadas junto aos cantos das janelas dos pisos superiores, orientadas para os cantos das janelas dos pisos inferiores e na fachada Sul do edifício C onde se detectou uma fenda vertical de cima a baixo, pelo exterior.
- **Deformações nas paredes de alvenaria de fachada:** Associadas aos problemas de fendilhação, foram detectadas deformações nas paredes de alvenaria de fachada, nomeadamente na zona norte do edifício A. Foram identificadas essencialmente dois tipos de deformação: deformadas significativas com deslocamento crescente até ao topo (*deformada a*), onde se registaram valores relativamente à base na ordem de 8 cm, e deformadas tipo *barriga* com valores máximos na ordem dos 7 cm de deslocamento (*deformada b*).
- **Fendilhação nos pilares de alvenaria de tijolo:** Na generalidade não foram identificadas anomalias exteriores visíveis, esta fendilhação vertical só foi detectada nos pilares existentes na zona Norte do edifício A aquando da abertura de janelas para a realização dos ensaios de macacos planos.
- **Fendilhação nas abobadas:** Verificou-se que a principal anomalia observada nas abóbadas de ambos os pisos é a fendilhação. Esta tem principal incidência na zona Norte do edifício A, acompanhando os principais problemas nas paredes de alvenaria, tendo sido detectadas níveis de fendilhação significativos tanto nos tectos como nos pavimentos do primeiro piso, entre juntas de ladrilhos cerâmicos que tendo sido anteriormente reparadas voltaram a abrir. Foram ainda detectadas fendas com alguma relevância na abóbada de cobertura do edifício C.
- **Deformações elevadas nas abóbadas:** Associadas à fendilhação verificada, nas coberturas do piso térreo e do primeiro piso, com principal incidência nas zonas Norte e Sul do edifício A, foram verificadas deformações acentuadas nas abóbadas.

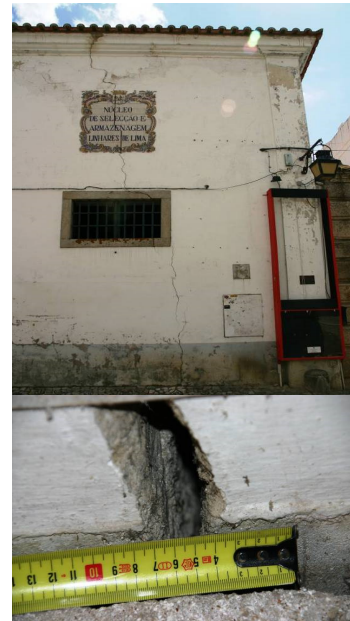


Figura 395 – Fendilhação nas paredes de alvenaria [LEB (2008)]



Figura 396 – Deformação em paredes de alvenaria [LEB (2008)]



Figura 397 – Fendilhação no pavimento - zona sul do edifício A [LEB (2008)]

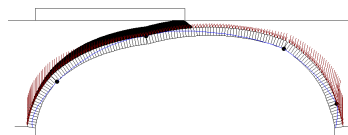


Figura 398 – Determinação da máxima capacidade de carga das abobadas individuais com recurso a programas de cálculo automático [LEB (2009)]

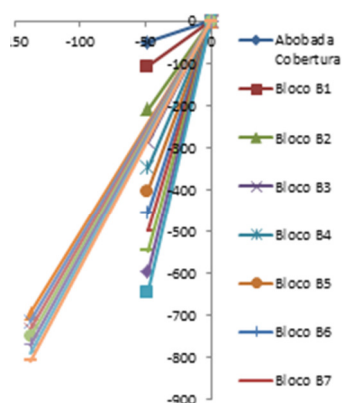


Figura 399 – Exemplo de Diagrama funicular das paredes exteriores para a ausência de sobrecarga [LEB (2009)]

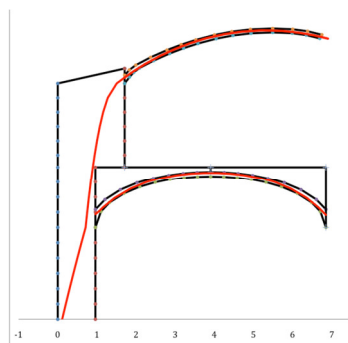


Figura 400 – Diagrama de equilíbrio para a ausência de sobrecarga [LEB (2009)]

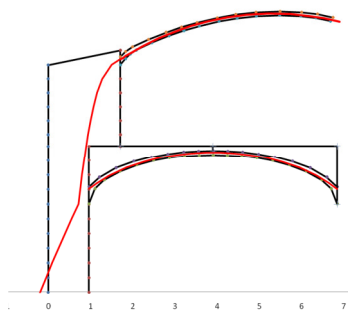


Figura 401 – Diagrama de equilíbrio para sobrecarga de $2,5\text{kN/m}^2$ [LEB (2009)]

b) Avaliação da segurança³²⁶:

Para a garantia da segurança do conjunto dos edifícios dos Ex-Celeiros da EPAC, e tendo presente a importância dos elementos de suporte dos impulsos verticais e horizontais provenientes das estruturas arqueadas, foram realizadas essencialmente na fase do Estudo Prévio, verificações em sistemas ou esquemas estruturais distintos, considerando sucessivos graus de complexidade e de aproximação à realidade. Deste modo foi realizada: a verificação individual da capacidade de carga das abóbadas; a verificação do conjunto abóbadas e paredes exteriores; o dimensionamento do reforço às acções verticais.

Já na fase de Projecto de Execução foi efectuado dimensionamento do reforço às acções sísmicas, o reforço das vergas sobre vãos de janelas e portas e a verificação da segurança dos pilares³²⁷.

- Verificação individual da capacidade de carga das abóbadas

A avaliação das condições de segurança das abóbadas consistiu na determinação da máxima capacidade de carga que estes elementos podem suportar. Este cálculo é baseado na teoria da análise limite aplicada a modelos de blocos rígidos, permitindo determinar o factor de segurança para o mecanismo de colapso mais condicionante.

Para tal, foram modeladas num programa de cálculo automático, fatias com um 1.0m de largura às quais foram associadas o correspondente número de blocos que constituem as abobadas. A geometria destes elementos foi definida com base nos levantamentos recolhidos *in situ*.

O processo computacional consistiu em calcular para cada tipo de abóbada existente o estado de equilíbrio para uma carga inicial e determinar a correspondente linha de pressões. As cargas foram então gradualmente incrementadas até ao ponto em que a geometria não conseguia garantir o equilíbrio, determinando-se assim a carga máxima para o mecanismo

³²⁶ LEB (2009) – *Reabilitação Estrutural dos Antigos Celeiros da EPAC, Évora: Estudo Prévio - Memória descritiva e Justificativa*, Cascais e LEB (2010c) – *Reabilitação Estrutural dos Antigos Celeiros da EPAC, Évora: Projecto de Execução e Trabalhos Complementares de Diagnóstico – Cálculos e Memória descritiva e Justificativa*, Cascais.

³²⁷ Estas três verificações não serão aqui apresentadas, para mais informações consultar LEB, *ob. cit.*, (2010c).

considerado. que no caso mais desfavorável foi correspondente a uma sobrecarga de 3 kN/m^2 para um factor de segurança de 2.

No Anexo 6 como exemplo, é apresentada verificação de uma abóbada tipo individual.

- Verificação do conjunto abóbadas e paredes exteriores

A avaliação do nível de segurança do conjunto abóbadas e paredes exteriores incidiu sobre o estudo da estabilidade, baseado, à semelhança da anterior verificação, no conceito de linhas de pressão. A análise estrutural foi efectuada com recurso ao método gráfico de equilíbrio e auxiliada numericamente através de meios computacionais para a simulação de linhas de pressão dos elementos estruturais em estudo.

Para cada solicitação (cargas aplicadas no pavimento) foram determinadas linhas de pressões tais que as resultantes se encontrassem dentro dos limites geométricos das secções. Verificou-se que para a utilização de uma sobrecarga de $2,5 \text{ kN/m}^2$ a secção não garantia o equilíbrio provocando a formação de uma rótula por rotação na base da parede exterior e consequentemente de um possível mecanismo de colapso.

- Dimensionamento de soluções de reforço às cargas actuantes

Das verificações da segurança realizadas para as abóbadas individualmente e para o conjunto abóbadas e paredes exteriores, confirmou-se necessidade de realizar o seu reforço estrutural. Foram então estudadas duas soluções:

A primeira solução consistia em transmitir os impulsos horizontais das abóbadas de pavimento para tirantes metálicos, aliviando, deste modo, as paredes exteriores.

A segunda solução de reforço consiste no aumento da secção da abóbada de pavimento mediante o incremento da sua secção geométrica.

c) Conclusões e Diagnóstico³²⁸

Após o estudo dos resultados dos levantamentos e trabalhos de verificação qualitativa e quantitativa realizados, foi finalmente

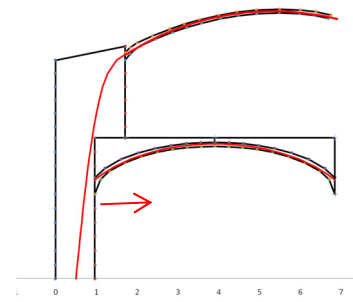


Figura 402 – Solução de equilíbrio para sobrecarga de $2,5 \text{ kN/m}^2$ com tirante

[LEB (2009)]

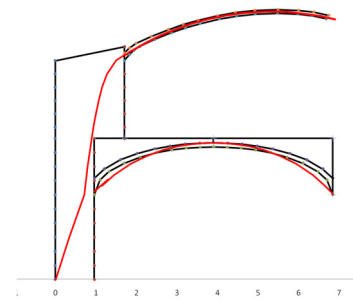


Figura 403 – Secções críticas passíveis de serem aumentadas

[LEB (2009)]

³²⁸ Resultado da compilação das conclusões do Relatório de Avaliação, Memória de Cálculo e Justificativa do Estudo Prévio e Memória de Cálculo e Justificativa do Projecto de Execução. Veja-se LEB, *ob. cit.*, (2008); LEB, *ob. cit.*, (2009); LEB, *ob. cit.*, (2010c).

possível inferir sobre o estado de conservação e segurança do edifício e formular um diagnóstico.

Concluiu-se então, que as anomalias detectadas nos elementos estruturais estariam directamente associadas à manifestação passada de fenómenos de instabilidade nas fundações. Segundo as indicações constantes nos trabalhos anteriores e confirmadas pelo levantamento desenvolvido, os edifícios em estudo continuariam a sofrer de fenómenos de assentamento e de rotação de fundações. Assentamentos e rotações, manifestados através das fendilhações e deformações detectadas nas paredes de alvenaria e abóbadas do conjunto. Apesar de aparentemente resolvidos pela execução de microestacas num passado não muito distante, estes fenómenos poderiam no entanto, estar agora relacionados com escavações efectuadas nas proximidades dos edifícios ou com a presença de elevadas cargas de utilização.

Em estruturas arqueadas de alvenaria, os pequenos movimentos dos apoios normalmente conduzem a novas redistribuições de esforços que conseqüentemente poderão causar fendilhação das construções e, em caso limite, a formação de rótulas, tornando-as isostáticas e instáveis. Tal facto poderá provocar o deslocamento do extradorso das abóbadas e o abatimento dos pavimentos.

Embora a origem das anomalias parecesse estar eliminada, as suas conseqüências, deveriam ser corrigidas e restabelecidos os níveis de monolitismo e de segurança. Foi então necessário especificar as disposições construtivas calculadas, não só capazes de equilibrar os elementos afectados, mas também de os reforçar para futuras acções estabilizadoras, como acções sísmicas ou novos assentamentos de fundações.

Para além destas conclusões, as anomalias não estruturais verificadas nos revestimentos devido à humidade ascensional nas paredes e à água de infiltração nas coberturas deveriam ser corrigidas através de operações de manutenção e de reparação.

8.4.4 | INTERVENÇÃO REALIZADA³²⁹

Da análise do estado de conservação, verificação da segurança e do diagnóstico desenvolvido foi elaborada uma metodologia de intervenção que compreendia os seguintes grupos de trabalhos:

³²⁹ Veja-se LEB, *ob. cit.*, (2010c).

- Trabalhos de reforço para garantir o suporte das futuras sobrecargas de utilização.
- Trabalhos de reforço para melhorar comportamento face às acções sísmicas.
- Tarefas várias de reparação e protecção.

Para tal, foram prescritas as seguintes técnicas:

- **Execução de pregagens aderentes com manga injectada:** Aplicadas na sua maioria na costura dos cunhais das paredes exteriores com o objectivo de melhorar o comportamento face à acção sísmica. O sistema é constituído por um varão em aço inox, envolvido por uma calda de injecção (limitada por uma manga tubular de poliéster) e com chapas de topo nas extremidades.
- **Execução de tirantes passivos não aderentes:** Aplicados em diversos pontos da estrutura, os tirantes foram dimensionados para o equilíbrio das forças horizontais provenientes do peso próprio e sobrecargas das abóbadas, assim como na resistência às acções sísmicas. Os tirantes são constituídos por um sistema em aço inox composto por barras, conectores, esticadores, chapas e barras de trespasse.
- **Execução de micro-pregagens aderentes:** Aplicadas no reforço dos arcos de alvenaria do primeiro piso e também nas fendas que necessitassem de costura. O sistema é constituído por varões helicoidais de aço inox, devidamente injectados.
- **Selagem e injecção de fendas:** Em todo o edifício nos casos em que as fendas se encontrassem estabilizadas. Antes do processo de selagem e injecção de calda nas fendas, o revestimento existente circundante deveria ser removido, trabalho que apenas seria executado nas paredes interiores, uma vez que todo o revestimento exterior foi substituído.
- **Costura de fendas:** Nos casos de fendas não estabilizadas e com abertura relevante, deveria fazer-se a sua costura com micro-pregagens aderentes.
- **Reparação de vergas com sistema de pregagens:** Nas vergas sobre os vão de portas e janelas que se encontrasse danificadas, deveria ser feita sua reparação. Esta seria executada com uma chapa corrida sobre a verga e devidamente ligada com pregagens inclinadas a 45° e devidamente seladas e injectadas. No reforço das vergas em portas foram aplicadas duas chapas.

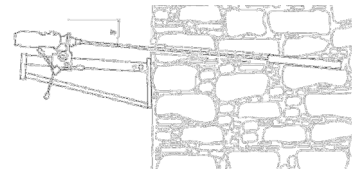


Figura 404 – Pregagens Aderentes com Manga Injectada [LEB (2010c)]

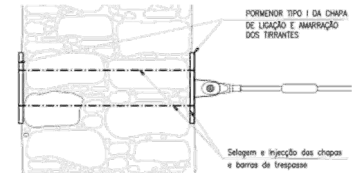


Figura 405 – Execução de Tirantes Passivos não Aderentes [LEB (2010c)]

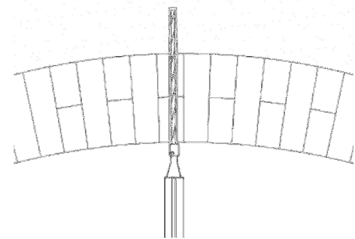


Figura 406 – Execução de Micro-Pregagens Aderentes [LEB (2010c)]

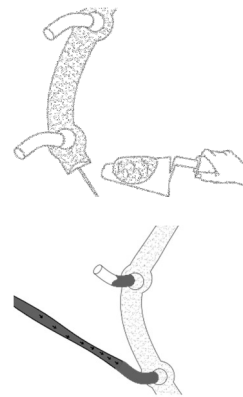


Figura 407 – Selagem e injeção de fendas [LEB (2010c)]

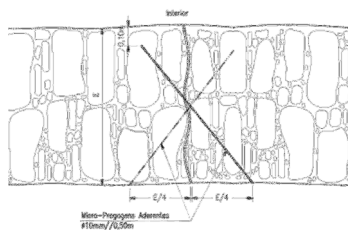


Figura 408 – Costura de fendas
[LEB (2010c)]

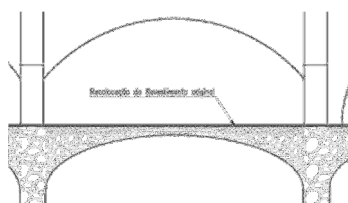


Figura 409 – Nivelamento do Pavimento das Abobadas
[LEB (2010c)]

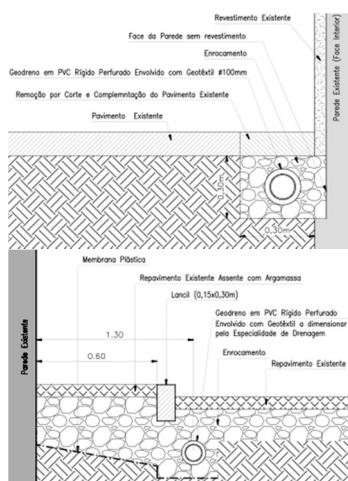


Figura 410 – Sistema de drenagem de paredes interiores e exteriores
[LEB (2010c)]

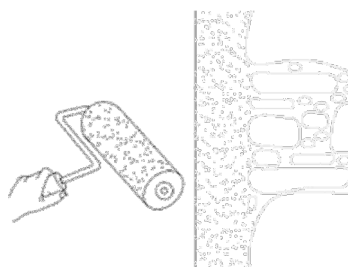


Figura 411 – Pintura dos revestimentos
[LEB (2010c)]

- **Nivelamento do pavimento das abóbadas:** Nos pavimentos do primeiro piso que se encontravam excessivamente deformados, foi realizado o seu nivelamento através da transferência de material enchimento entre zonas. Finalizado o nivelamento, o revestimento existente foi recolocado.
- **Reabilitação da cobertura:** A reparação das zonas em que a cobertura tinha sido recentemente intervencionada consistiu na substituição de telhas partidas e ajustamento do sistema existente. A zona mais antiga foi objecto de substituição integral das telhas e dos elementos estruturais de madeira com aplicação de uma membrana impermeável.
- **Reparação de beirados, pilastras e socos:** Os beirados, pilastras, socos e remates foram reparados ou substituídos, consoante o seu estado de degradação.
- **Reabilitação de revestimentos:** Todas as superfícies exteriores com revestimento tradicional foram substituídas por um novo revestimento, armado com rede de fibra de vidro de modo a conferir alguma integridade à própria parede.
- **Reabilitação das paredes interiores no piso térreo:** As membranas e revestimentos existentes foram removidas e substituídas por revestimentos compatíveis com boas propriedades de evaporação de água.
- **Sistema de Drenagem de Paredes:** A drenagem das paredes foi preconizada por dois sistemas independentes, um exterior e outro interior. Pelo exterior far-se-ia a recolha das águas provenientes da infiltração no solo, dos beirados e do pavimento e pelo interior em alguns espaços a ventilação na base das paredes.
- **Remoção em Profundidade da Vegetação Parasitária:** A Remoção em profundidade da vegetação parasitária foi efectuada com o máximo cuidado, para não danificar a alvenaria nem as fundações do edifício.
- **Pintura dos Revestimentos:** A pintura dos revestimentos exteriores deveria ser realizada com uma base de cal e siloxanos, aplicada sobre um primário da mesma base. Nos revestimentos interiores deveria ser aplicado um primário à base de resinas especiais em emulsão de modo a uniformizar a superfície seguido de pintura com tinta à base de resinas vinílicas.

No Anexo 7, apresenta-se alguns excertos das plantas, alçados e cortes nos quais se indica a localização das acções a realizar.

CAPÍTULO 9 | CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

9.1 | CONCLUSÕES

O património arquitectónico edificado na sua vertente monumental, religiosa ou habitacional assume-se como uma das expressões mais importantes e primordiais da história e da cultura humanas, sendo testemunho dos saberes, da linguagem, das práticas vitais e das tradições que fizeram parte da sua existência. Imprescindível para o conhecimento da evolução das sociedades e para o conhecimento do próprio *Ser Homem*, a transmissão de património no seu estado autêntico e em toda a sua variedade será unicamente assegurada se a necessidade da sua conservação for assimilada pela maioria, garantindo no presente e, tornando tanto quanto possível no futuro, o seu usufruto.

Apesar de sabermos que em muitos casos e ao longo da história esta conservação se deveu fundamentalmente a razões de pragmatismo económico e utilitário, ocasiões houve, em que os motivos que nos levaram a conservar determinados objectos construídos estiveram relacionados com o reconhecimento dos seus valores, expressos em sentimentos de admiração ou respeito e traduzidos num merecimento, numa estima. Se é verdade que é deste reconhecimento que nasce o imperativo da salvaguarda e conservação dos objectos é também a partir dele que se definem os critérios e princípios de actuação, bem como os limites e estratégia de intervenção. Intervenção que supõe sempre a reutilização e integração máxima dos elementos pré-existentes, assegurando o respeito pela mensagem essencial da construção e a preservação da sua autenticidade.

Considerando a importância arquitectónica das estruturas arqueadas como parte integrante daquilo que é hoje o património edificado e tendo em conta a perda de saber relativo às técnicas de produção, de dimensionamento e de aplicação dos materiais tradicionais que as constituem, bem como a dispersão existente no que diz respeito ao conhecimento sobre estas estruturas, verifica-se uma necessidade cada vez maior de compreender estes objectos profundamente com vista à sua salvaguarda.



Figura 412 – Arcos em pedra
[www.arscives.com]



Figura 413 - Aqüeduto de Segóvia
[http://en.wikipedia.org/]

Tendo como principal objectivo a definição de metodologias que permitissem uma melhor compreensão e avaliação do funcionamento e patologia das construções arqueadas, bem como o estabelecimento de estratégias e de soluções para a sua conservação e reabilitação, procurou realizar-se a recuperação e sistematização da informação necessária quer ao enquadramento doutrinário e metodológico que rege a actividade de conservação do património arquitectónico, quer à caracterização das questões culturais, materiais, construtivas, estruturais e patológicas destas estruturas. Como síntese do estudo realizado, e seguindo a estrutura da própria dissertação, poderá concluir-se:

- Ao serem estudadas as principais teorias da conservação, bem como as cartas, normas e recomendações interessadas ao presente trabalho³³⁰, apresentadas no segundo capítulo, verificou-se que com o evoluir da ética e doutrina da conservação ao longo dos anos, houve um alargamento substancial do conceito de património e dos seus valores. Expresso na Carta de Veneza (1964) ou em outros documentos precedentes e mais tarde reforçado pelas Recomendações do ICOMOS (2003), hoje reconhece-se, de forma inequívoca, que o valor construção e a sua autenticidade não residem apenas aparência dos elementos, mas na integridade de todos os seus componentes como um produto único da construção específica de cada tempo e lugar. Para além dos aspectos estéticos, as questões históricas e tecnológicas passam a integrar o valor documental, arquitectónico ou simbólico dos objectos. Deste modo, o respeito pela concepção e o conhecimento da mão-de-obra, técnicas utilizadas na sua execução, materiais, esquemas estruturais originais ou alterações que sofreu ao longo da sua vida, e cujo valor documental e histórico é inegável, passam a ser fundamentais.
- A multidisciplinidade do processo envolverá obrigatoriamente a contribuição de vários especialistas devidamente compatibilizados entre si. Compreende-se então que uma intervenção de reabilitação deve ser realizada de forma integrada, segundo uma abordagem holística e abrangente, pois

³³⁰ Dos quais se destacaram a Carta de Veneza (1964) sobre a conservação dos Monumentos e dos Sítios, a Carta de Washington (1987) para a salvaguarda das Cidades Históricas, o Documento de Nara (1994) sobre a autenticidade, as Recomendações do ICOMOS (2003) para a análise, conservação e restauro estrutural do Património Arquitectónico e os Princípios de La Valeta (2011) para salvaguarda e gestão dos conjuntos e áreas urbanas históricas.

se é verdade que a investigação histórica e cultural poderá ajudar a responder a questões de natureza estrutural e científica, o seu inverso também o é.

- De modo a assegurar o envolvimento de todos os intervenientes e a alcançar os objectivos propostos em cada intervenção garantindo a sua qualidade, verifica-se a necessidade do estabelecimento de metodologias comuns de trabalho, sendo estes os aspectos abordados no terceiro capítulo. Neste campo destacam-se pela sua importância e pragmatismo, as Recomendações do ICOMOS (2003) para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico. Estas definem que, independentemente do tipo de edifício ou construção no qual se pretende intervir, os trabalhos a realizar deverão envolver invariavelmente: uma fase de investigação, análise e diagnóstico; uma fase de projecto; e, finalmente, uma fase de execução.

De uma forma simplificada, a fase de investigação, análise e diagnóstico requer em primeiro lugar a recolha de toda a informação histórica, estrutural e arquitectónica disponível sobre a construção, bem como a identificação e estudo das anomalias, determinando se os fenómenos de degradação estão ou não estabilizados e quais as suas causas. Este conhecimento é obtido quer através da investigação, quer através da realização das inspecções e ensaios específicos, aos quais se reservou uma secção particular no decorrer do presente trabalho. Posteriormente, seguir-se-á a avaliação qualitativa e qualitativa da construção através da análise da informação recolhida e do estudo de modelos de comportamento adequadamente desenvolvidos para o efeito. Permitindo inferir sobre o seu actual estado de segurança e conservação, nível de conforto habitacional oferecido e implicações arquitectónicas existentes, esta fase é concluída com o estabelecimento de um diagnóstico que possibilitará decidir sobre a extensão das medidas a considerar.

Após a fase de investigação, análise e diagnóstico, poderá então dar-se início à fase de projecto, e ao estabelecimento da terapia, ou seja, do conjunto todas as estratégias e técnicas de intervenção a adoptar de modo a atingir os objectivos definidos. Reforça-se a importância da escolha de soluções que garantam os princípios da intervenção mínima e da máxima reversibilidade, dando-se especial atenção às questões da compatibilidade entre materiais e processos construtivos novos e pré-existentes.



Figura 414 – Arcos, Grande Mesquita de Kairouan
[commons.wikimedia.org]

Finalmente é desenvolvida a fase de execução, a qual permitirá a materialização em obra de todas as decisões de projecto.

- Da consideração desta metodologia de abordagem, aplicada em cada caso sem excepção, resulta a conclusão de que nada é mais importante para poder intervir que (bem) conhecer. Reconhecendo que o ascendente da construção em betão armado em relação à utilização dos materiais tradicionais resultou no abandono e esquecimento dos antigos métodos de construção e de dimensionamento, tornou-se necessária agora a recuperação do seu conhecimento. Na sua maioria em alvenaria, os antigos elementos do património em que temos de intervir, particularmente no caso de arcos, abóbada e cúpulas, apresentam comportamentos, modos de funcionamento e características que não nos são familiares. Estas são na verdade significativamente diferentes daquelas que dão corpo às modernas estruturas contínuas actualmente ensinadas nas escolas de arquitectura e engenharia.
- Sendo a alvenaria um dos principais sistemas construtivos da antiguidade e componente fundamental das estruturas arqueadas, o crescente interesse na preservação e recuperação destas construções exige cada vez mais o seu entendimento. Foi com base nestas premissas que, com o objectivo de identificar metodologias de análise simples que permitissem a previsão do comportamento construtivo, estrutural e patológico das estruturas arqueadas em construções antigas, foram desenvolvidos os capítulos quarto, quinto e sexto.

Ao longo da exposição realizada nos capítulos quarto e quinto entendemos os aspectos fundamentais da evolução das estruturas arqueadas de alvenaria ao longo dos tempos, e as razões da utilização de determinados materiais ou técnicas tradicionais construção, indissociavelmente ligados à cultura que lhes deu origem. O contacto com a essência da alvenaria de barro ou de pedra e o entendimento das suas características mecânicas levam a que rapidamente se conclua que as propriedades deste material são totalmente distintas das assumidas para materiais contemporâneos, pelo que também o devem ser os princípios considerados na sua análise e dimensionamento. Através da associação de unidades ligadas ou não por argamassa de assentamento verifica-se que a alvenaria se apresenta como um material heterogéneo e descontínuo, ao contrário das estruturas modernas, constituídas por materiais homogéneos, contínuos e isotrópicos, como o betão armado e o aço. Possuindo como

características essenciais a falta de resistência à tração, a sua elevada resistência à compressão e o elevado coeficiente de atrito, os mestres construtores fundavam todo o seu conhecimento, arte e engenho no equilíbrio. Um equilíbrio que se assegurava através do recurso à geometria. Hoje em dia, após anos de experiência acumulada, prova-se que, independentemente dos conceitos de dimensionamento utilizados, o modo de funcionamento, a estabilidade e a segurança das estruturas arqueadas de alvenaria foi e será sempre uma questão de equilíbrio. Uma questão de geometria. Deste modo verifica-se que a possibilidade de recuperação metodologias analíticas e gráficas para a sua análise, a par dos modernos modelos computacionais³³¹ é uma evidência. Apesar do carácter conservativo que possuem, os antigos métodos são a base de edificação de todas as estruturas arqueadas antigas que conhecemos, permitindo a obtenção de resultados fiáveis de forma intuitiva e expedita.

- Para além dos aspectos referidos anteriormente, foi realizada no capítulo sexto a definição e sistematização dos possíveis quadros patológicos associados às estruturas em estudo. Com vista ao seu tratamento futuro, tal como na medicina, a determinação do estado de saúde da construção pressupõe para além da identificação dos sintomas, neste caso materializados sob a forma de anomalias, a determinação das suas causas e dos mecanismos de desenvolvimento dos processos de deterioração, ou seja, a definição do seu quadro patológico. Com origem humana ou na acção da natureza, ocorrem quase sempre como resultado da conjugação de duas ou de múltiplas causas em simultâneo ou em acumulação sucessiva de efeitos. Conclui-se que, para além das anomalias não estruturais (alterações da superfície, desintegração do material, biodeterioração, fendilhações, pequenas deformações, roturas ou danos mecânicos), as anomalias estruturais (deformação excessiva, fendilhação ou rotura estrutural, ausência ou deterioração de materiais com perda de resistência dos elementos constituintes) têm particular relevância em estruturas arqueadas. Estas anomalias estão geralmente relacionadas com o próprio envelhecimento e evolução das propriedades dos materiais

³³¹ Muito exigentes ao nível de cálculo, os modelos numéricos e computacionais necessitam de computadores potentes, técnicos extremamente experientes e muitas horas ou dias de análise.



Figura 415 – Abobada Cerâmica
[Barros, Luís Aires (2001)]

- devido a acção dos agentes agressores (água, temperatura, vento, radiação, poluição e organismos vivos, acção do homem), com problemas de concepção e/ou execução, com alteração das condições de utilização implicando a alteração de cargas, ou com alterações estruturais e instabilidade dos terrenos ou fundações.
- Informadas pela exposição efectuada nos capítulos anteriores foram então no sétimo capítulo estruturadas as estratégias e técnicas de intervenção mais comuns para a conservação e reabilitação de estruturas arqueadas. De um ponto de vista geral conclui-se que deverão são privilegiadas as soluções reversíveis e minimamente intrusivas e os materiais e técnicas tradicionais, pretendendo-se assegurar ao máximo as questões da compatibilidade que nunca se podem garantir como efectivas. Verifica-se no entanto que em muitos casos estas soluções apresentam limitações, não sendo suficientes para assegurar, quer a qualidade dos trabalhos, quer os requisitos técnicos das intervenções. Nessas situações pode optar-se pela utilização de métodos e materiais inovadores, num espírito de cautela e humildade, com todas as limitações que a falta de experiência e o respeito que o objecto a intervir nos merece.

Foi com base nestes pressupostos que se tentaram definir e classificar as possíveis estratégias de intervenção em estruturas arqueadas, admitindo-se níveis de intervenção progressivamente mais profundos. Deste modo, definiu-se uma evolução gradativa baseada em cinco tipos de estratégias ou opções: conservação e manutenção; reparação; consolidação; substituição parcial de elementos; reforço; e reconstrução parcial ou total das estruturas.

A esta gradação de estratégias estão associados conjuntos de acções que se traduzem nas técnicas de reabilitação e conservação apresentadas. Do estudo realizado conclui-se que a primeira opção, reflectida na conservação dos materiais e elementos existentes, poderá envolver a eliminação da causa das anomalias, operações de limpeza, tratamento de fissuras, fendas e fracturas, colmatação de lacunas, substituição e a protecção dos elementos. Como segunda opção, a consolidação dos elementos existentes poderá envolver trabalhos em alvenarias, terrenos ou revestimentos com o objectivo de melhorar as suas características mecânicas. Apenas como terceira opção surgirá a possibilidade de substituição de partes de elementos, sendo esta realizada somente nos casos em que se verifique indispensável. Em caso de necessidade poderá proceder-se ao reforço das

construções através de variadas técnicas de intervenção estrutural. Se as hipóteses anteriores não forem viáveis será então considerada como última opção a reconstrução parcial ou total das estruturas, porém em condições muito particulares e apenas quando o valor das construções o justificar.

Deve referir-se que as soluções descritas no sétimo capítulo não são as únicas passíveis de aplicação, tendo sido apresentadas aquelas que face às características próprias das estruturas em estudo e às possibilidades técnicas hoje disponíveis (métodos e materiais) se considera que melhor se adaptam às exigências requeridas e à correcta compatibilização com os materiais e sistemas existentes, garantindo a minimização das anomalias e o sucesso das intervenções.

- De modo a validar a aplicabilidade da informação apresentada no presente trabalho, foram apresentados no capítulo oitavo três casos de estudo reais, reportando a intervenções projectadas e executadas por intervenientes diversos. Da sua análise pode concluir-se que, cada uma sem excepção, reflectiu de forma inequívoca a aplicação da metodologia de intervenção preconizada neste trabalho, verificando-se ainda a importância extrema da fase de investigação, análise e diagnóstico. Constatou-se ainda a que as soluções especificadas em cada um dos projectos apresentados são exemplo de muitas das principais soluções de intervenção expostas no decorrer do presente estudo, as quais validam a sua selecção e aplicação para a conservação e reabilitação de estruturas arqueadas.

É usual dizer-se que um edifício sem uso é um edifício morto. Importa assim dotar os edifícios de vida, atribuindo-lhes invariavelmente uma utilidade ou um uso intimamente ligado ao seu processo de reabilitação. Reabilitação que incluirá sempre, independentemente da escala do elemento a preservar, o seu conhecimento profundo, a identificação dos seus valores e o acto essencial da sua conservação através uma escolha das soluções de intervenção apropriadas, em que se inclui necessariamente a identificação e estudo das técnicas construtivas e materiais adequados a cada caso, sem prejuízo das recomendações e princípios éticos orientadores.

*Nós formamos os edifícios e depois eles formam-nos a nós*³³²



Figura 416 - Abobadas, Collège Bernardins, Paris
[commons.wikimedia.org]

³³² Winston Churchill 1943.

9.2 | DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Constituindo-se este documento como um pequeno contributo teórico e técnico em resposta à necessidade objectiva de uma (in)formação cada vez maior dos intervenientes no processo de conservação e reabilitação, deverá o presente trabalho ser olhado não como um produto acabado, mas como uma possibilidade em aberto a futuros estudos e desenvolvimentos.

Sendo a presente dissertação desenvolvida sobre a charneira entre distintas disciplinas, a informação nela contida poderá ser desenvolvida em diversas vertentes. Deste modo poderá ser relevante:

- O desenvolvimento de ferramentas de análise construtiva e estrutural simplificadas, com base em metodologias empíricas, gráficas ou analíticas tradicionais, como meio de apoio aos actuais métodos computacionais de elementos finitos³³³.
- O estabelecimento de estratégias de manutenção adaptadas a este tipo de estruturas, que permitam estender a eficácia e durabilidade das acções e a sustentabilidade futura das intervenções.
- Proceder ao levantamento e avaliação sistemático de intervenções já executadas sobre arcos, abóbadas e cúpulas, com o objectivo de melhor avaliar e quantificar o seu desempenho e adequabilidade.

³³³ Veja-se o trabalho de Jonh Ochsendorf (2002) em Cambridge, Philippe Block (2003) no IMT, Huerta (2003), ou António Gago, (2004) no IST.

BIBLIOGRAFIA

Aguiar, José (1999) – *Estudos Cromáticos nas Intervenções de Conservação em Centros Históricos: Bases para a sua aplicação à realidade portuguesa*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Conservação do Património Arquitectónico. Tese elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade de Évora, Évora.

Aguiar, José (2010) – *Conceitos de Conservação e Restauro*, Aulas do Curso de Doutoramento em Arquitectura, Ramo Conservação e Reabilitação, FAUTL, Lisboa.

Aguiar, José (2011) – *Cultura da Conservação e Projecto*, Aulas do Curso de Doutoramento em Arquitectura, Ramo Conservação e Reabilitação, FAUTL, Lisboa.

Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006) – *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, INH/LNEC, Lisboa.

Aguiar, José; Veiga, M. Rosário; Tavares, Martha (2005) – *Uma metodologia de estudo para a conservação de rebocos antigos - o restauro através da técnica de consolidação*; VI Seminário Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Florianópolis.

Alves, Ana (2009) – *Reabilitação e Reforço de Pontes de Alvenaria*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Appleton, João (2003) – *Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e Técnicas de intervenção*, Orion, 1ª ed., Amadora.

Argilés, Josep M. et al (1999a) – *Teoria e Historia de la Rehabilitacion: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla; Léria, Madrid

Argilés, Josep M. et al (1999b) – *Patologia y Tecnicas de Intervencion en Elementos Estructurales: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla; Léria, Madrid

Argilés, Josep M. et al (1999c) – *Patologia y Tecnicas de Intervencion en Fachadas y Cubiertas: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla; Léria, Madrid

Atelier 15, Arquitectura Lda (2011) – *Projecto de Conservação e Restauro do Arco da Rua Augusta: Projecto de Execução - Condições Técnicas Especiais*, Lisboa.

Baeza, Alberto Campo (1995) – *Tu casa, tu museu, tu mausoleu*. Conferência em Valência, 27 Janeiro de 1995.

Barros, Luís Aires (2001) – *As Rochas dos Monumentos Portugueses, Tipologias e Patologias - Volume I*. Instituto Português do Património Arquitectónico, Lisboa.

Block, Philippe (2005); *Equilibrium Systems: Studies in Masonry Structure*, M.S. Thesis, Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010); *Reabilitação de edifícios de alvenaria resistente*. Folhas de Técnicas de Reabilitação de Construções, Mestrado em Construção e Reabilitação, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Brandi, Cesare (1963) – *Teoria do Restauro*, Piccola Biblioteca Einaudi, (2ª ed. de 1997), Turim.

Carmona Barrero, J.D. (1999) – *La Boveda Tabicada en la Baja Extremadura. Análisis del proceso constructivo en una población tipo*. Memoria inédita, Cáceres.

Carmona Barrero, J.D. (2003) – *The Influence of Portuguese Traditional Building Techniques in Extremadura and its real situation*, Materiais e Técnicas de Conservação e de Reabilitação. 3º ENCORE, LNEC 2003, Lisboa.

Castilla del Pino, Carlos (1993) – *La Memoria y la Piedra, Patrimonio: ¿Memoria o pesadilla? Memoria 1990-1992*. Diputació de Barcelona, Barcelona.

Ceschi, Carlo (1970) – *Teoria e storia del restauro*, Mario Bulzoni Editore, Roma.

Choay, Françoise (1992) – *L'allegorie du Patrimoine*, Ed du Seuil, Paris.

Choisy, Auguste (1899) – *Histoire de l'architecture*, G. Béranger, Paris.

Cóias, Vítor (2006) – *Inspecções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*, IST Press, Lisboa.

Cóias, Vítor (2007) – *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*, Argumentum Geocorpa, Lisboa.

Costa A, Arede A. (2006) – *Strengthening of structures damaged by the Azores earthquake of 1998*, *Construction and building Materials*, Vol. 20, Issue 4.

Croci, Giorgio (2012) – *Conservazione e Restauro Strutturale dei Beni Architettonici*, CittàStudi, Roma.

Feilden, Bernard M. (2003) – *Conservation of Historic Buildings*, Elsevier, Oxford.

Fernandes, Maria. (2010) – *Materiais e técnicas construtivas no Alentejo*. In *As Idades da construção-Técnicas e saberes da construção tradicional e sua aplicação à arquitectura contemporânea*. Ed IEFP, Lisboa, p.1.

Fernández Alba, Antonio et al (1997) – *Teoría e Historia de la Restauración*, Editorial Munilla-Lería, Madrid.

Fitchen, John (1961) – *The Construction of Gothic Cathedrals: A Study of Medieval Vault*, University of Chicago Press, Chicago.

Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a); *Diagnóstico, Patologias e Reabilitação de Construção em Alvenaria de Pedra*. Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação do Curso de Mestrado em Ciências da Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b); *Diagnóstico, Patologias e Reabilitação de Construção em Alvenaria de Tijolo*. Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação do Curso de Mestrado em Ciências da Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Forteza Luna, M. (2008); *Origen de la Bóveda Tabicada*. Centro de Ofícios de Zafra, Zafra.

França, José A. (1989) – *A Reconstrução de Lisboa e a Arquitectura Pombalina*, Instituto da Cultura e Língua Portuguesa, Lisboa.

França, José A. (1990) – *A Arte em Portugal no Século XIX*, Vol. I e II, 3.ª ed., Bertrand Editora, Lisboa.

Franke, L. et al (1998) – *Damage Atlas, Classification and analyses of damage patterns found in brick masonry*. European Commission, Protection and Conservation of the European Heritage, Research Report nº 8, Volume 2. Fraunhofer IRB Verlag ISBN 3-8167-4702-7, Estugarda.

FUNDEC (2009) – *Peritagem às anomalias estruturais no Convento das maltezas em Estremoz*, Relatório FUNDEC PS nº 8/09, Relatório ICIST EO nº 21/09, Lisboa.

Gago, António (2004) – *Análise Estrutural de Arcos, Abóbadas e Cúpulas*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Gago, António (2014) – *Estruturas de Edifícios em Alvenaria: Conceção, Modelação e Verificação da Segurança de Estruturas Existentes e Novas*. Aulas FUNDEC, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Gomes da Silva, Henrique (1935) – *Monumentos Nacionais, orientação técnica a seguir no seu restauro*, em *Boletim da Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais*, nº1, Setembro, Lisboa.

González-Moro, Pablo (2002) – *La condición arqueológica de la arquitectura histórica: El caso de la Catedral de Santa Maria de Vitória*; 2ª Bienal de la Restauración Monumental, Vitoria-Gasteiz.

Gorjão, João Camacho (2011) – *Análise Estrutural das Cúpulas Aligeiradas do Barão Eschwege*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Henriques, Fernando (1991a) – *A Conservação do Património Histórico Edificado*, LNEC, Lisboa.

Henriques, Fernando (1991b) – *Caracterização de Argamassas para Edifícios Antigos*. Plano de Investigação, LNEC, Lisboa.

Heyman, Jacques (1982) – *The Masonry Arch*, Ellis Horwood Limited, Londres.

Heyman, Jacques (1988b) – *Structural analysis. A Historical Approach*, Cambridge University Press, Cambridge.

Heyman, Jacques (1995) – *The Stone Skeleton ; Structural Engineering of Masonry Architecture*, Cambridge University Press, Cambridge.

Heyman, Jacques (1998) – *Structural analysis: a historical approach*. Cambridge, Cambridge University Press.

Heyman, Jacques (1999) – *The science of structural engineering*, Imperial College Press., London.

Heyman, Jacques (2008) – *Why Ancient Cathedrals Stand Up? The Structural Design of Masonry*, Cambridge University Press, Cambridge.

Huerta, Santiago (1999) – *Las Bóvedas de Guastavino en América*, Instituto Juan Herrera, Madrid.

Huerta, Santiago (2001) – *Mechanics of Masonry Vaults: The equilibrium approach*, Historical Constructions, Congress, Guimarães.

Huerta, Santiago (2003) – *Mechanics of Timbrel Vaults: A Historical Outline, Essays on the History of Mechanics*, Ed. Becchi, Corradi, Foce, y Pedemonte, Birkhauser Verlag, Basileia.

Huerta, Santiago (2004) – *The safety of masonry buttresses*. In *Engineering History and Heritage*, nº 163, February.

Huerta, Santiago; Aroca, R. (1989) – *Masonry Domes: A Study on Proportion and Similarity*. Proceedings of IASS 30th Anniversary World Congress, Madrid 11;15 September 1989. CEDEX, Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, Vol.1, Madrid.

Huerta, Santiago (2004) – *Arcos Bóvedas Cupulas: Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*, Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid.

Hugo, Vitor (1990) – *Guerre aux démolisseurs, em Notre Dame de Paris*, Galimard, Paris.

ICOMOS (1931) – *Carta de Atenas, Conferência Internacional de Atenas Sobre o Restauro dos Monumentos*, Atenas.

ICOMOS (1964) – *Carta de Veneza. Carta Internacional sobre a Conservação e o Restauro dos Monumentos e dos Sítios*, Veneza.

ICOMOS (1987) – *Carta de Washington. Carta Internacional para a Salvaguarda das Cidades Históricas*, Washigton.

ICOMOS (1994) – *Documento de Nara sobre a autenticidade*, Nara.

ICOMOS (2000) – *Carta de Cracóvia. Princípios para a Conservação e o Restauro do Património Construído*, Cracóvia.

ICOMOS (2003) – *Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico*.

Infante, Sérgio (1992) – *A segurança e a Salvaguarda do Património Arquitectónico 10 anos após o Sismo do Açores de 1 de Janeiro de 1980*.

Jokilehto, J. Toronto (1986); *A History of Architectural Conservation, The contribution of English, French, German and Italian thought towards an international approach to the conservation of cultural property*, Ph.D. Dissertation, The University of York, York.

Lancaster, Lynne. C. (2005) – *Concrete Vaulted Construction in Imperial Rome*, Cambridge University Press, New York.

-
- Lau, Wanda W. (2006) – *Equilibrium Analysis of Masonry Domes*, Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, Massachusetts.
- LEB (2005) – *Castelo de Paderne, Projecto de Reforço do Cunhal das Paredes O3-S1: Peças Desenhadas*, Cascais.
- LEB (2008) – *Reabilitação Estrutural dos Antigos Celeiros da EPAC, Évora: Relatório de Avaliação, Trabalhos Complementares de Diagnóstico - Memória descritiva e Justificativa*, Cascais.
- LEB (2009) – *Reabilitação Estrutural dos Antigos Celeiros da EPAC, Évora: Estudo Prévio - Memória descritiva e Justificativa*, Cascais.
- LEB (2010a) – *Convento das Maltezas, Santa Casa da Misericórdia de Estremoz, Conservação e Consolidação Estrutural do Claustro: Projecto de Estabilidade – Cálculos e Memória Justificativa*, Cascais.
- LEB (2010b) – *Convento das Maltezas, Santa Casa da Misericórdia de Estremoz, Conservação e Consolidação Estrutural do Claustro: Projecto de Estabilidade - Especificações Técnicas*, Cascais.
- LEB (2010c) – *Reabilitação Estrutural dos Antigos Celeiros da EPAC, Évora: Projecto de Execução e Trabalhos Complementares de Diagnóstico – Cálculos e Memória descritiva e Justificativa*, Cascais.
- Lopes, Flávio; Correia, M. Brito (2004) – *Património Arquitectónico e Arqueológico: Cartas, Recomendações e Convenções Internacionais*, Livros horizonte, Lisboa.
- Lourenço, Paulo B. (1999) – *Dimensionamento de Alvenarias estruturais*. Relatório 99-DEC/E-7, Universidade do Minho, Guimarães.
- Lourenço, Paulo B. (2001) – *Analysis of historical constructions: From thrust-lines to advanced simulations*. *Historical Constructions* (pp. 91-116), P. Roca (Eds.), Guimarães.
- Lourenço, Paulo B. et al (2008) – *Monastery of Salzedas (Portugal): Intervention in the cloister and information management*; 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Constructions, Eds. D. D'Ayala e E. Fodde, Taylor & Francis Group, p. 95-108.
- Marques Abreu, Pedro (2007) – *“Palácios da Memória II - A Revelação da Arquitectura, Volume I - Secção Teórica, O Processo de Leitura do Monumento”*, Tese para a obtenção do grau de Doutor em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Mateus, J. Mascarenhas (2002) – *Técnicas Tradicionais de Construção de Alvenarias*. Livros Horizonte, Lisboa.
- Mendes, M.; Lucas, J. Carvalho (2002) – *Terminologia geral sobre a patologia da construção*. LNEC, Lisboa.
- Moreno-Navarro, A. (1999) – *La restauración objectiva (Método SCCM de restauración monumental)*. Memória SPAL 1993-1998. Diputació de Barcelona, Àrea de Cooperació Servei del Patrimoni Arquitectònic Local, Barcelona.
-

Ochsendorf, Jonh A. (2002) – *Collapse of Masonry Structures*, Ph.D. Dissertation, Department of Engineering, Cambridge University.

Oliveira, José (2013) – *Estudo da durabilidade e eficácia da acção de repelentes de água em fachadas de edifícios recentes*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

OZ (2008) – *Diagnóstico, Levantamentos e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações. Antigos Celeiros da EPAC, em Évora. Caracterização das propriedades mecânicas das alvenarias através de ensaios com macacos planos de pequena área*, Lisboa.

Poleni, G. (1748) – *Memoire historiche della gran cupola del Tempio Vaticano*, Padova.

Ramalho, M. de Magalhães (2008) – *A Arqueologia da Arquitectura - Método de Análise dos Edifícios Históricos. Da Investigação ao Projecto*, Aula Aberta ao Curso de Doutoramento em Arquitectura, Ramo Conservação e Reabilitação, FAUTL, Lisboa.

Ramalho, M. de Magalhães (2010) – *Arqueologia da Arquitectura ou o desvendar das idades da construção*. In *As Idades da construção-Técnicas e saberes da construção tradicional e sua aplicação à arquitectura contemporânea*. Ed IEFP, Lisboa.

Rodrigues da Silva, Ana (2012) – *O Arco da Rua Augusta: História, Valores e Usos*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura da universidade de Lisboa, Lisboa.

Tavares, Alice; Costa, Aníbal; Varum, Humberto (2011) – *Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios, Guia de Intervenção*, INOVADOMUS, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro.

Tostões, Ana (1995) – *Abobada Alentejana: Guia do Formando*, 1ª Edição, Ed IEFP e CENFIC, Lisboa.

Van Balen, K. et al (1997) – *Expert system for the evaluation of the deterioration of ancient brick structures-scientific background for the evaluation of the deterioration of ancient brick structures*. LuxembourgOffice for Official Publications: of the EC ISBN 92-828-6448-0.

Veiga, M. Rosário (2003) – *As Argamassas na Conservação*. In *Actas das 1ªs Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes*, Aveiro, 26 de Novembro de 2003. Colecção Comunicações, COM 103, LNEC, Lisboa.

Veiga, M. Rosário (2007a) – *Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Métodos e materiais (TPI58)*, LNEC, Lisboa.

Veiga, M. Rosário (2007b) – *Revestimentos de paredes de edifícios antigos*. Apresentação Seminário Univer(s)idade: desafios e propostas de candidatura, Universidade de Coimbra, 29 a 30 de Novembro de 2007.

Veiga, M. Rosário (2010) – *Alvenarias de edifícios históricos: intervenções sustentáveis com materiais compatíveis*. VI Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa.

Veiga, M. Rosário *et al.* (2001) – *Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings. International Seminar Historical Constructions 2001*. Universidade do Minho, Guimarães.

Veiga, M. Rosário; Aguiar, José (2003) – *Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos*. Proceedings do 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Veiga, M. Rosário; Carvalho, Fernanda (2002) – *Argamassas de reboco para edifícios antigos. Requisitos e características a respeitar. Cadernos de Edifícios, nº 2*. LNEC, Lisboa.

Viollet-le-Duc, Eugène (1866) – *Restauration, Dictionnaire Raisonné de l'Architecture Française du XIe au XIIe siècle*, Tomo 8, A. Morel Éditeur, Paris.

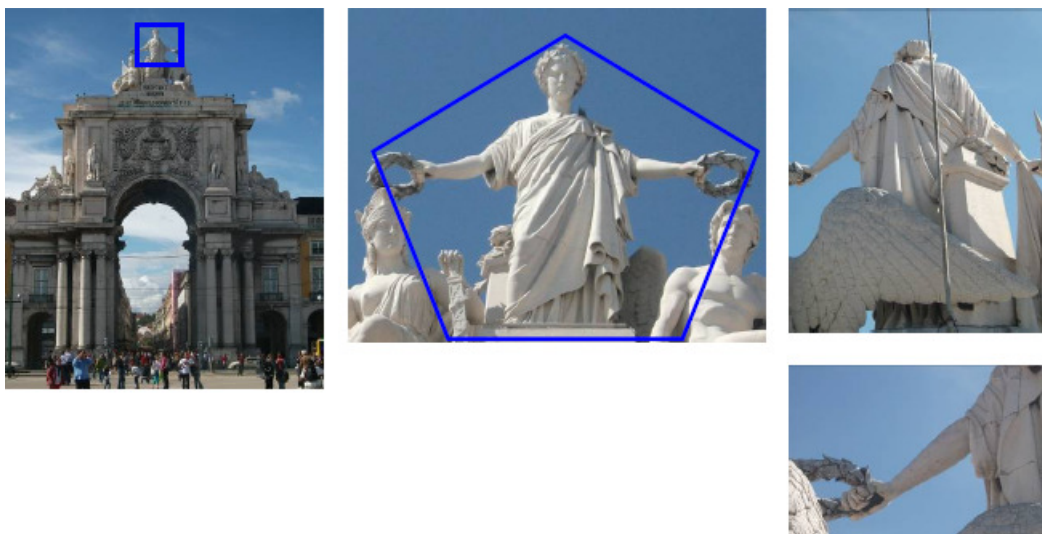
Zevi, Bruno (1996) – *Saber Ver a Arquitectura*, 5ª edição, Martins Fontes, São Paulo.

ANEXOS

ANEXO 1 | ARCO DA RUA AUGUSTA
FICHAS DE TRABALHO (EXEMPLOS)

Localização e ilustrações geral e de pormenor

Unidade A1

**Descrição**

Escultura monumental representando uma figura alegórica: a Glória.

A figura segura em cada mão uma coroa, ambas aparentemente constituídas por elementos em ferro pintado. Superfícies em bom estado de conservação, ou com manifestações de erosão muito ligeira. Superfícies em grande parte limpas, apenas com manifestações pontuais de sujidade superficial muito ligeira. Crostas negras em menos de 1/10 da superfície, e apenas em zonas muito localizadas em reentrâncias desta figura.

Nesses casos esporádicos, as crostas chegam a ser bastante espessas e apresentam textura framboidal.

Vegetação superior pontual entre a gola e a nuca.

As juntas têm algumas zonas a necessitar de saneamento (menos de 1/3 do total), e a maior parte das argamassas apresenta ligeira colonização biológica.

A fissura existente no braço esquerdo pode apresentar risco de queda da parte que está para além da fissura. Uma fractura no sentido horizontal numa das pontas da estrela que coroa a escultura está em risco de destacamento. Uma fractura e uma fissura são identificáveis na coroa de louros. Três fracturas localizadas na parte posterior da coroa de louros situada em cima do pedestal causam risco de destacamento.

Identificaram-se cerca de 11 grampos (ou gatos) a reforçar as uniões das juntas, todos ocultos com argamassa ou pedra.

Acções Necessárias

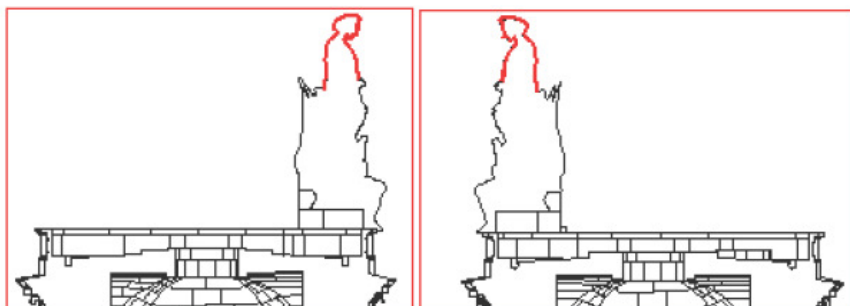
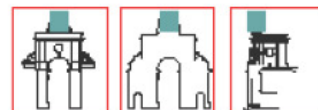
Limpeza das áreas com colonização biológica. Intervenção nas crostas negras. Saneamento e refechamento de juntas (em menos de 1/3). A fissura do braço deve ser reforçada. A abordagem a esta anomalia deve ser explicitada no concurso. A decisão final em obra deve ter um projecto de reforço que o Adjudicatário submeterá à Fiscalização. Verificação do estado de conservação das argamassas que recobrem os grampos; nos casos em que haja sinais de empolamento por oxidação dos grampos, a argamassa deve ser removida, os grampos não funcionais serão substituídos com grampos de material adequado, e os recuperáveis serão saneados, passivados contra a corrosão e a argamassa reposta.

Colmatação simples das fissuras que não tenham implicações estruturais. Rebaixamento das juntas e aplicação de barramento específico para as áreas esculpidas.

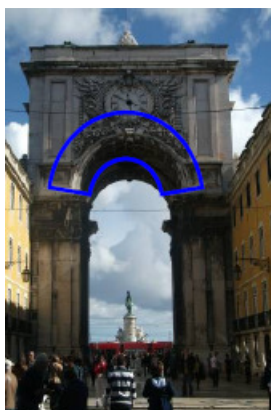
Área – 80m²

Área medida através das projecções das formas geométricas envolventes nos 4 alçados e na planta de cobertura.

Desenho de localização



UNIDADE_A1

Localização e ilustrações geral e de pormenor**Unidade B11.2****Descrição**

Arquivolta na fachada norte, com pedra de fecho em relevo (elemento vegetalista estilizado).

Superfícies em razoável estado de conservação, erosão muito ligeira. Superfícies com muita sujidade, depósitos opacos em mais de 1/3 da superfície. Colonização biológica em manchas difusas a desenvolver-se sob as juntas abertas por onde as águas pluviais escorrem.

Mais de 2/3 das juntas estão a necessitar de saneamento.

Acções Necessárias

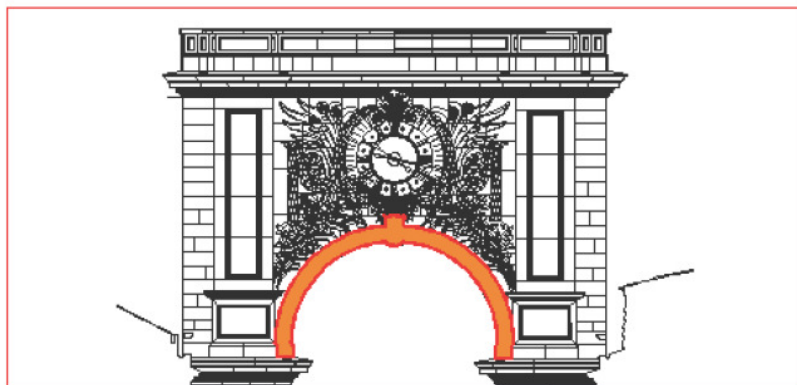
Limpeza geral dos depósitos de sujidade e da colonização biológica. Intervenção nas crostas negras.

Saneamento e refechamento de juntas. Levantamento e recolocação de fragmentos. Passivação das áreas mais fragilizadas.

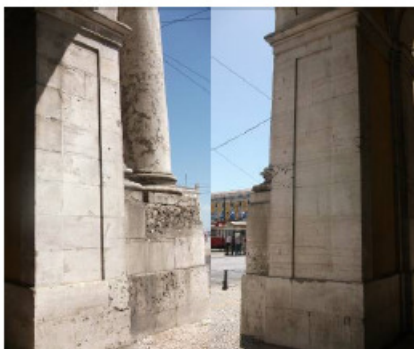
Área – 25m²

Área medida através da multiplicação do perímetro exterior (1,25m na planta 04) pelo perímetro do arco maior (17m no alçado norte), mais a área em projecção do elemento de fecho do arco (no alçado norte).

Desenho de localização



UNIDADE_B11.2

Localização e ilustrações geral e de pormenor**Unidade C7****Descrição**

Primeiro arco da galeria, inclui áreas do intradorso entre colunas, incluindo panos verticais.

Arco, pilastras e respectivo embasamento. A sujidade superficial é muito leve, alguma colonização biológica difusa e pequenas áreas com crostas negras na face externa do arco (face virada para o exterior). Depósitos de dejectos de animais na parte superior das impostas. Erosão ligeira de dois blocos do embasamento do lado esquerdo e de um bloco do meio do lado direito. Manchas de escorrências e incrustações pouco espessas em menos de 1/10 da superfície do arco. Juntas abertas em menos de 1/3 da superfície. Identificadas duas fracturas nas arestas das aduelas. Alguns elementos metálicos (pregos) nas juntas. Manchas de humidade e outras manchas de aspecto gorduroso, eventualmente relacionadas com aplicação de produtos desconhecidos na zona das pilastras.

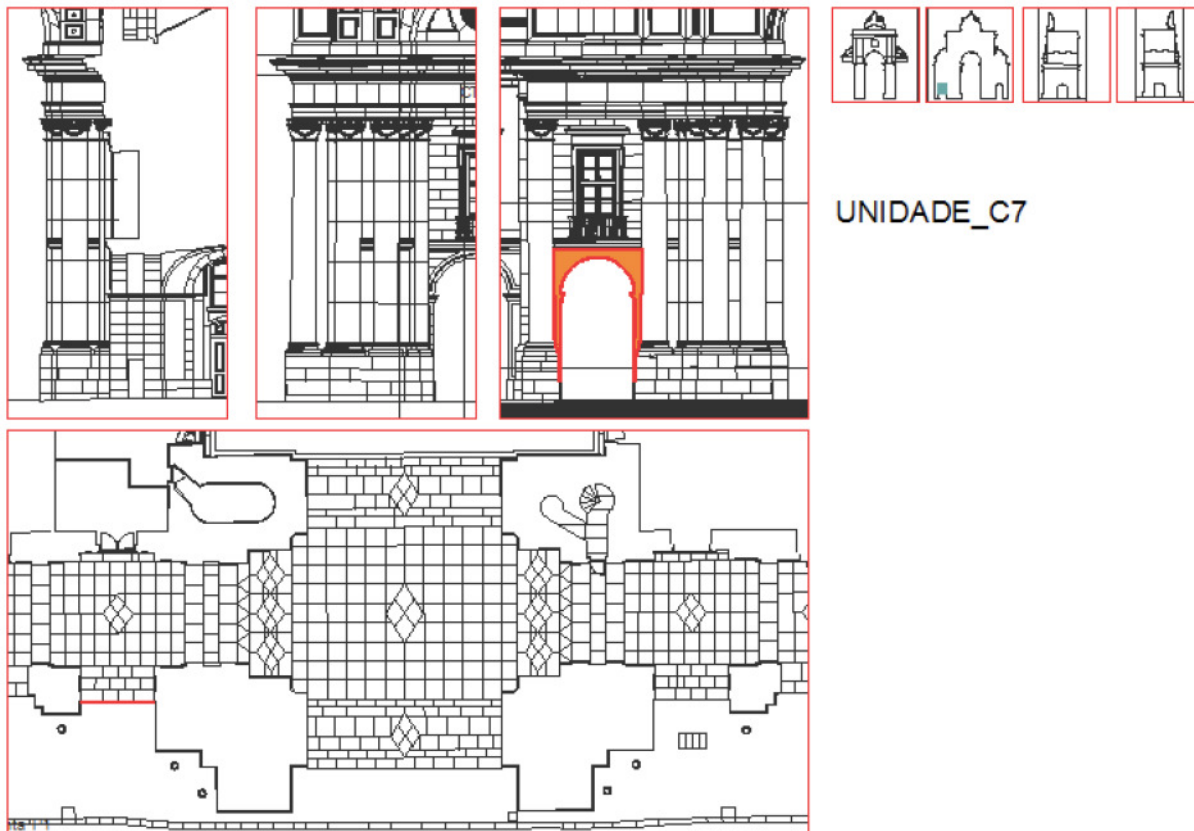
Acções Necessárias

Limpeza geral dos depósitos de sujidade e da colonização biológica. Saneamento e refechamento de juntas, remoção de véu branco. Colmatação de fracturas e fissuras. Remoção de elementos metálicos (pregos) nas juntas. Microestucagem.

Área – 37m²

Área medida em projecção no Alçado sul somada ao intradorso do arco e respectivos pés-direitos. Exclui as formas triangulares laterais ao arco.

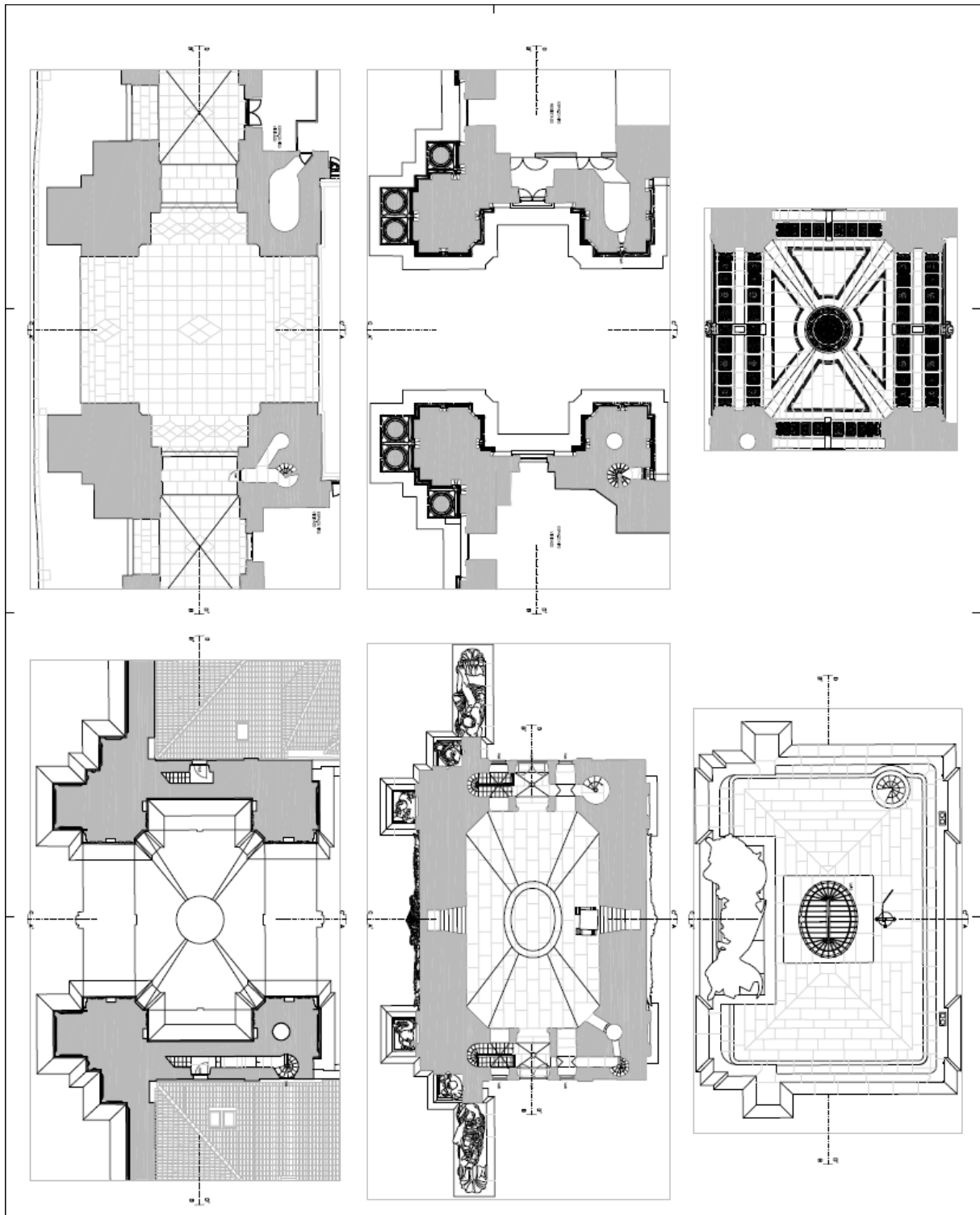
Desenho de localização



ANEXO 2 | ARCO DA RUA AUGUSTA

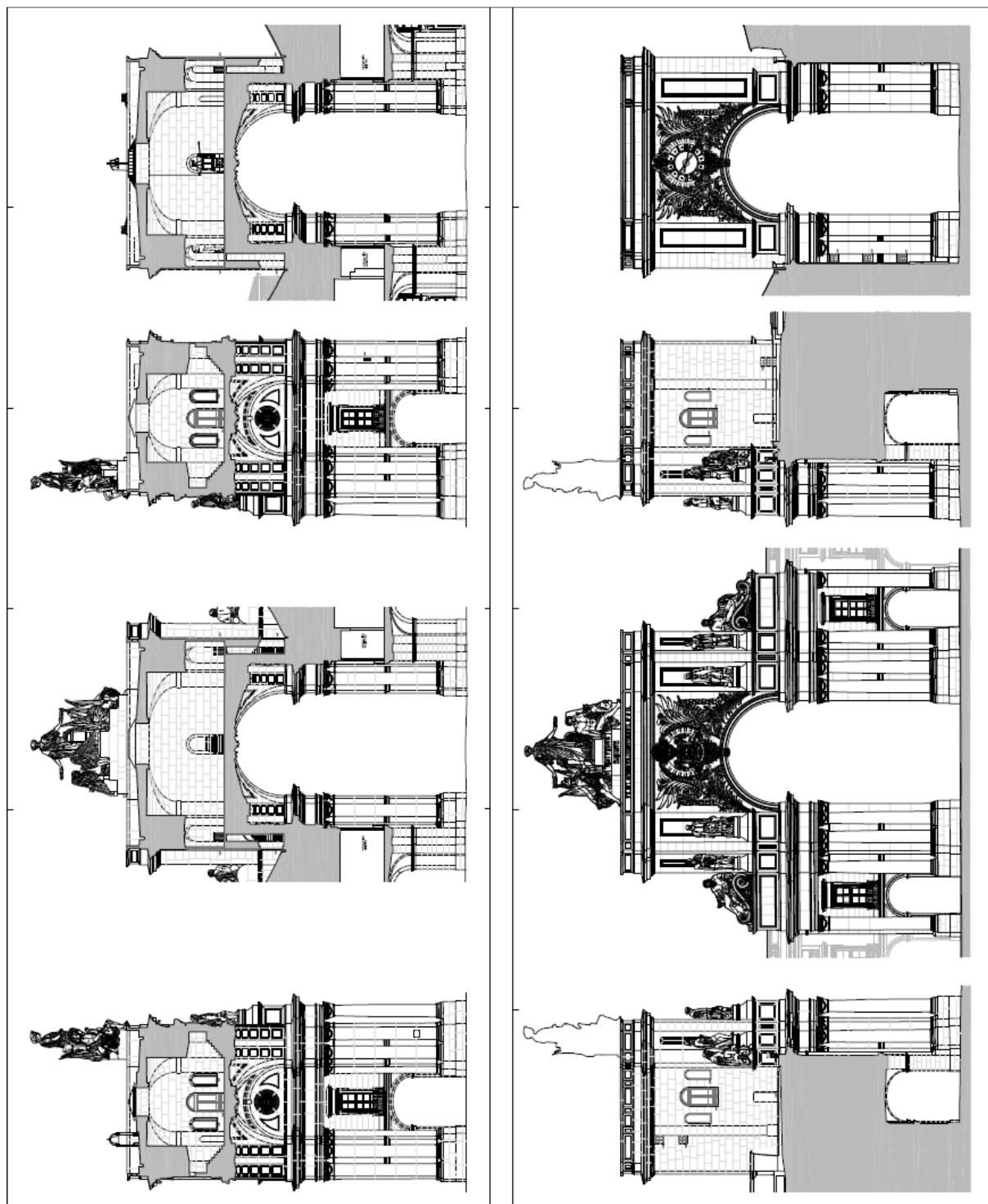
**DESENHOS DE PROJECTO – CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA E CONSTRUTIVA: PLANTAS,
ALÇADOS E CORTES (EXCERTOS EXEMPLIFICATIVOS)**

Desenho 02 - Plantas



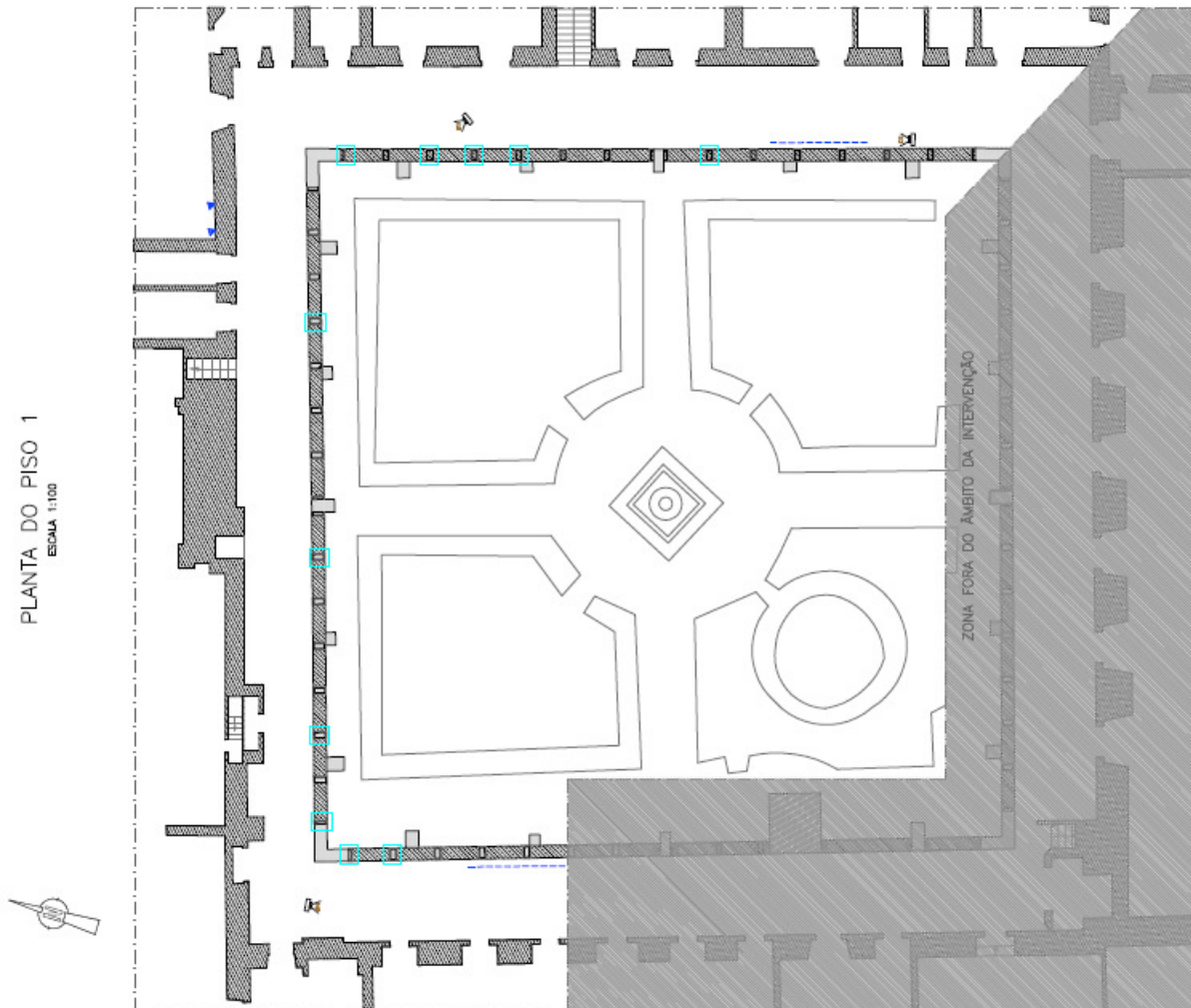
Desenhos 03 - Alçados Norte, Sul, nascente e poente

Desenho 04 - Cortes A,B,C,D



ANEXO 3 | CONVENTO DAS MALTEZAS, ESTREMOZ
DESENHOS DE PROJECTO - MAPEAMENTO DE ANOMALIAS E CARACTERIZAÇÃO
ESTRUTURAL (EXCERTOS EXEMPLIFICATIVOS)

PLANTA DO PISO 1
ESCALA 1:100



NOTAS GERAIS:

- 1 - Cotas dos elementos em metros e dimensões em centímetros, excepto onde indicado.
- 2 - As peças desenhadas foram feitas com base no levantamento de Arquitectura fornecido pela SSPG, assim como nos levantamentos realizados no local, pelo que cabe ao executante, quando a execução dos trabalhos de realibertação, de rigorosa confirmação.
- 3 - Em caso de alterações em relação a qualquer particularidade estrutural ou critérios de projecto, consultar, de imediato, o projectista.

↳ - Indicação da Localização das Fotografias

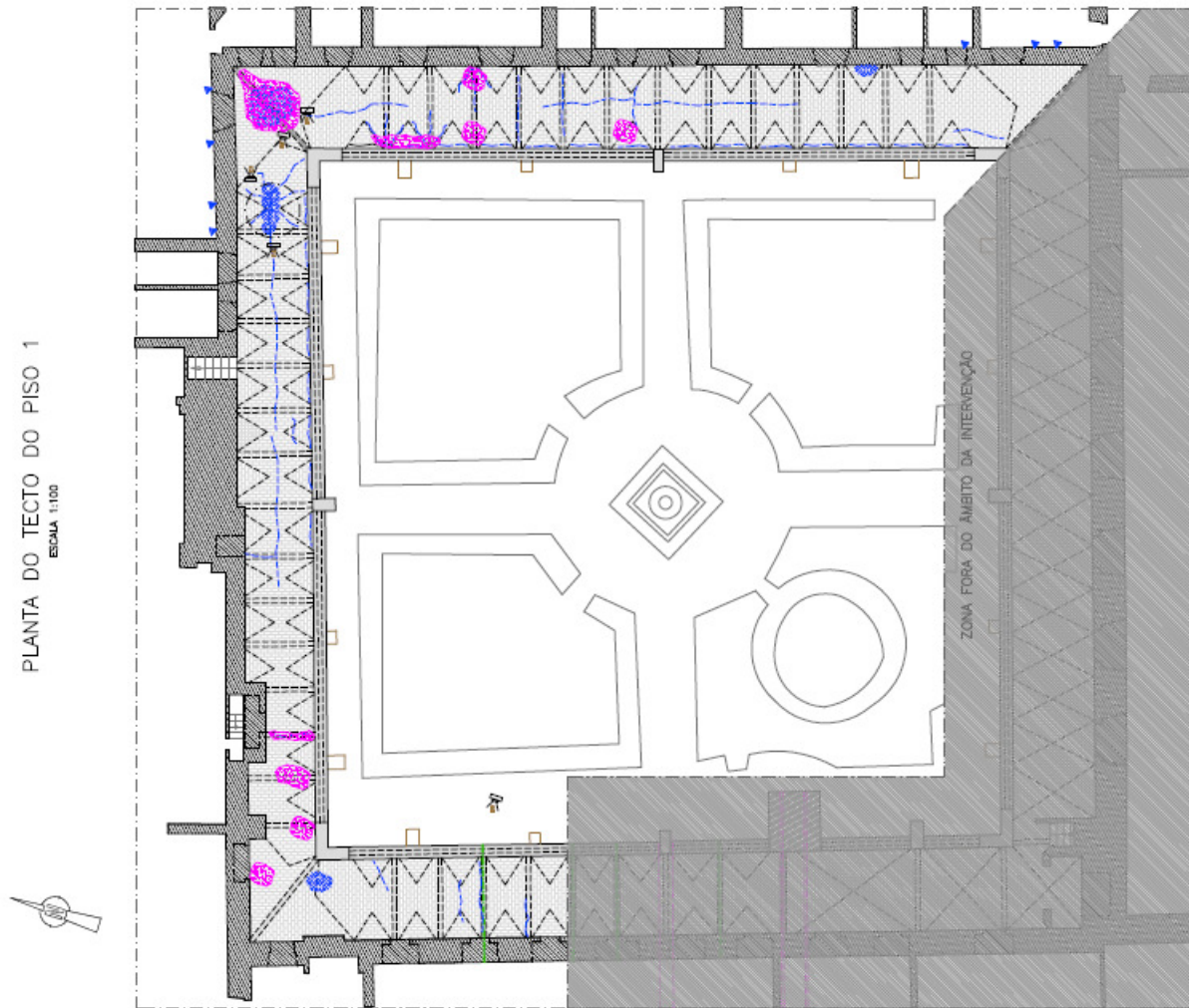
MATERIAS:

- ▨ - Paredes ou Alvenarias de Alvenaria de Tijolo Maciço
- ▨ - Paredes de Alvenaria de Pedra e Tijolo
- ▨ - Paredes de Alvenaria não Definida
- ▨ - Elemento em Cartaria de Fieira
- ▨ - Material de Enchimento de Alvenarias (Carregos)
- ▨ - Bimento em Madeira
- ▨ - Revestimento de Cobertura em Telha Cerâmica
- ▨ - Revestimento de Paredes
- ▨ - Travessas Ø 30x35mm
- ▨ - Travessas Ø 55mm
- ▨ - Travessas Ø 25mm (Projecto de Setembro 2002)
- ▨ - Chapas ou Barras de Aço/angam
- ▨ - Barras de Drenagem

ANOTAÇÕES:

- ▨ - Fenda
- ▨ - Fenestração Generalizada e Não Orientada
- ▨ - Fenda em Paralelismo Vertical
- ▨ - Junta Aberta em Contrainteres
- ▨ - Degradação de Revestimentos
- ▨ - Detraque de Revestimentos
- ▨ - Elemento Resaado ou com Lacuna de Material no Topo ou Base

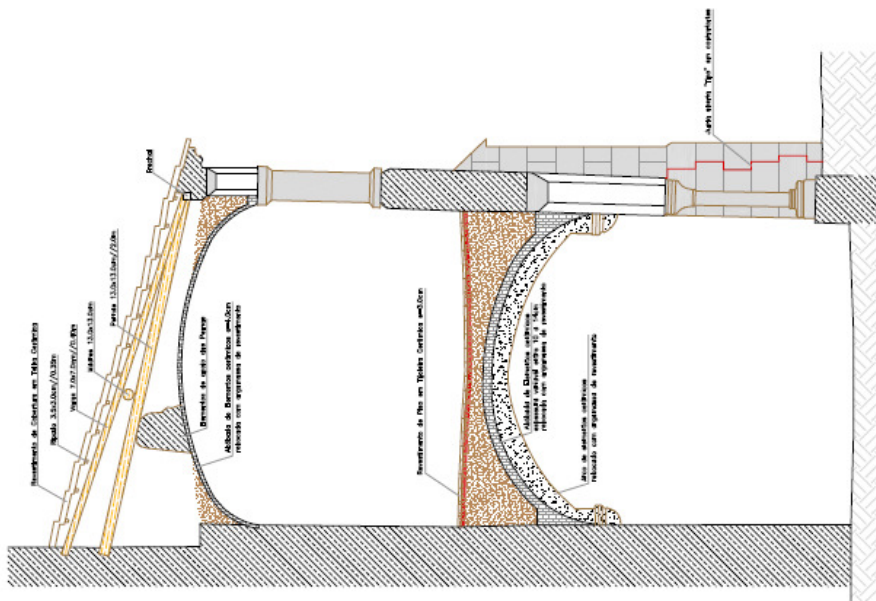
PLANTA DO TECTO DO PISO 1
ESCALA 1:100



- NOTAS GERAIS:**
- 1 - Cotas dos elementos em metros e dimensões em centímetros, excepto onde indicado.
 - 2 - As peças desenhadas foram feitas com base no levantamento de Arquitectura fornecido pelo SSPG assim como nos levantamentos realizados no local, pelo que carece, quando a execução dos trabalhos de reabilitação, de rigorosa confirmação.
 - 3 - Em caso de dúvidas em relação a qualquer permanência estrutural ou critérios de projecto, consultar, de imediato, o projectista.

- MATERIAIS:**
- Indicação da Localização das Fotografias
 - Paredes ou Abóbodas de Alvenaria de Tijolo Maciço
 - Paredes de Alvenaria de Pedra e Tijolo
 - Paredes de Alvenaria não Densida
 - Elemento em Carizaria de Pedra
 - Material de Enchimento de Abóbodas (Correço)
 - Elemento em Madeira
 - Revestimento de Cobertura em Talha Cerâmica
 - Revestimento de Paredes
 - Travasos \varnothing 35x35mm
 - Travasos \varnothing 55mm
 - Travasos \varnothing 25mm (Projecto de Reforço 2002)
 - Chapas ou Barras de Aço
 - Bueiros de Drenagem
- ANOMALIAS:**
- Fenda
 - Fenilhação Generalizada e Não Orientada
 - Fenda em Pacamento Vertical
 - Junta Aberta em Cornijas
 - Degradação de Revestimentos
 - Danos de Revestimentos
 - Elemento Rasurado ou com Lacuna de Material no Topo ou Base

CORTE TIPO
ESCALA 1:25



- NOTAS GERAIS:**
- 1 - Cortes das elementos em metros e dimensões em centímetros, exceto onde indicado.
 - 2 - As peças desenhadas foram feitas com base no levantamento de referência fornecido pelo SPTV, assim como nos procedimentos de medição e levantamento, de acordo com o método de trabalho de medição, de rigorosa comparação.
 - 3 - Em caso de dúvidas em relação a qualquer forma ou estrutura ou cota de projecto, contactar, de imediato, o projectista.

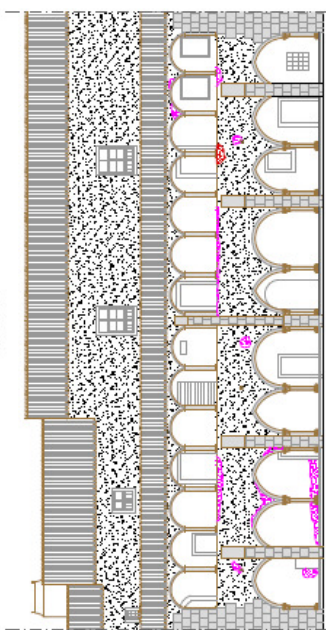
MATERIAIS:

- - Paredes ou Albedadas de Alvenaria de Tijolo Maciço
- - Paredes de Alvenaria de Pedra e Tijolo
- - Paredes de Alvenaria não Derivada
- - Elemento em Cimentaria de Pedra
- - Material de Enchimento de Albedadas (Carga)
- - Elemento em Madeira
- - Revestimento de Cobertura em Telha Cerâmica
- - Revestimento de Paredes
- - Trinco 20x30x30mm
- - Trinco 6x6x6mm
- - Trinco 2x2x2mm (Projecto de Reforço 2002)
- - Chapas ou Barras de Aço/Armadura
- - Balcões de Drenagem

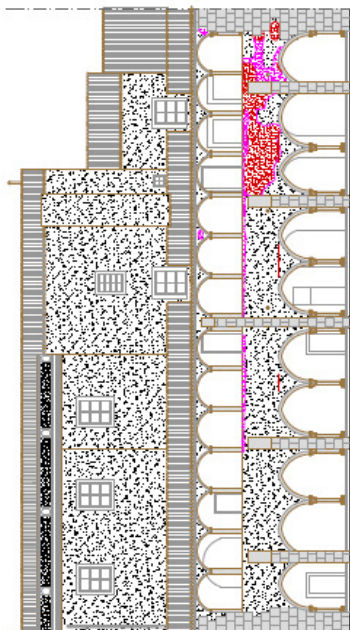
ANOTAÇÕES:

- - Fenda
- - Fendilhagem Generalizada e Não Orientada
- - Fenda em Paramento Vertical
- - Junta Aberta em Contrantes
- - Degradação de Revestimentos
- - Descolamento de Revestimentos
- - Elemento Fissurado ou com Loucura de Material no Tecto ou Base

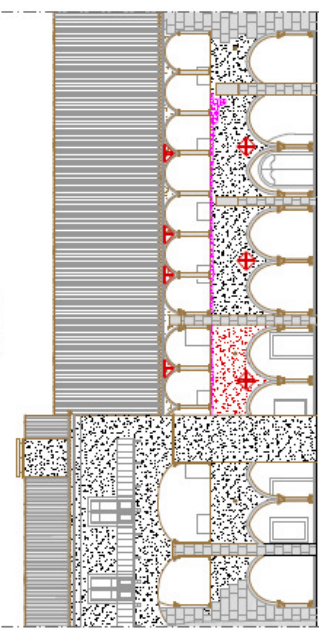
ALÇADO NASCENTE
ESCALA 1:100



ALÇADO NORTE
ESCALA 1:100



ALÇADO POENTE
ESCALA 1:100

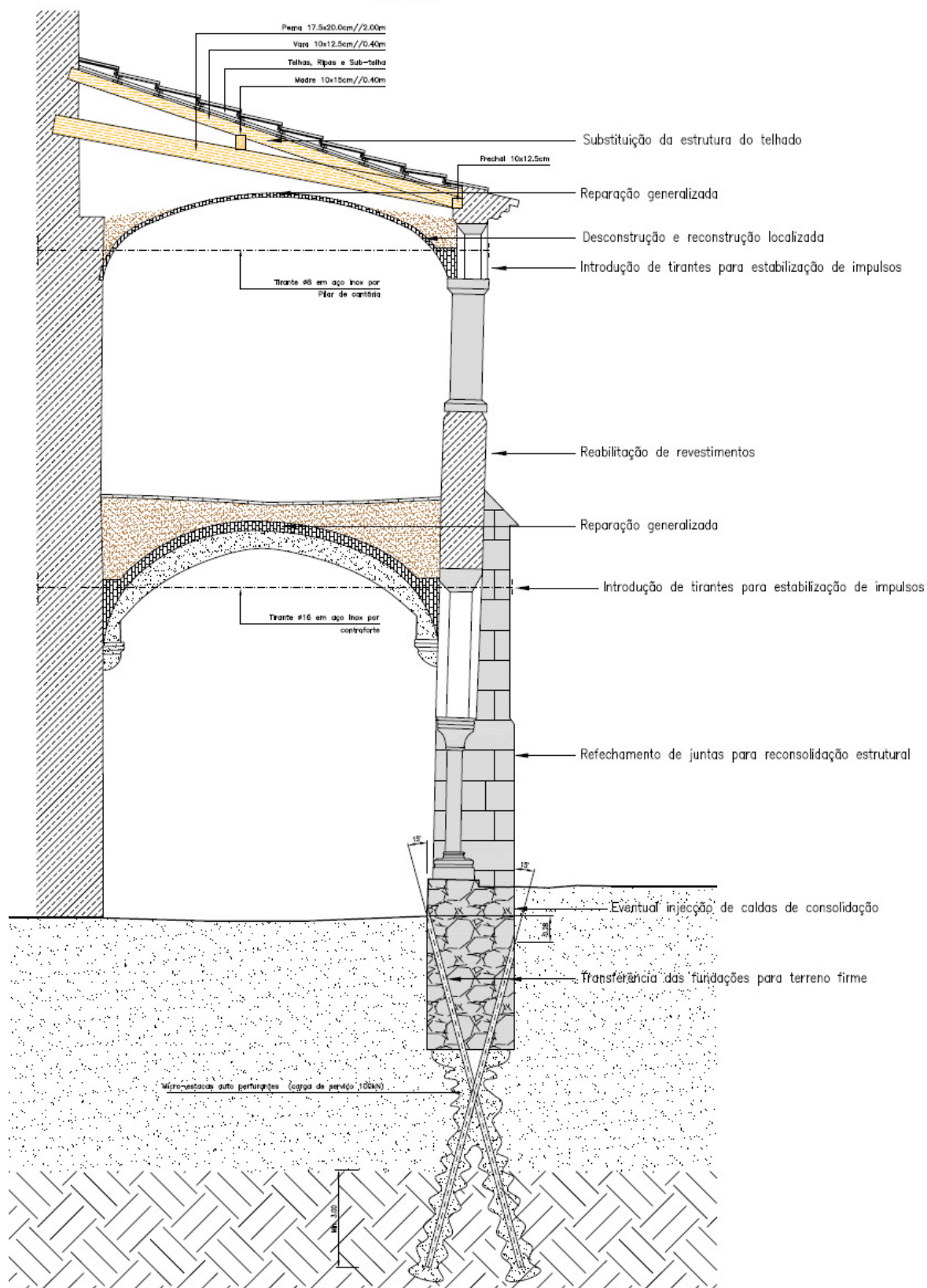


ANEXO 4 | CONVENTO DAS MALTEZAS, ESTREMOZ
DESENHOS DE PROJECTO - ESQUEMA RESUMO DA METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO

METODOLOGIA DE REABILITAÇÃO

CORTE TIPO – MONTANTE TIPO A

ESCALA 1:25



ANEXO 5 | EX-CELEIROS DA EPAC, ÉVORA
DESENHOS DE PROJECTO - MAPEAMENTO DE ANOMALIAS E CARACTERIZAÇÃO
ESTRUTURAL (EXCERTOS EXEMPLIFICATIVOS)

- NOTAS GERAIS:**
- 1 - Cotas dos elementos em metros e dimensões em centímetros, exceto onde indicado.
 - 2 - As peças desenhadas foram feitas com base no levantamento topográfico fornecido pelo CAE assim como nos levantamentos realizados no local, pelo que carecerão, aquando a execução dos trabalhos de reabilitação, de rigorosa confirmação.
 - 3 - Em caso de dúvidas em relação a quaisquer particularidades estruturais ou critérios de projecto, consultar, de imediato, o projectista.

- Indicação da Localização das Fotografias

- Enxacos de Mosaicos Planos

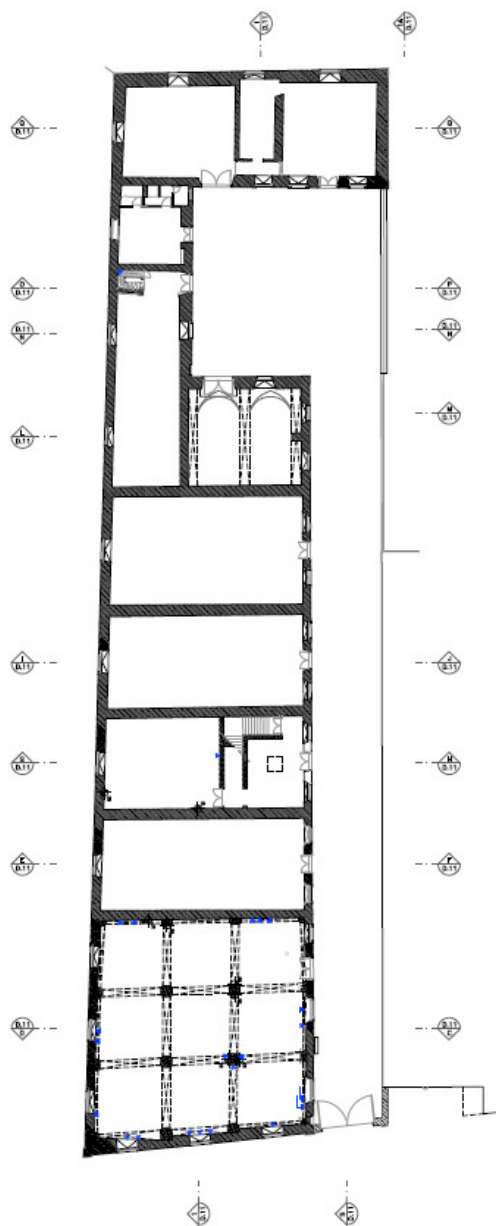
MATERIAIS:

- Paredes de Alvenaria de Tijolo Maciço
- Paredes de Alvenaria de Pedra e Tijolo
- Paredes de Alvenaria não Deltada
- Elementos Metálicos
- Revestimento de Cobertura em Telha Cerâmica
- Revestimento de Paredes
- Elemento de Cantaria de Pedra

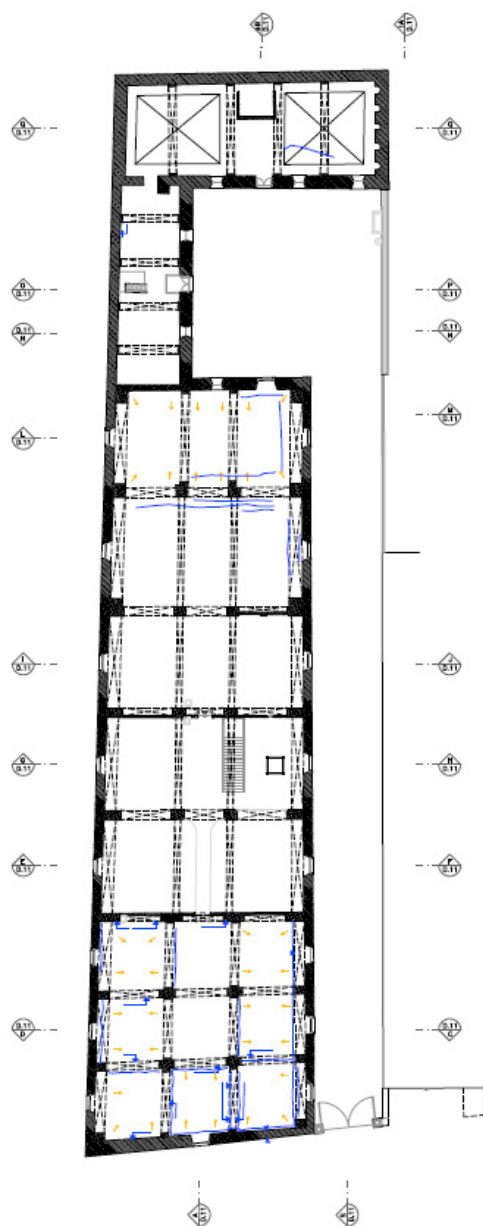
ANOMALIAS:

- Fundição Generalizada e Não Orientada
- Fenda
- Fenda em Paredimento Vertical
- Fenda com Variação de Direcção
- Deterioração do Paredimento
- Degradação de Revestimentos
- Vegetação

PLANTA DO R/C
ESCALA 1:30



PLANTA DO 1º ANDAR
ESCALA 1:30



- NOTAS GERAIS:**
- 1 - Caso dos elementos em metros e dimensões em centímetros, excepto onde indicado.
 - 2 - As peças desenhadas foram feitas com base no levantamento topográfico fornecido pelo CME, assim como nos levantamentos de campo realizados pelo CME. Não foram realizados trabalhos de realimentação, de rigorosa confirmação.
 - 3 - Em caso de dúvidas em relação a qualquer particularidade estrutural ou critérios de projecto, consultar, de imediato, o projectista.

SIMBOLOGIA:

- Indicação da Localização das Fotografias
- Indicação da Localização de Brancos de Concretização

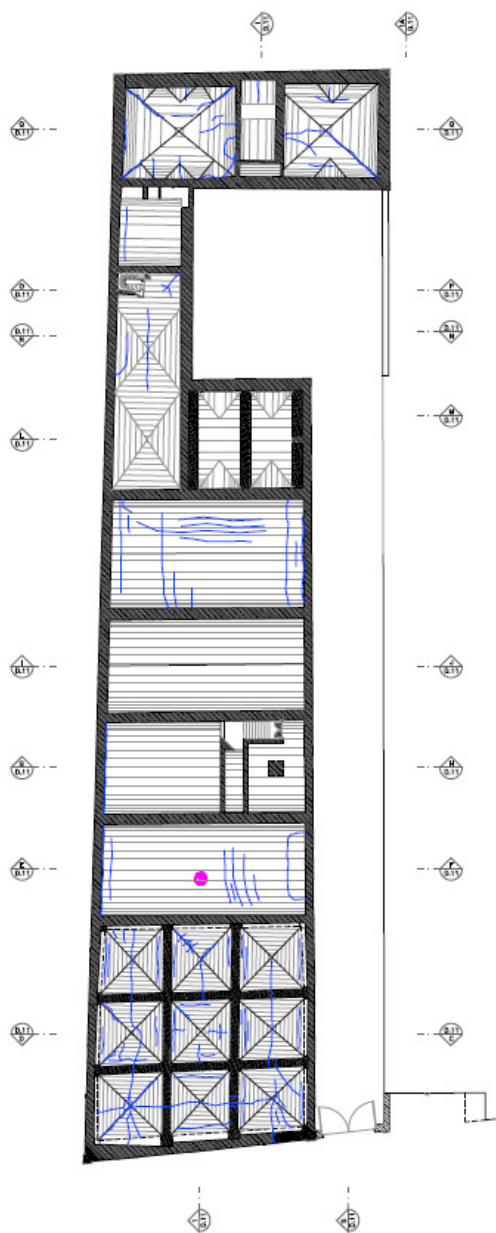
MATERIAIS:

- Paredes de Alvenaria de Tijolo Maciço
- Paredes de Alvenaria de Pedra e Tijolo
- Paredes de Alvenaria não Definida
- Elementos Metálicos
- Revestimento de Cobertura em Telha Cerâmica
- Revestimento de Paredes
- Elemento de Contacto de Pedra

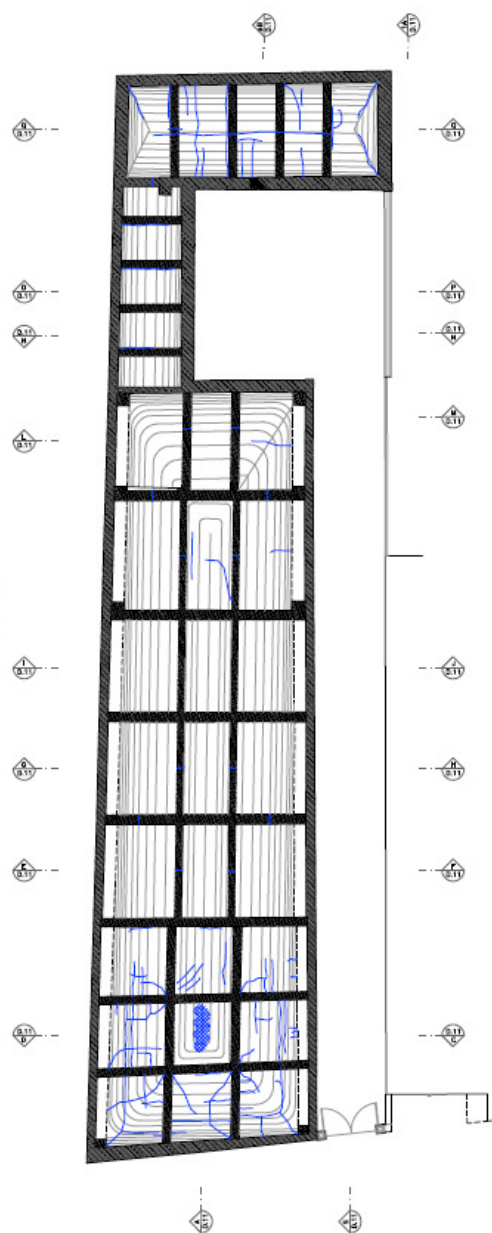
ANOMALIAS:

- Fenótipo Generalizada e Não Orientada
- Fenda
- Fenda em Paramento Vertical
- Fenda com Variação de Direcção
- Declive Acentuado do Pavimento
- Degradação de Revestimentos
- Vegetação

PLANTA TECTO DO R/C
ESCALA 1:50



PLANTA TECTO DO 1º ANDAR
ESCALA 1:50



- NOTAS GERAIS:**
- 1 - Cotas dos elementos em metros e dimensões em centímetros, exceto onde indicado.
 - 2 - As peças desenhadas foram feitas com base no levantamento topográfico fornecido pelo CME assim como nos levantamentos realizados no local, pelo que consoante, quando a execução dos trabalhos de reabilitação, de rigorosa confirmação.
 - 3 - Em caso de dúvidas em relação a qualquer particularidade estrutural ou critérios de projecto, consultar, de imediato, o projectista.

SIMBOLOGIA:

- Indicação da Localização das Fotografias
- Indicação da Localização de Elementos de Caracterização

MATERIAIS:

- Paredes de Alvenaria de Tijolo Maciço
- Paredes de Alvenaria de Pedra e Tijolo
- Paredes de Alvenaria não Definida
- Elementos Morticados
- Revestimento de Cobertura em Telhado Cerâmico
- Revestimento de Paredes
- Elemento de Contacto de Pedra

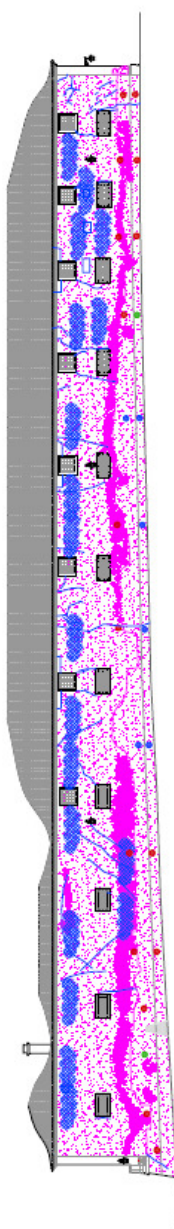
ANOMALIAS:

- Infiltração Generalizada e Não Orientada
- Fenda
- Fenda em Paramento Vertical
- Fenda com Variação de Direcção
- Declive Acentuado do Pavimento
- Degradação de Revestimentos
- Vegetação

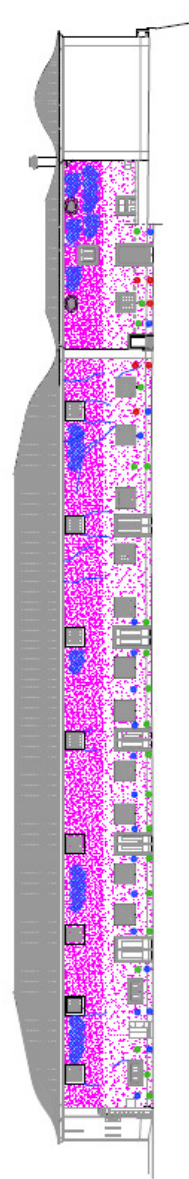
ENSAIOS:

- Medição de Humidade em Reboco de Paredes:
- Reduzido
 - Elevado
 - Muito Elevado

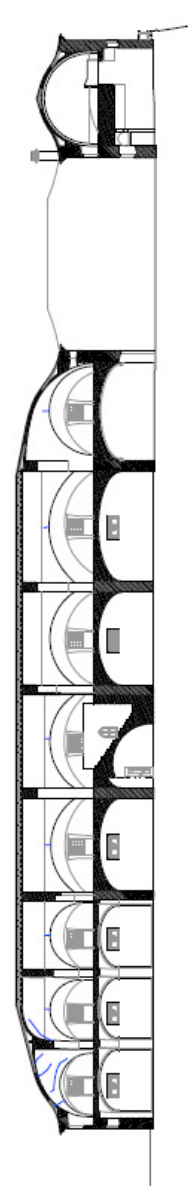
ALÇADO LATERAL ESQUERDO
ESCALA 1:50




ALÇADO LATERAL DIREITO
ESCALA 1:50



CORTE A-B
ESCALA 1:50

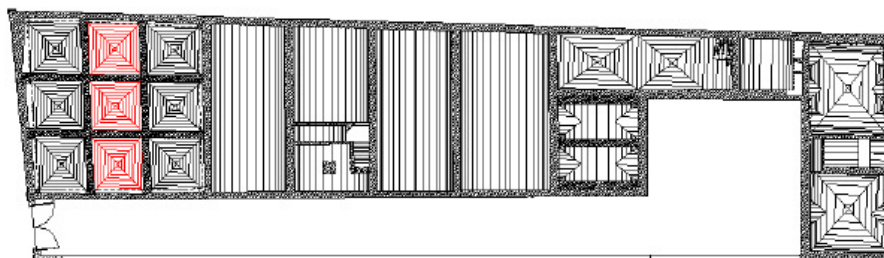


ANEXO 6 | EX-CELEIROS DA EPAC, ÉVORA
VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA ABÓBADA TIPO INDIVIDUAL

Revisão: A	Folha 1 de 13	Nº Projecto: 2008-07	 <p>Edifício Cascais Office, 1º Piso, Sala F Rotunda das Palmeiras 2645-091 Akabideche - Portugal Tel.: (+351) 21.033.11.25 Fax: (+351) 21.033.11.27 Mail: info@leb.pt Web site: www.leb.pt</p>
Projecto: Projecto de Execução – Ex-Celeiros da EPAC			
Assunto: 2.1 – Verificação Estrutural Individual das Abóbadas			
Data 08-2009	Realizado por: JNF	Cliente Câmara Municipal de Évora	
Data 08-2009	Revisto por: TR		Cálculos Justificativos

Abóbada Tipo I - Análise de Três Arcos de Abóbada

Localização:



Definição geométrica:

A caracterização geométrica foi baseada no levantamento em formato CAD, fornecido pela Câmara Municipal de Évora, assim como, em valores resultantes das inspeções realizadas no local.

Altura dos pilares 3,5m
 Espessura dos pilares..... 0,7 m
 Número de elementos por pilar 40 und

Acções:

Acções Variáveis:


Sobrecarga de Utilização..... 1 kN/m²

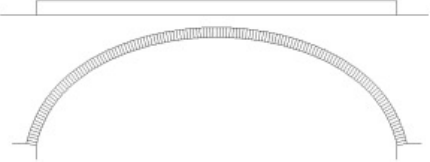
A sobrecarga de utilização foi simulada de três formas diferentes:


Sobrecargas em todos os arcos de abóbada..... SC0
 Sobrecargas em todo o vão de uma abóbada SC1
 Sobrecargas em metade do vão de uma abóbada SC2
 Sobrecargas aplicada em três áreas de 1 metro (com incrementos de 0,3m)..... SC3

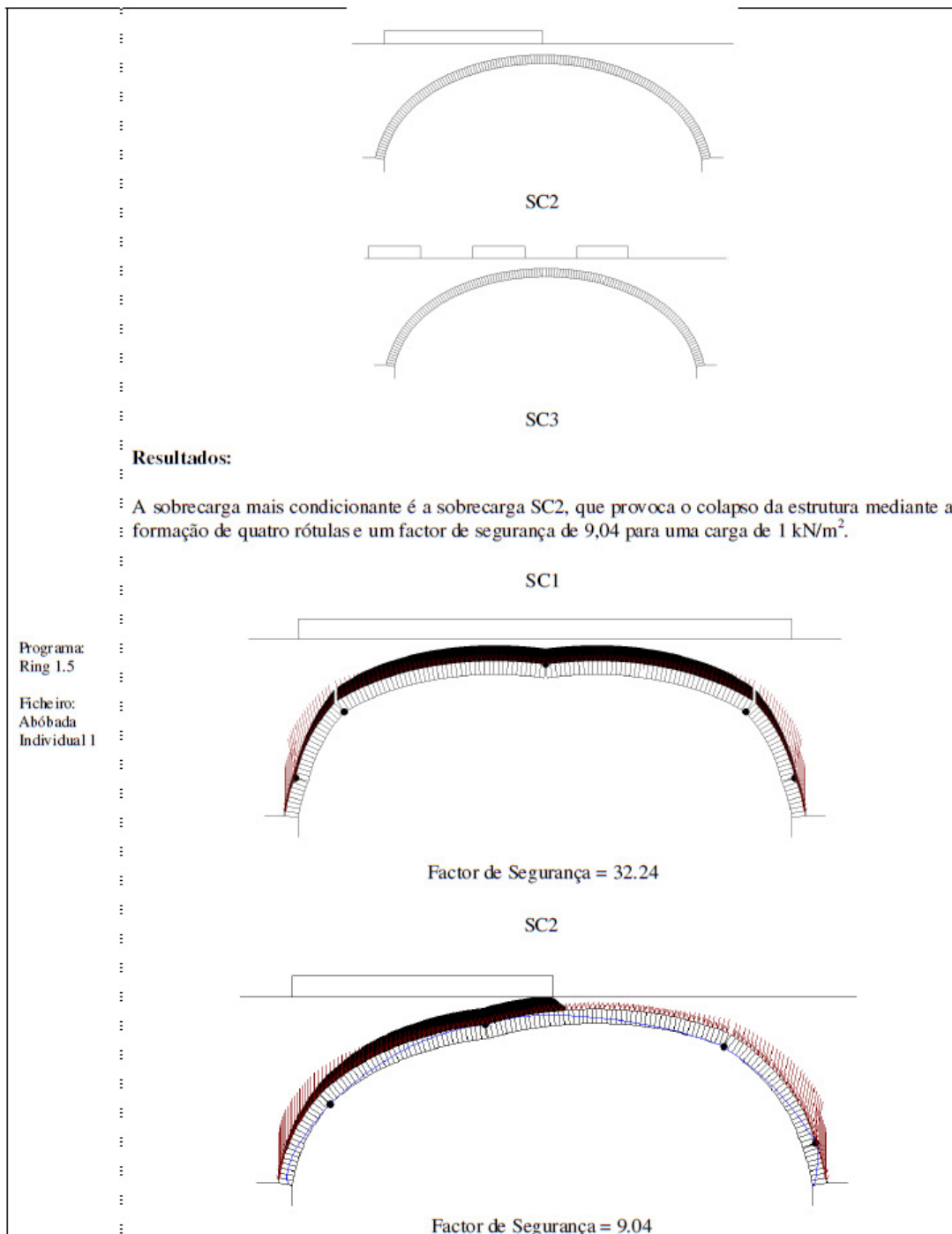
Resultados:


Programa:

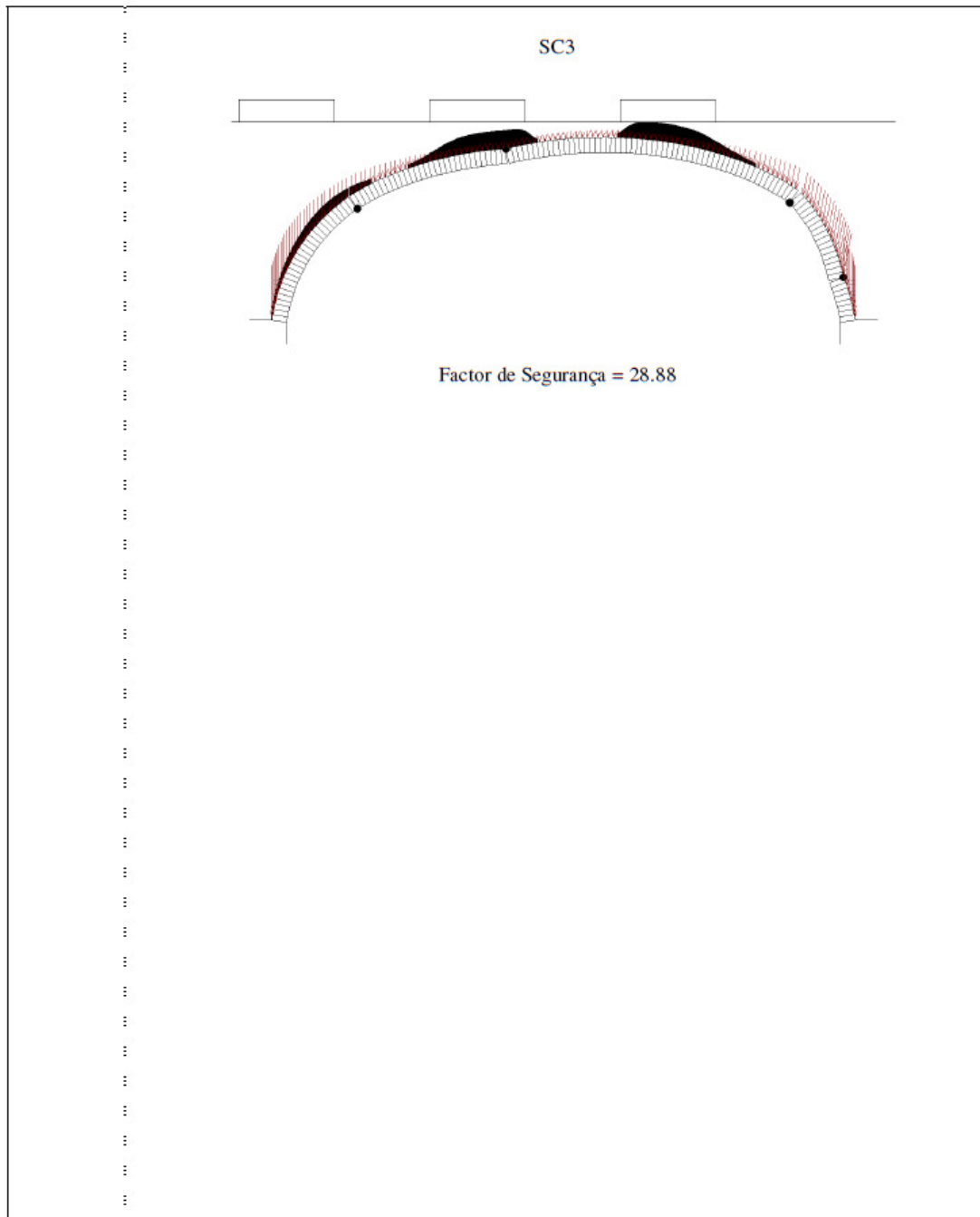
Revisão: A	Folha 2 de 13	Nº Projecto: 2008-07	 <p>Edifício Cascais Office, 1º Piso, Sala F Rotunda das Palmeiras 2645-091 Alcabideche - Portugal Tel.: (+351) 21.033.11.25 Fax: (+351) 21.033.11.27 Mail: info@leb.pt Web site: www.leb.pt</p>
Projecto: Projecto de Execução – Ex-Celeiros da EPAC			
Assunto: 2.1 – Verificação Estrutural Individual das Abóbadas			
Data 08-2009	Realizado por: JNF	Cliente Câmara Municipal de Évora	
Data 08-2009	Revisto por: TR		Cálculos Justificativos

Prática Corrente	<p>Materiais:</p> <p>Os valores que caracterizam os materiais, identificados nas inspecções, foram estimados recorrendo-se à prática corrente.</p> <p>Alvenaria de tijolo maciço:</p> <p>Peso próprio dos tijolos cerâmicos..... 20 kN/m³</p> <p>Coefficiente de atrito radial 0,60</p> <p>Resistência ao esmagamento..... 20 MPa</p> <p>Material de Enchimento:</p> <p>Peso volúmico..... 18 kN/m³</p> <p>Coefficiente de atrito entre o material de enchimento e tijolos 0,6</p> <p>Participação da pressão estabilizadora.....normal</p> <p>Coefficiente de pressão horizontal..... 0,2</p>
	RSA
 <p>SC1</p>	

Revisão: A	Folha 3 de 13	Nº Projecto: 2008-07	 <p>Edifício Cascais Office, 1º Piso, Sala F Rotunda das Palmeiras 2645-091 Alcabideche - Portugal Tel.: (+351) 21.033.1125 Fax: (+351) 21.033.1127 Mail: info@leb.pt Web site: www.leb.pt</p>
Projecto: Projecto de Execução – Ex-Celeiros da EPAC			
Assunto: 2.1 – Verificação Estrutural Individual das Abóbadas			
Data 08-2009	Realizado por: JNF	Cliente Câmara Municipal de Évora	
Data 08-2009	Revisto por: TR		Cálculos Justificativos

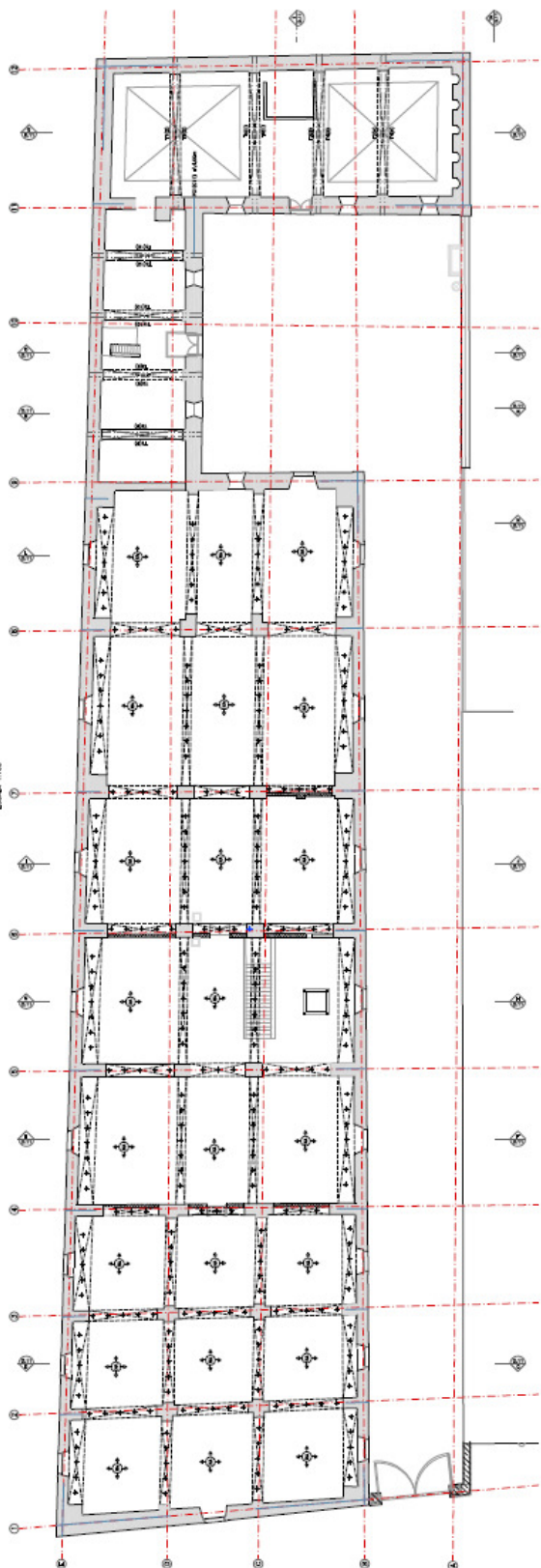


Revisão: A	Folha 4 de 13	Nº Projecto: 2008-07	 <p>Edifício Casais Office, 1º Piso, Sala F Rotunda das Palmeiras 2645-091 Akabideche - Portugal Tel.: (+351) 21.033.11.25 Fax: (+351) 21.033.11.27 Mail: info@leb.pt Web site: www.leb.pt</p>
Projecto: Projecto de Execução – Ex-Celeiros da EPAC			
Assunto: 2.1 – Verificação Estrutural Individual das Abóbadas			
Data 08-2009	Realizado por: JNF	Cliente Câmara Municipal de Évora	
Data 08-2009	Revisto por: TR		Cálculos Justificativos



ANEXO 7 | EX-CELEIROS DA EPAC, ÉVORA
DESENHOS DE PROJECTO - METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO (EXCERTOS
EXEMPLIFICATIVOS)

PLANTA DO 1º ANDAR
Escala 1:100



NOTAS GERAIS:

- 1 - Sobre as dimensões em metros e frações de metro, ver o código.
- 2 - As peças dimensionadas foram feitas com base no levantamento topográfico e em conformidade com o sistema de medição adotado nas unidades de medição. As dimensões são as cotadas nas plantas de referência. Se houverem alterações, estas deverão ser aprovadas pelo cliente.
- 3 - Em caso de dúvidas em relação a qualquer interpretação ou utilização dos símbolos, consulte o proprietário.

LEGENDA:

- [Símbolo] - Paredes de Alvenaria Estrutura
- [Símbolo] - Piso em Projeto
- [Símbolo] - Piso em Execução
- [Símbolo] - Piso em Uso
- [Símbolo] - Piso em Uso
- [Símbolo] - Piso em Uso
- [Símbolo] - Piso em Uso
- [Símbolo] - Piso em Uso
- [Símbolo] - Piso em Uso
- [Símbolo] - Piso em Uso

SÍMBOLOS DE RESERVAÇÃO

- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura fixada
- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura variável
- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura variável
- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura variável
- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura variável
- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura variável
- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura variável
- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura variável
- [Símbolo] - Descrição de Projeção Admitida com largura variável

- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria

- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria
- [Símbolo] - Referência de Projeção de Alvenaria

ANEXO 8 | APRESENTAÇÃO (DIAPOSITIVOS)

Conservar para conhecer, **conhecer para conservar...**

A close-up photograph of a brick dome structure, showing the intricate brickwork and a central circular opening. The bricks are arranged in a radial pattern, creating a star-like or web-like structure. The colors range from light tan to dark brown, indicating different brick types or weathering. The central opening is a circular hole in the brickwork.

CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS ARQUEADAS

PROPOSTA METODOLÓGICA
DE INTERVENÇÃO

ANDREIA TOMÁS | MESTRADO INTEGRADO EM ARQUITECTURA

UMA DAS MAIS ANTIGAS TÉCNICAS DESENVOLVIDAS PELO HOMEM...



...PARA VENCER VÃOS



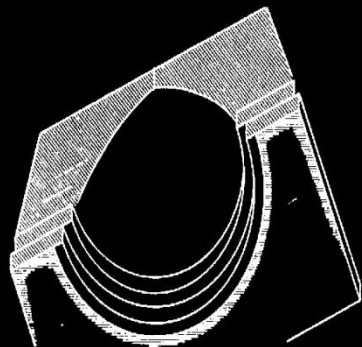
...PARA CRIAR ESPAÇOS

ENQUADRAMENTO

USADAS DESDE O ÍNICIO DA HISTÓRIA DA ARQUITECTURA



| Neólitico 9000 a.C.
| Khirotikia



| Egipto 3000 a.C.
| Abydos



| Persas e Etruscos 700 a.C.
| Iawn Oriental



| Romanização 500 a.C.
| Aqued. Segóvia



| Bizâncio séc.V
| Santa Sofia



| Período Medieval séc.X
| Mosteiro da Batalha



| Renascimento séc.XV
| S. Pedro Roma



| Actualidade séc.XX
| Queensboro Mark.

ENQUADRAMENTO

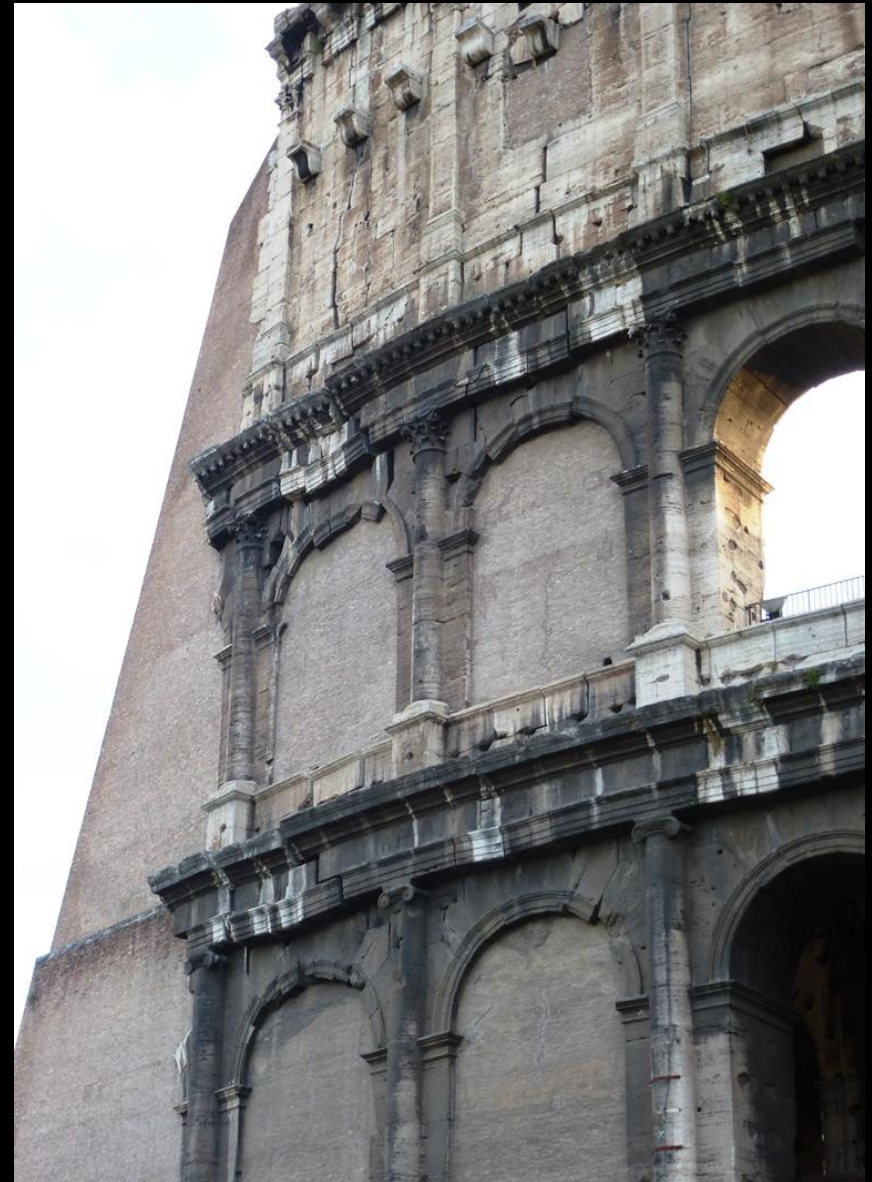
DETERIORAÇÃO UM PROCESSO INEVITÁVEL ...

- Danos que inviabilizem o uso
- Desadequadas face às novas exigências de vida



REABILITAÇÃO

- Melhoria das condições de uso e habitabilidade
- **CONSERVAÇÃO** dos valores do objecto





DOCUMENTAL E HISTÓRICO



ARQUITECTÓNICO



SIMBÓLICO

Estético e Formal



CONSTRUTIVO

- Modos de Concepção
- Técnicas construtivas
- Materiais originais
- Alterações acumuladas

A close-up photograph of several hands holding white puzzle pieces against a dark background. The hands are positioned around the pieces, suggesting they are being assembled or held together. The lighting is soft, highlighting the texture of the skin and the edges of the puzzle pieces.

WE NEED MORE THAN USER EXPERIENCES

WE NEED STRATEGIES

METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO

MEDICINA

FASE 1



INVESTIGAÇÃO



ANÁLISE



DIAGNÓSTICO

FASE 2



PRESCRIÇÃO

FASE 3



TERAPIA

RECOMENDAÇÕES ISCARSAH/ICOMOS (2003) *para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico*

FASE 1



INVESTIGAÇÃO



ANÁLISE



DIAGNÓSTICO

FASE 2



PROJECTO

FASE 3



EXECUÇÃO

RECOMENDAÇÕES ISCARSAH/ICOMOS (2003) para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico

FASE 1 | INVESTIGAÇÃO, ANÁLISE E DIAGNÓSTICO

Investigação e aquisição de dados

-  Histórica
-  Inspeções
-  Ensaios



Modelação do Comportamento Estrutural

-  Esquema estrutural
-  Materiais
-  Acções




Avaliação da Conservação e Segurança

-  Análise Histórica
- Qualitativa
- Quantitativa



Diagnóstico

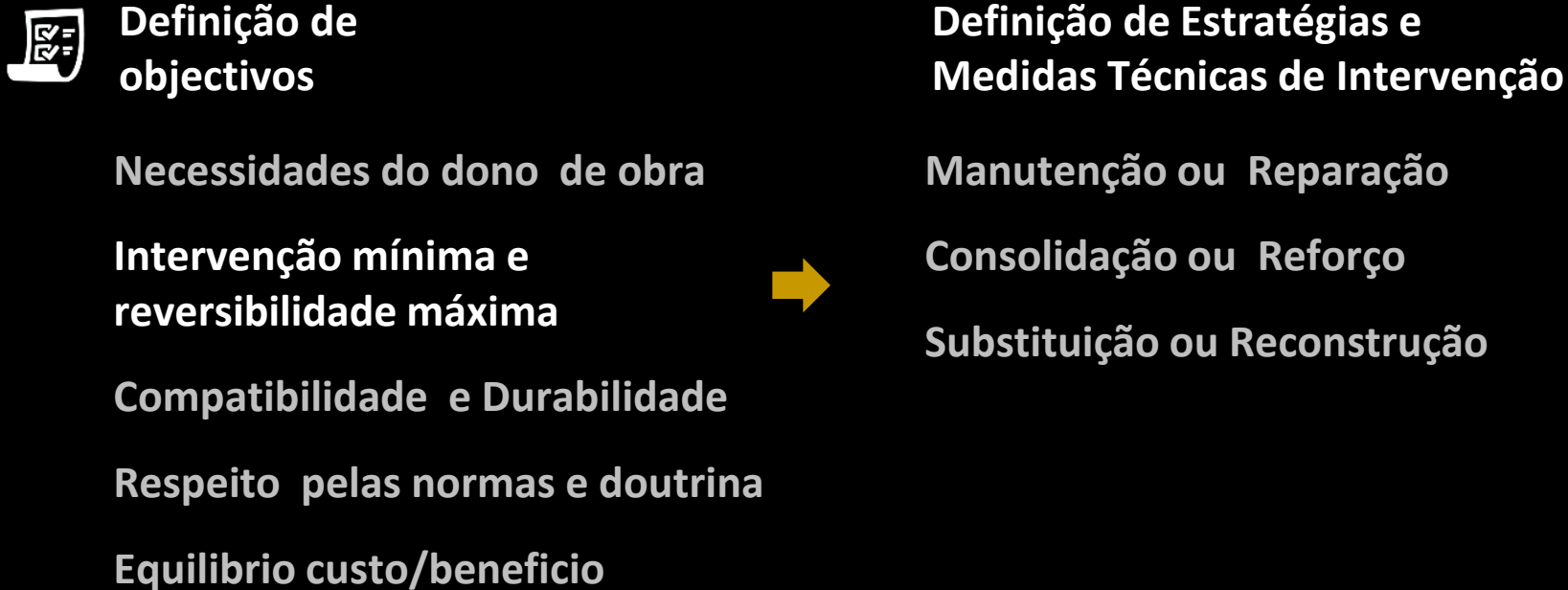
-  Anomalias e causas
- Direcção das estratégias



Relatório de Avaliação

RECOMENDAÇÕES ISCARSAH/ICOMOS (2003) para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico

FASE 2 | PROJECTO



RECOMENDAÇÕES ISCARSAH/ICOMOS (2003) *para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico*

FASE 3 | EXECUÇÃO



Materialização em obra das decisões de projecto

Trabalhos preparatórios

Realização da obra

Inspeção e monitorização à posteriori

**MAS AFINAL QUE ESTRUTURAS SÃO ESTAS
SOBRE AS QUAIS NOS PROPOMOS INTERVIR ?**



O QUE É UMA ESTRUTURA ARQUEADA?

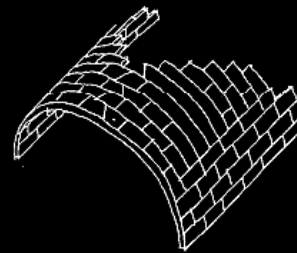
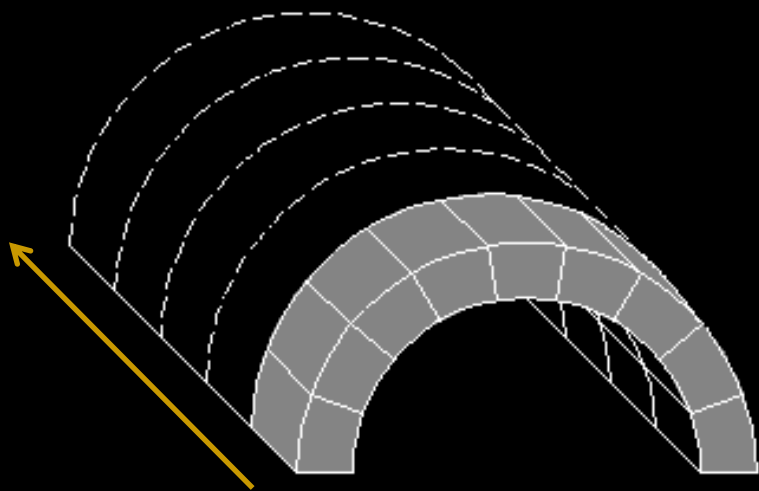
CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA

ARCO

- Elemento curvilíneo
- Peças de alvenaria de tijolo ou pedra
- Vão



ABÓBADA



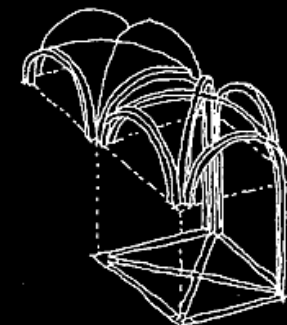
Berço



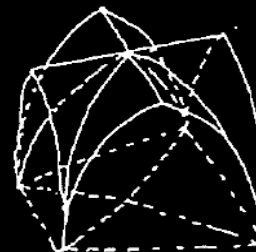
Engras



Arestas



Arestas Nervurada

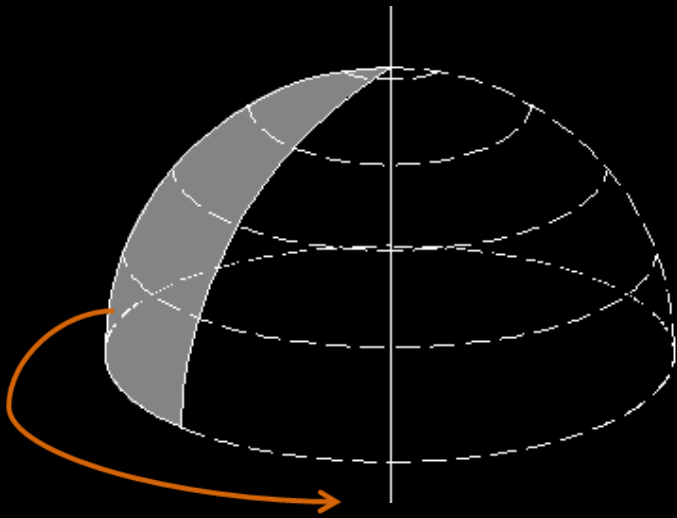


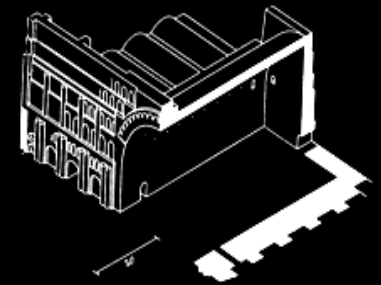
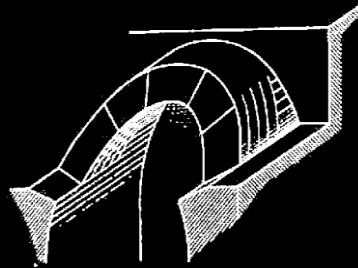
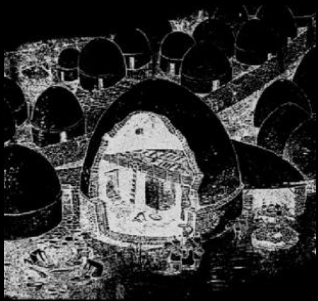
Ogivas



Ogivas Nervurada

CÚPULA



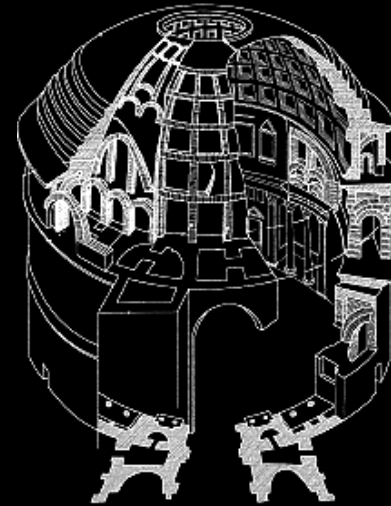
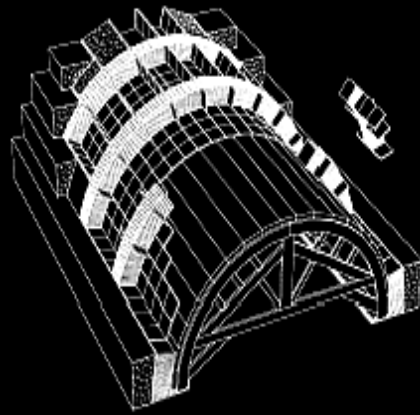
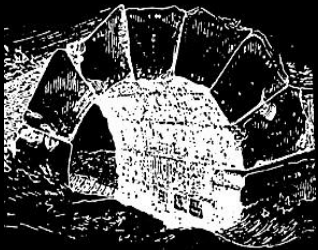


| Khirotikia
| 9000 a.C , Mesopotâmia

| Abydos e Ramesseum
| 3000 a.C, Egipto

| Tumba de Atreu
| 1300 a.C, Egeu

| Iawn Oriental
| 700 a.C, Persia

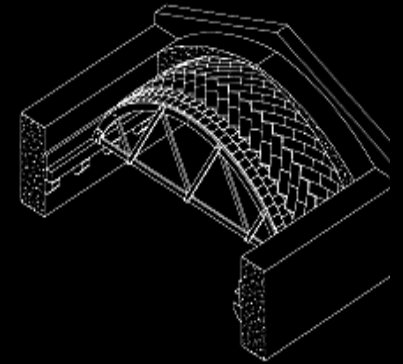
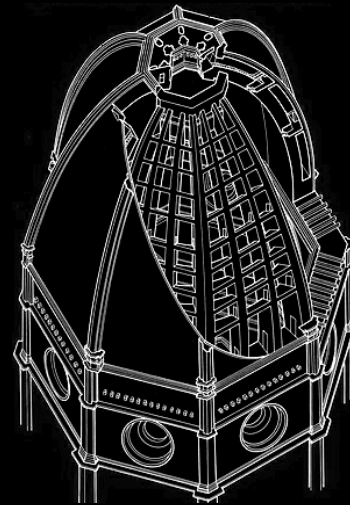
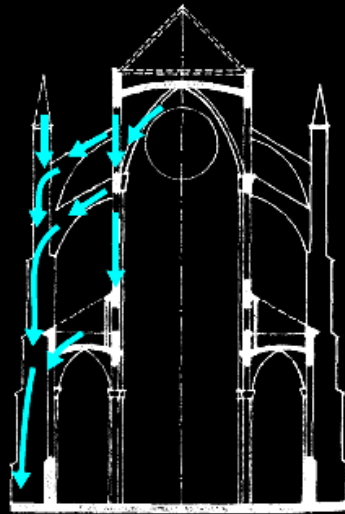
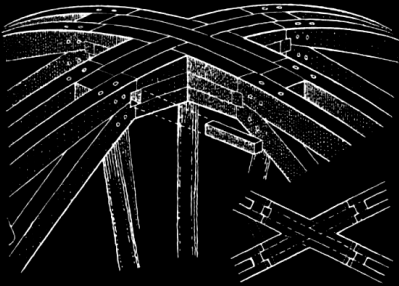
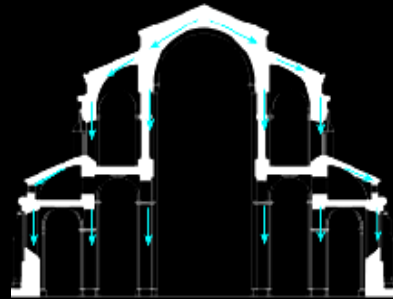


| Arco Etrusco
| 700 a.C , Mediterrâneo

| Basílica de Constantino
| 500 a.C, Roma

| Panteão
| 27 a.C





| Igrejas e Catedrais Medievais
| séc.V, Bizâncio | séc. X, Europa

| S. Maria del Fiore
| séc.XV, Renascimento

| Abóbada tabicada
| séc.XIX





| Hangar Orvieto, Nervi | Gherkin, Norman Foster
| séc. XX à Modernidade



AS NOVAS ESTRUTURAS DE AÇO E BETÃO



SÃO DIFERENTES DAS
ANTIGAS ESTRUTURAS DE ALVENARIA

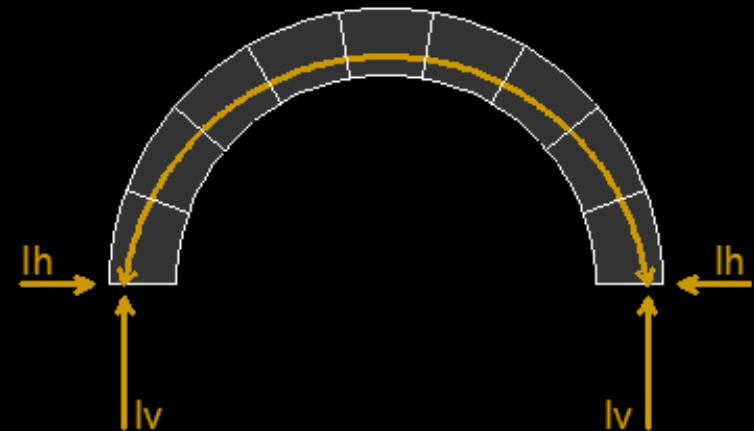
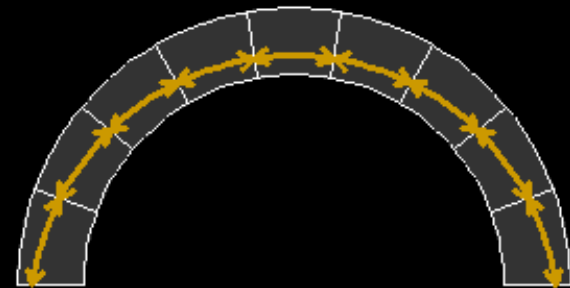
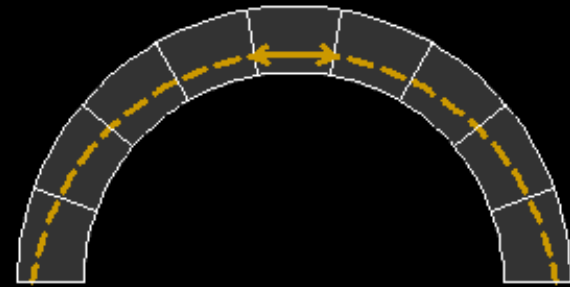
CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL

ALVENARIA = SISTEMA DESCONTÍNUO

- Resistência à tracção nula
- Resistência à compressão muito elevada
- Grande atrito entre as unidades



ESPECIALMENTE INDICADO PARA
ESTRUTURAS ARQUEADAS



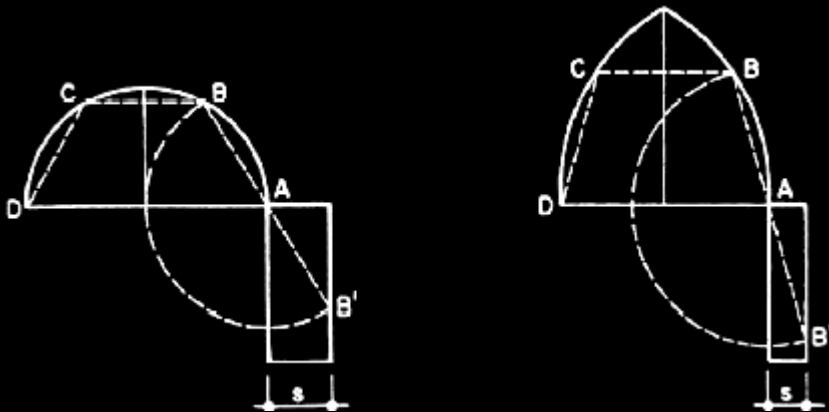
MAS AFINAL COMO É QUE OS ARQUITECTOS-ENGENHEIROS DO PASSADO



GARANTIAM QUE ARCOS, ABÓBADAS E CÚPULAS FICARIAM DE PÉ?

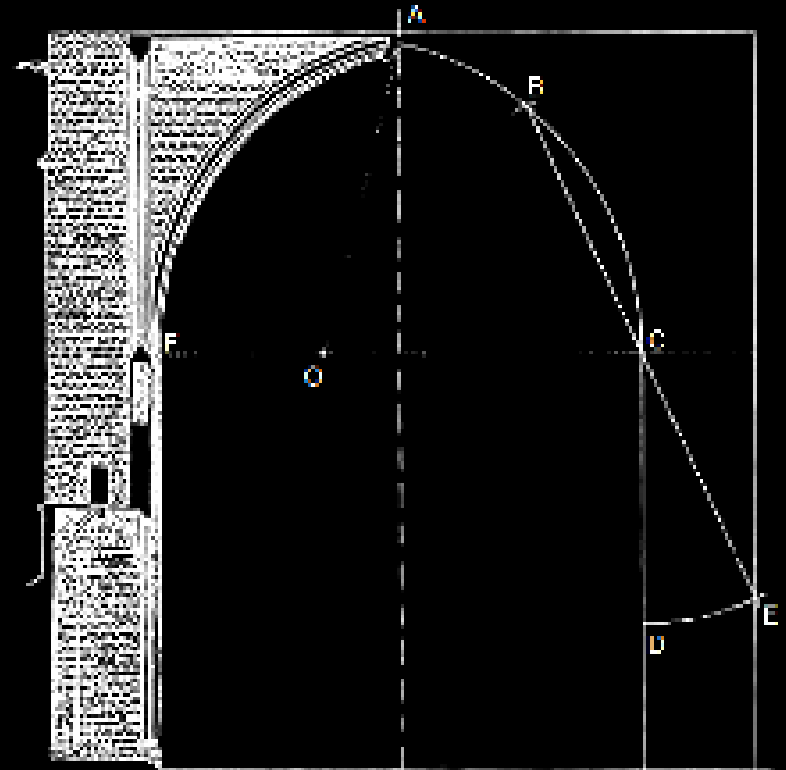
GEOMETRIA DO DIMENSIONAMENTO

- Ao longo de séculos através do conhecimento empírico
- Definição de formas geométricas que assegurassem o equilíbrio



Regra gótica para desenho de encontros [séc. XVII]

Regra geométrica para o desenho de encontros:
O arco transversal da abóbada é dividido em três partes sendo BC igual a CE

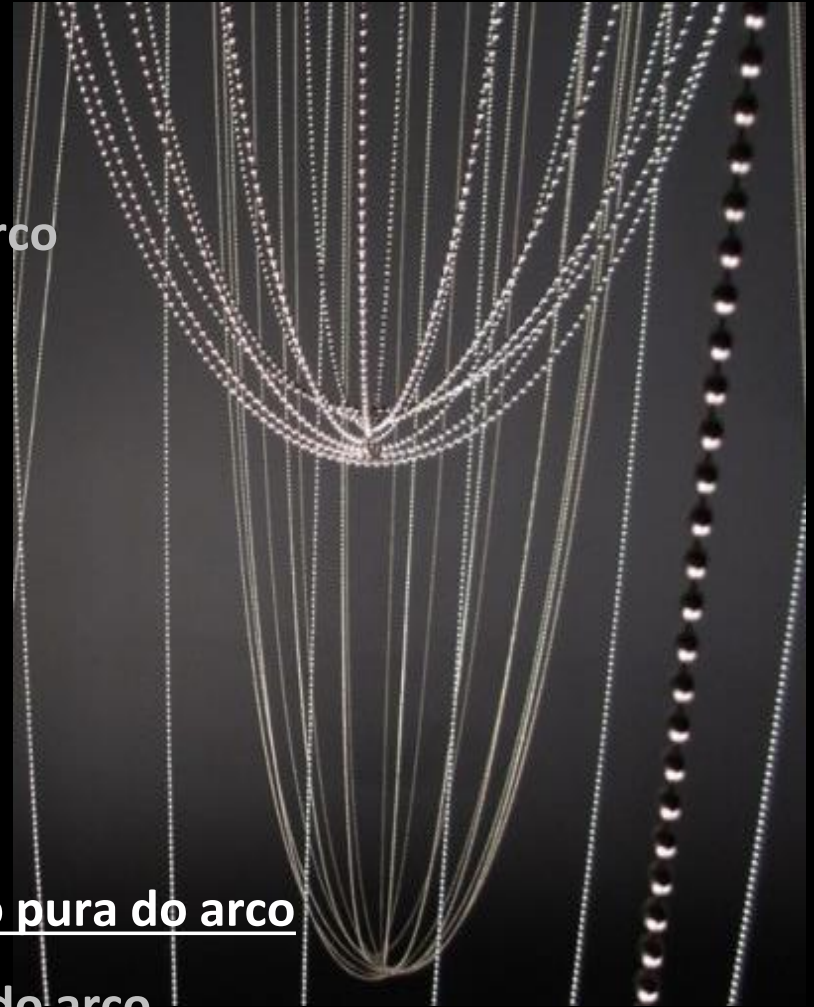
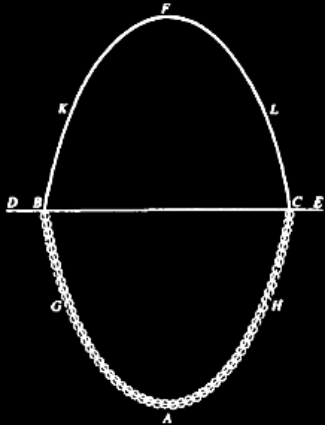


Aplicação de Derand à catedral de Girona [séc. XVII]

HOOKE [1675]

LINHA DE PRESSÕES = CATENÁRIA

- **Linha de pressões:**
Linha que une os centros de pressão do arco
- **Catenária:**
Geometria de uma corrente suspensa



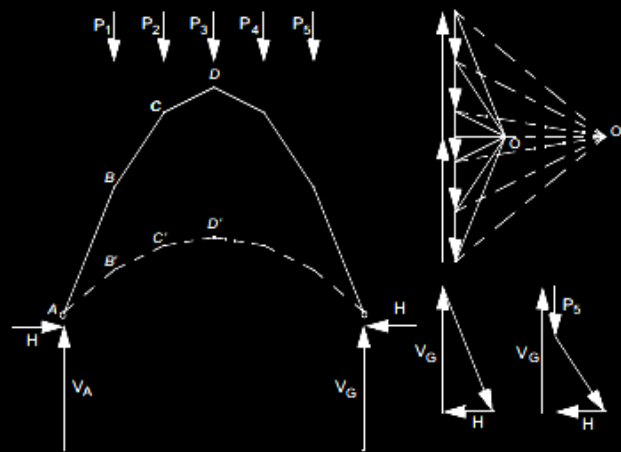
- Tracção pura da Catenária = Compressão pura do arco
- Forma da catenária = Linha de pressões do arco

CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL

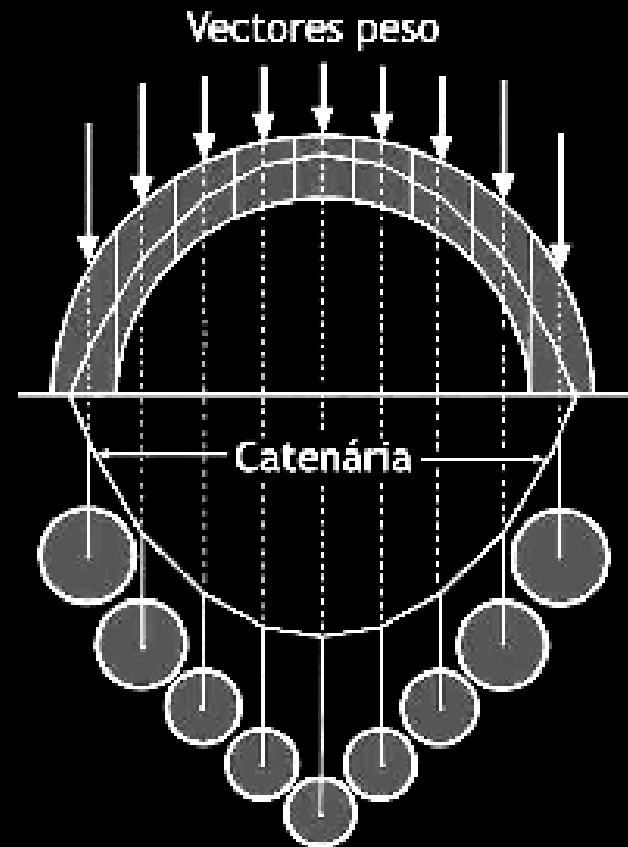
A ESTABILIDADE DO ARCO É GARANTIDA

SE...

A LINHA DE PRESSÕES ESTIVER NO INTERIOR DA SECÇÃO



Traçado de um polígono funicular



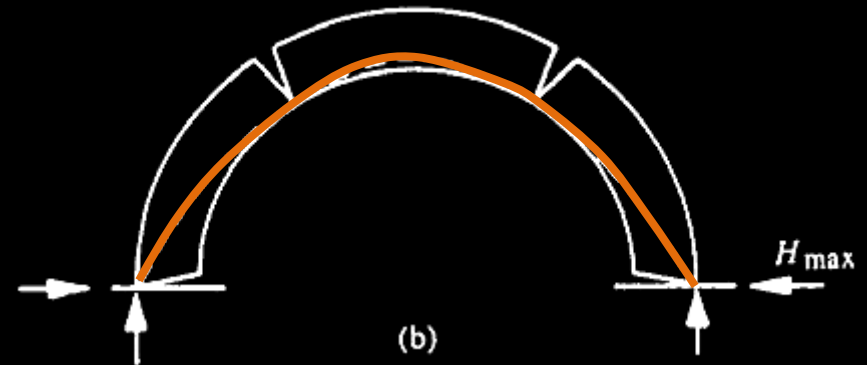
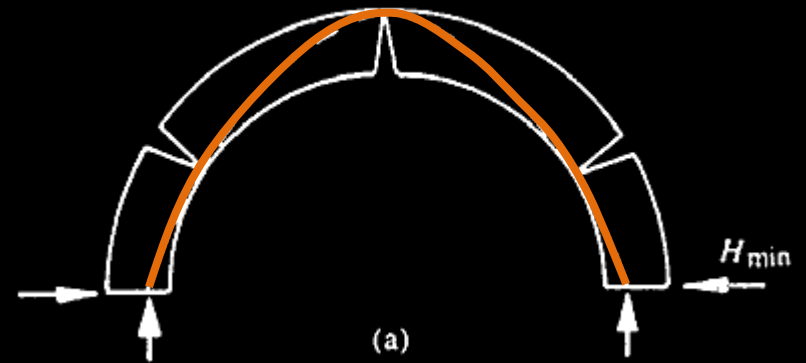
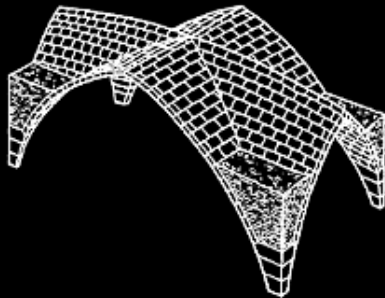
Pesos correspondentes

- Secção comprimida > Secção estável

IMPULSOS ACTUANTES SOBRE OS ENCONTROS

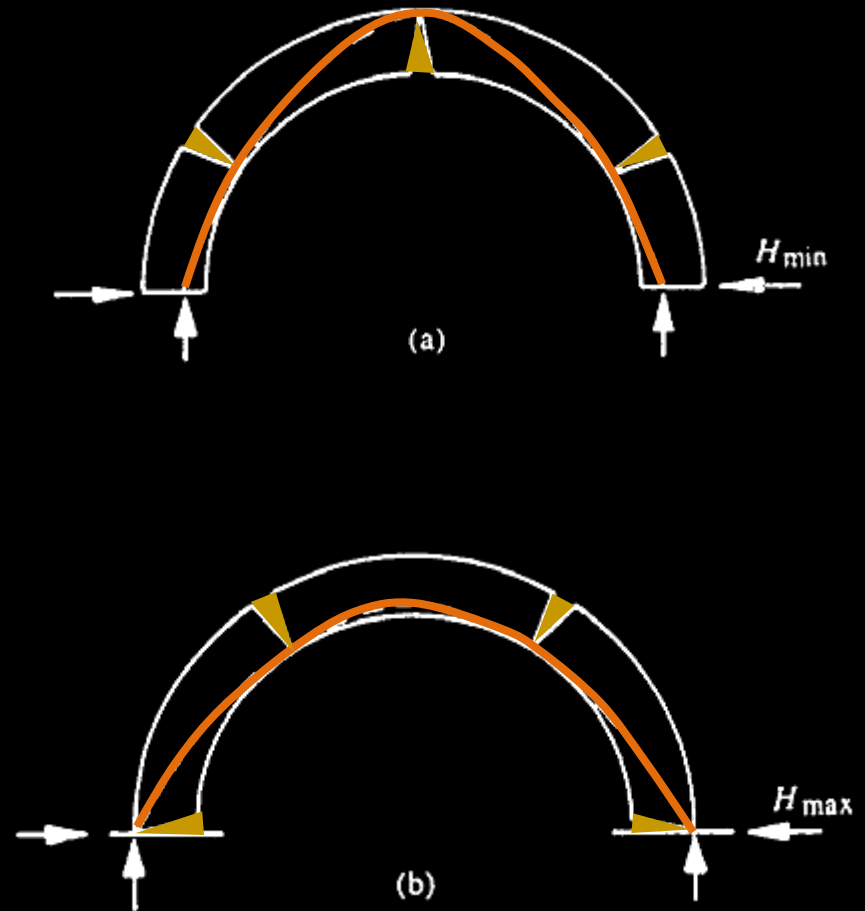
A mesma força que a corrente exerce para dentro é exercida para fora pelo arco.

- Impulso mínimo
- Impulso máximo



MECANISMO DE COLAPSO > O ARCO FENDILHA

- 3 Rótulas = Estável
- 4 Rótulas = Colapso



2 QUESTÕES FUNDAMENTAIS

- Geometria de equilíbrio do arco
- Encontros que resistam aos impulsos



Um arco nunca dorme [Antigo provérbio Árabe]

ABÓBADAS

- Linha de pressões > Superfície de Pressões
- Decomposição em arcos
- ✓ Segurança da estrutura decomposta
- ✓ Segurança da estrutura completa



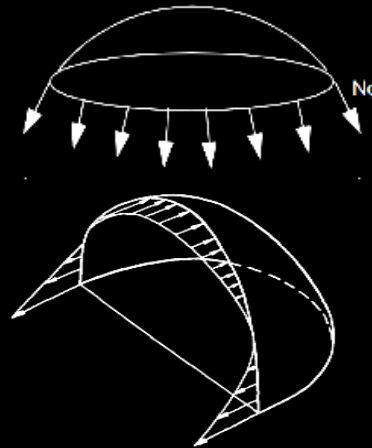
Modelo de correntes Sagrada Família de Gaudi

CÚPULAS

- Linha de pressões > Superfície de Pressões
- Decomposição em lúnulas
- ✓ Segurança da estrutura decomposta
- ✓ Segurança da estrutura completa



S. Sofia de Constantinopla [44 arcos]



CÁLCULO ESTRUTURAL ACTUAL ...

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

- Simulação de meios descontínuos
- Análise linear: estrutura global
- Análise não linear : local

- Conhecimento profundo do funcionamento do material
- Total domínio dos programas de cálculo utilizados

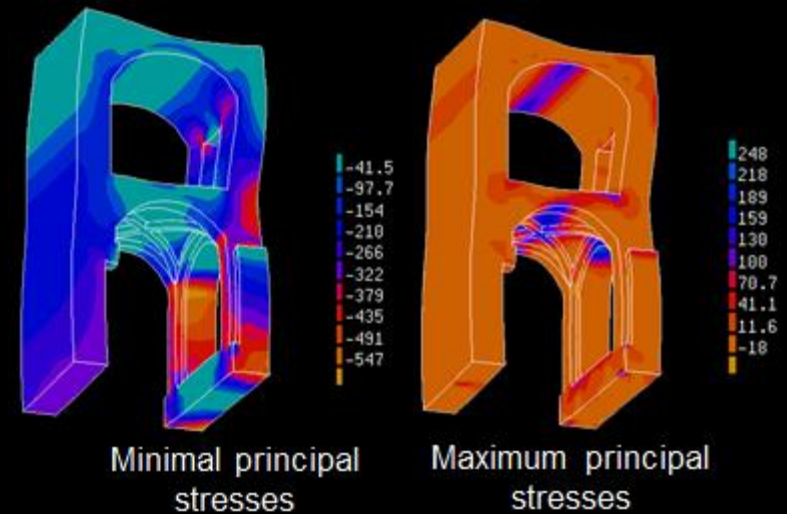


Image size: 2891x 2291
View: Coronal
ML: 1623 mm
C: 5.44 px Y: 13.98 px W: 1.00 mm
C: 0.00 mm T: 0.00 mm RZ: 0.00 mm

2411678K (35 y , 35 y
-- Later



Isometric 65% Angle: 306
m: 1/2
Uncompressed

19/11/2010 01:47:35
Made in Dora

PATOLOGIA ESTRUTURAL E CONSTRUTIVA FUNDAMENTAL

PRINCIPAIS CAUSAS E TIPOS DE ANOMALIAS

- Devidas à **ACÇÃO HUMANA**
- Devidas a **ACÇÕES NATURAIS**

ANOMALIAS NÃO ESTRUTURAIS

- **Deficiente funcionalidade e habitabilidade**
- **Não colocam em causa a segurança**

ANOMALIAS ESTRUTURAIS

- **Deficiente funcionamento**
- **Podem colocar em causa a segurança**

ANOMALIAS NÃO ESTRUTURAIS

- ✓ **Alterações de Superfície**
 - Cor [manchas]
 - Depósitos
- ✓ **Desintegração do material**
 - Perda de coesão
 - Perda de adesão
 - Destacamento
- ✓ **Fendilhação não estrutural**
 - Fissuração, fendilhação
- ✓ **Pequenos danos mecânicos**
 - Riscos
 - Lascagem



Manchas



Eflorescências



Destacamento de revestimentos



Fendilhação de elementos de alvenaria

PRINCIPAIS CAUSAS

- ✓ **Acções Físicas**
 - Gravidade e temperatura
 - Água e vento
 - Radiação solar
 - Biológicas
- ✓ **Acções Químicas**
 - Água e sais
 - Carbonatação e oxidação
 - Biológicas
- ✓ **Acção do Homem**
 - Desgaste dos materiais
- ✓ **Acidentes / Desastres naturais**

ANOMALIAS ESTRUTURAIS



Rotação de apoio



Fendilhação estrutural



Abatimento de arco

- ✓ **Deformação excessiva**
 - Apoios
 - Arcos
- ✓ **Fendilhação estrutural**
 - Com manutenção do equilíbrio
 - Rotura e colapso
 - Esmagamentos localizados
- ✓ **Deterioração muito acentuada**
 - Perda de resistência
 - Lacunas estruturais

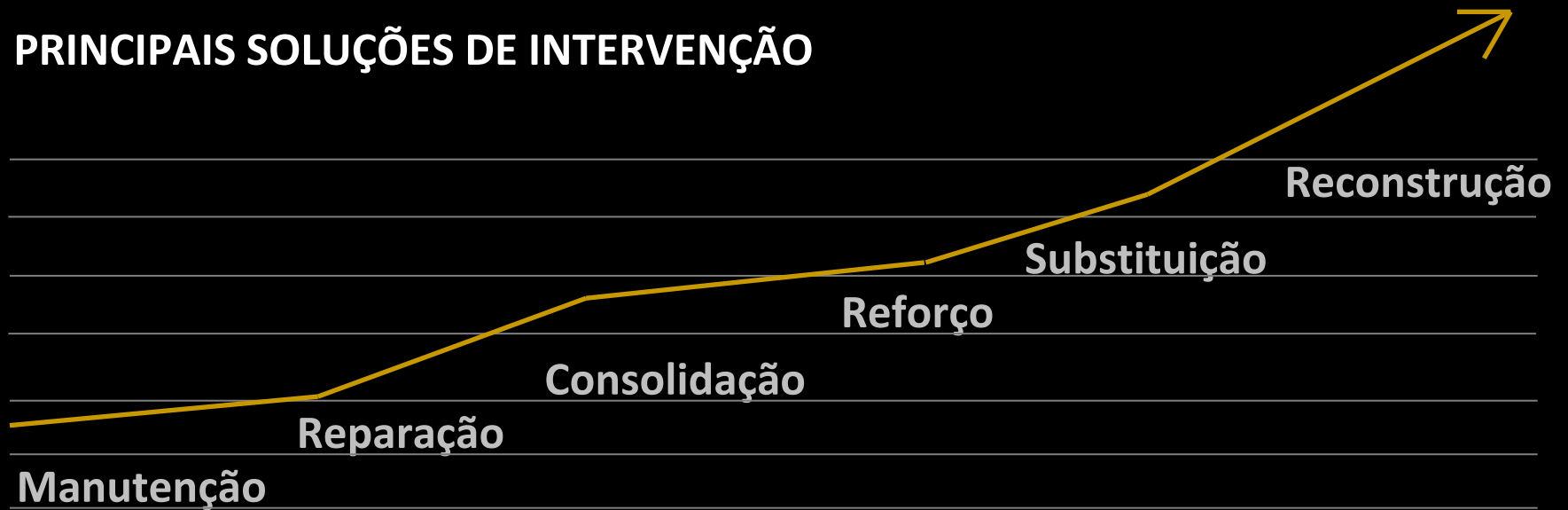
PRINCIPAIS CAUSAS

- ✓ **Problemas de concepção ou construção**
- ✓ **Alteração das condições de uso**
- ✓ **Alterações da envolvente e das condições de fundação**
- ✓ **Degradação grave dos materiais**
- ✓ **Acidentes / Desastres naturais**



PRINCIPAIS SOLUÇÕES DE INTERVENÇÃO

PRINCIPAIS SOLUÇÕES DE INTERVENÇÃO



> Profundidade da intervenção

NÃO ESTRUTURAIS

ESTRUTURAIS

SOLUÇÕES NÃO ESTRUTURAIS

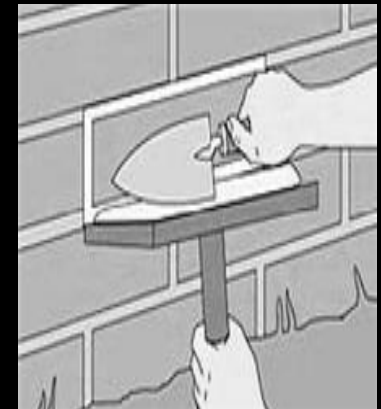
- ✓ **Eliminação das causas**
 - Condições de carga e apoio
 - Eliminação da presença de humidades e água
- ✓ **Limpeza de superfícies**
 - Limpeza geral
 - Limpeza eflorescências
 - Limpeza colonização biológica
- ✓ **Reparação não estrutural de alvenarias**
 - Tratamento de juntas



Jacto de água de pressão controlada



Tratamento de eflorescências pastas absorventes



Tratamento de juntas

SOLUÇÕES NÃO ESTRUTURAIS

- ✓ **Reparação de revestimentos**
 - Tratamento de fissuras e fendas
 - Colmatação de lacunas
 - Consolidação e melhoria aderência
 - Substituição parcial ou total
- ✓ **Proteção**
 - Hidrofugação
 - Pinturas protectoras



Estuques degradados e posteriormente reparados



Efeito da aplicação de um líquido hidrófugo

SOLUÇÕES ESTRUTURAIS



Grampo metálico em cozimento de fenda



Injecção de caldas ligantes



Pregagens aderentes

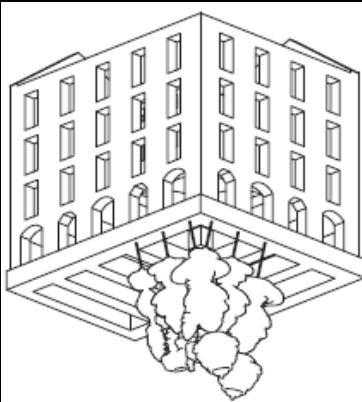


Reforço com tirantes metálicos

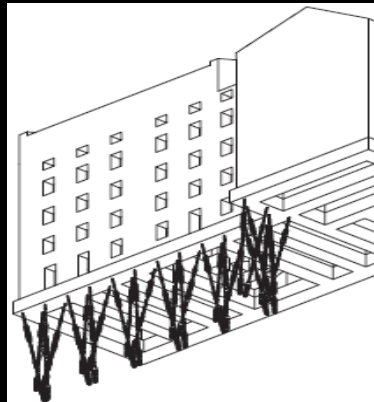
- ✓ **Reparação estrutural**
 - Tratamento de fendas [Selagem, Injecção, Cozimento]
 - Colmatação de lacunas
 - Reparação de elementos
- ✓ **Consolidação**
 - Injecção de consolidantes
 - Injecção de caldas ligantes
- ✓ **Reforço estrutural**
 - Rebocos armados
 - Aumento da secção
 - Elementos metálicos
 - Elementos não metálicos

SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

- ✓ **Reparação, Consolidação e Reforço de fundações**
 - Consolidação de terrenos
 - Consolidação da fundação existente
 - Reforço por aumento da secção [alargamento e recalçamento]
 - Reforço com fundações profundas



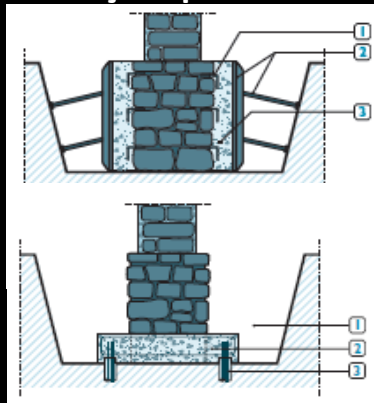
Consolidação com resinas ou caldas



Reforço com fundações profundas



Reforço por aumento da secção





1) Projecto de Conservação e Restauro do Arco da Rua Augusta

Autoria: *Atelier 15*

Coordenação: Sérgio Fernandez e Alexandre Alves Costa

Colaboração e consultoria: José Aguiar e Luís Mateus | FAUL
Delgado Rodrigues | conservação da pedra
Sandra Alves | restauro

2) Projecto Reabilitação dos Antigos Celeiros da EPAC de Évora

Autoria: *LEB*

Coordenação: Thomaz Ripper

Colaboração : Andreia Tomás | João Ferreira

3) Projecto de Conservação e Consolidação do Clausto do Convento das Maltezas

Autoria: *LEB*

Coordenação: Thomaz Ripper

Colaboração : Andreia Tomás | João Ferreira

ENQUADRAMENTO



**Monumento Nacional
Estremoz**

HISTÓRIA

Séc. XVI

Convento de São João da Penitência da
Ordem de Malta
Piso Térreo

Séc. XVII

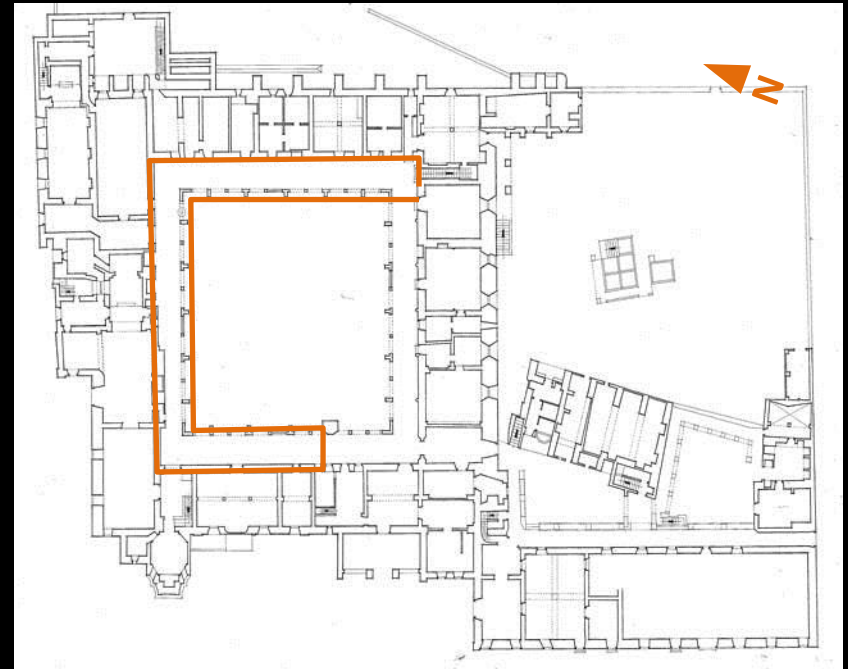
Hospital de Nossa Senhora dos Mártires
Piso Nobre

2002

Conversão em museu e pólo cultural
Conjunto de anomalias estruturais ala
Sul

2009

Novo conjunto de anomalias estruturais
ala Norte



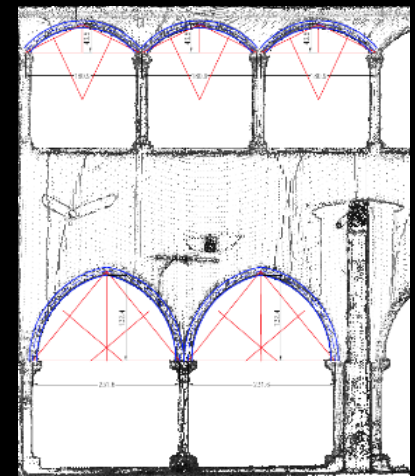
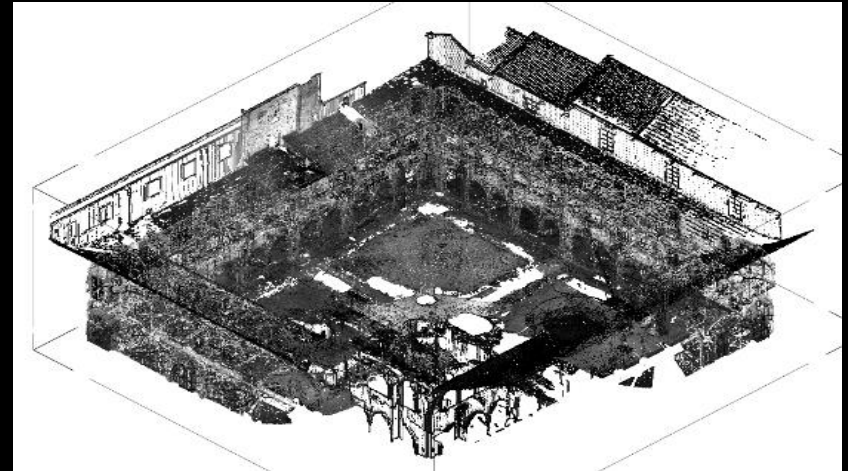
Zona de Intervenção

DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO



INVESTIGAÇÃO

- ✓ Investigação histórica e recolha de informação
- ✓ Inspeção visul *in situ*
- ✓ Ensaio de caracterização
- ✓ Levantamento 3D Laser



ANÁLISE

A) ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Anomalias não estruturais

- Depósitos sujidade, biológicos e manchas
- Esboroamento e Destacamento de revestimentos
- Fendilhação generalizada em abóbadas
- Elementos fissurados e com lacunas



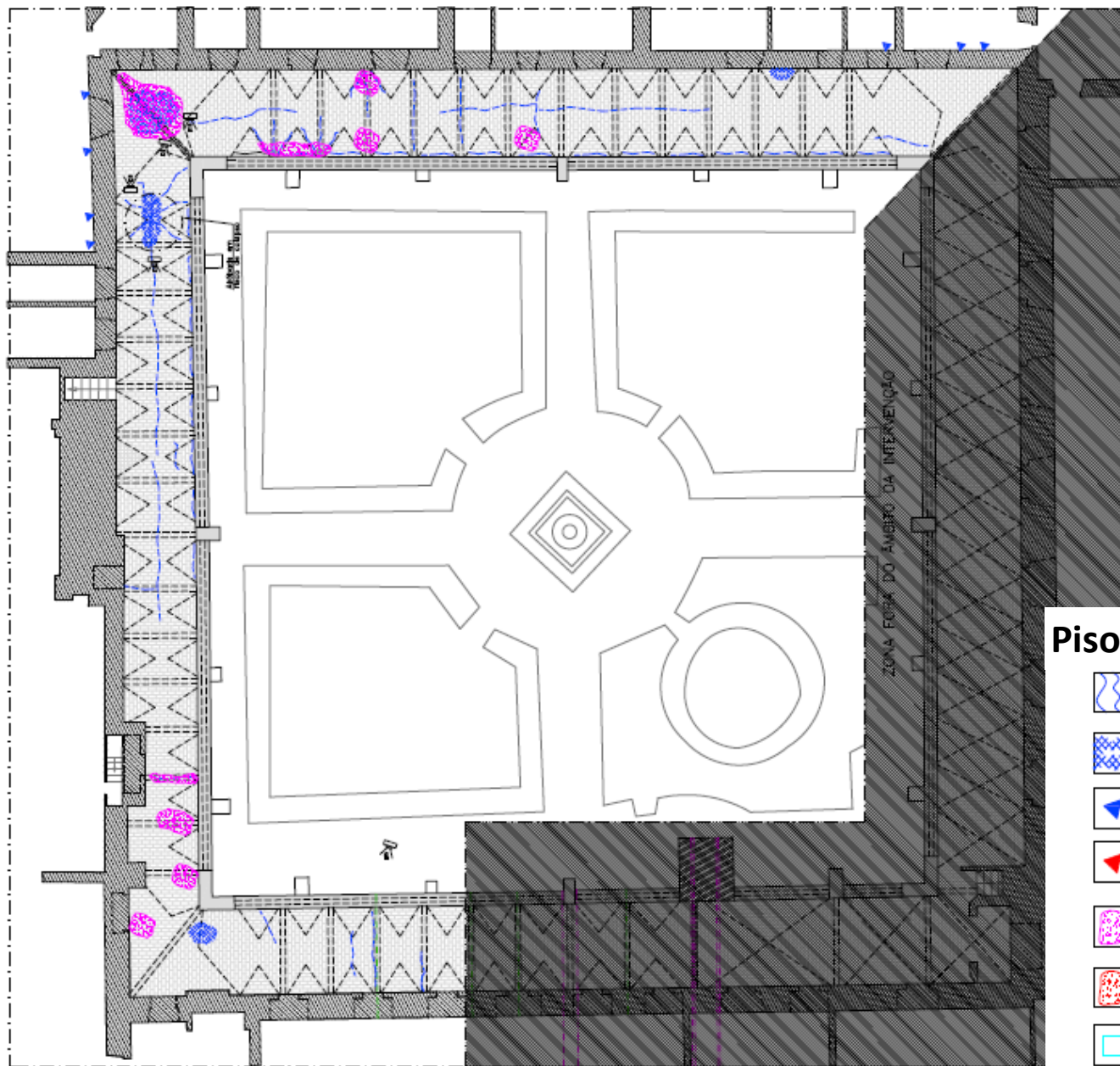
ANÁLISE

A) ESTADO DE CONSERVAÇÃO








Anomalias estruturais

- Deformação dos elementos de madeira da cobertura
- Deformação dos contrafortes e elementos verticais
- Fendilhação paralela à fachada no piso intermédio
- Rotura de abóbada de canto no piso superior
- Juntas abertas ou não funcionais nos contrafortes





Piso superior | Anomalias

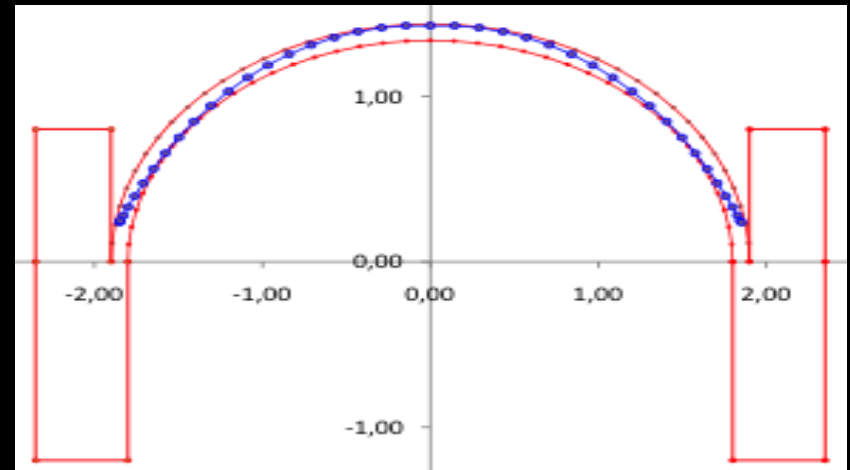
-  — Fenda
-  — Fendilhação Generalizada e Não Orientada
-  — Fenda em Paramento Vertical
-  — Junta Aberta em Contrafortes
-  — Degradação de Revestimentos
-  — Destaque de Revestimentos
-  — Elemento Fissurado ou com Lacuna de Material no Topo ou Base

ANÁLISE

B) SEGURANÇA

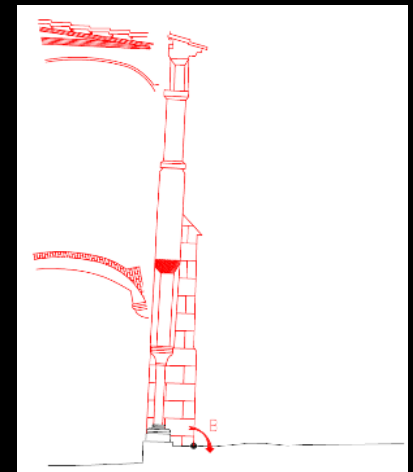
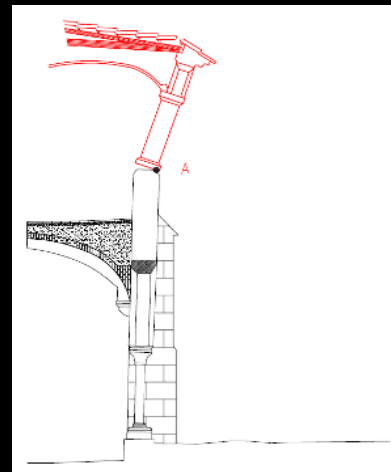
- ✓ Estudo da geometria das abóbadas e arcos

Linhas de pressão



- ✓ Estudo do equilíbrio dos elementos suporte

Mecanismos de colapso A e B



DIAGNÓSTICO

- **Agravamento do impulsos nas abóbadas**
- **Deficiente resposta do terreno**
- **Rotação dos apoios**
- **Deformação e fendilhação de abóbadas**
- **Rotura da abóbada do canto**



Prescreveu-se:

- ✓ **Estabilização e consolidação**
- ✓ **Resolução anomalias não estruturais**

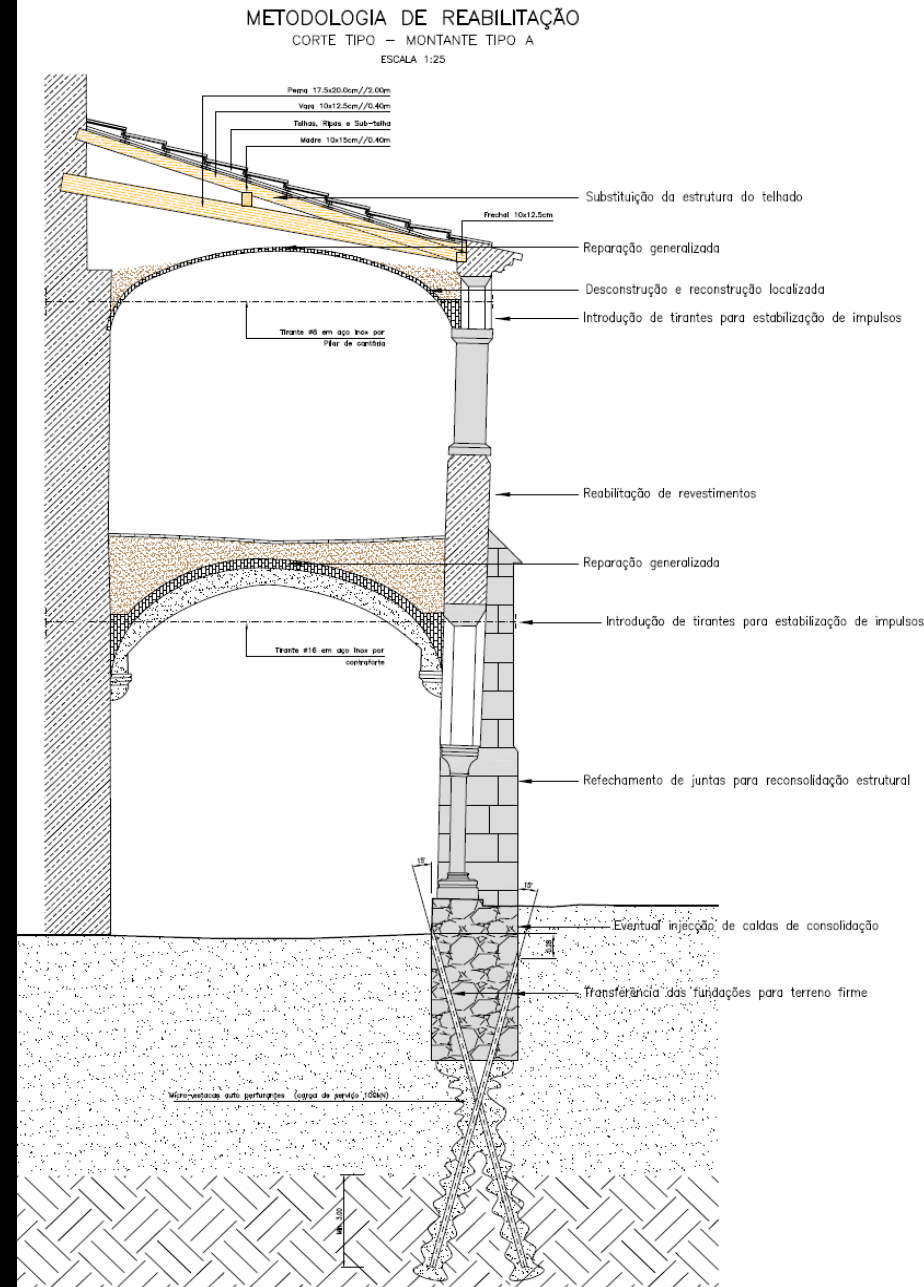
PROJECTO

1º Fase:

- **Reconstrução parcial da abóbada de canto do piso superior**
- **Execução de tirantes**
- **Execução de microestacas**
- **Substituição e reparação da cobertura em madeira**

2ª Fase:

- **Selagem e injeção de fendas**
- **Reabilitação de contrafortes**
- **Tratamento geral de revestimentos e pinturas**



EXECUÇÃO





CONCLUSÕES

- **As estruturas arqueadas são parte integrante e fundamental do património edificado.**



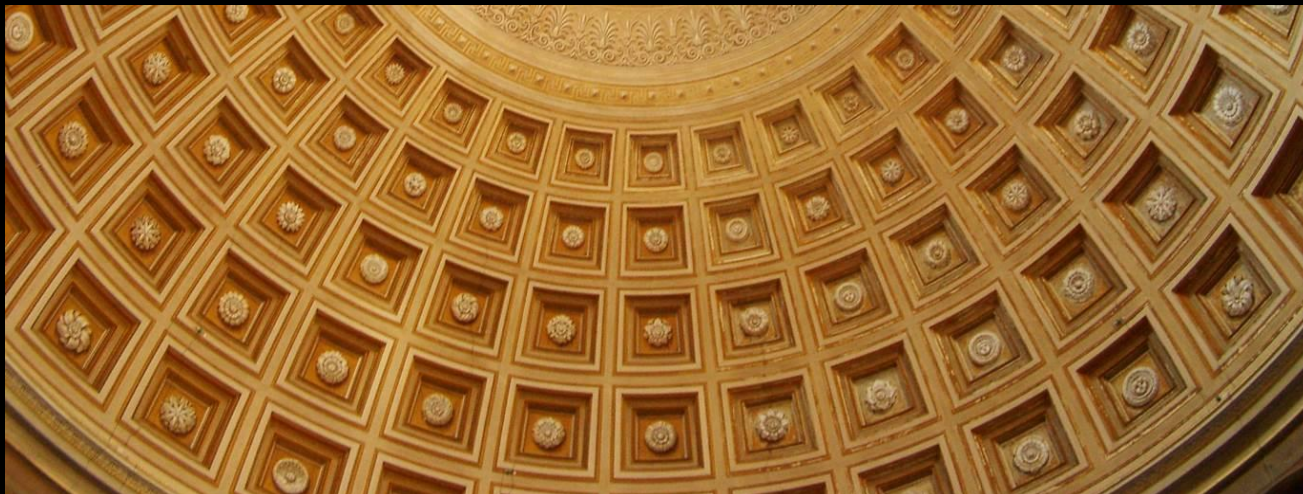
- **O seu valor não está apenas na aparência dos elementos, mas também e principalmente, nas suas características materiais e tecnológicas .**

- **A Conservação e Reabilitação obrigam ao estabelecimento de uma metodologia de intervenção integrada que envolve vários passos.**



- **A compreensão do significado histórico e cultural da construção e a avaliação da sua segurança e estado de conservação devem ser a base para as futuras medidas a adoptar.**

- **Deverão privilegiar-se as intervenções mínimas, pouco intrusivas, reversíveis e compatíveis.**



- **A aplicação coerente de uma metodologia adequada destaca que: para bem intervir importa bem conhecer.**

“Do erro de quem exerce a prática sem a ciência: Aqueles que se enamoram da praxis sem a ciência, são como navegantes que embarcam sem timão nem bússola; nunca saberão que rumo vão tomar. Toda a praxis deve estar fundamentada numa boa teoria.”

Leonardo da Vinci, *Trattato della pittura*, Milão, Vittoria, 1939 (p. 53) Tradução livre.

- SLIDE 2 | Ramalho (2008)
- SLIDE 4 | Lourenço, Paulo.B. (1999) | Choisy, Auguste (1899) | <http://en.wikipedia.org> | <http://lugaresinesqueciveis.wordpress.com/> | <http://en.wikipedia.org> | passadocurioso.blogspot.com | www.catholicvote.org | daytoninmanhattan.blogspot.com
- SLIDE 5 | Foto José Aguiar
- SLIDE 7 | truist.com
- SLIDE 14 | <http://www.thinkstockphotos.com.pt/>
- SLIDE 16 | Tostões, Ana (1995) [todos os seis esquemas à esquerda]
- SLIDE 18 | arqueolugares.blogspot.com | www.lavoutenubienne.org | Lau, Wanda W. (2006) | latunicadeneso.wordpress.com | Lourenço, Paulo.B. (1999) | Choisy, Auguste (1899) | Lau, Wanda W. (2006) | Argilés, Josep M. *et al* (1999a)
- SLIDE 19 | ilmondodiaura.altervista.org | umolharsobrearte.blogspot.com | Foto Andreia Tomás | Huerta, Santiago (2001) | Argilés, Josep M. *et al* (1999c) | Argilés, Josep M. *et al* (1999c) | Argilés, Josep M. *et al* (1999c)
- SLIDE 20 | Fitchen, John (1961) | Gago, António (2004) | http://en.wikipedia.org/wiki/Florence_Cathedral | Gago, António (2014) | Fitchen, John (1961) | Gago, António (2014) | Gago, António (2004) | Argilés, Josep M. *et al* (1999c)
- SLIDE 21 | <http://structurae.net/structures/orvieto-hangars> | www.architectour.net
- SLIDE 22 | <http://www.thinkstockphotos.com.pt/>
- SLIDE 24 | www.escolapsicologia.com
- SLIDE 25 | Huerta, Santiago (2001) | Huerta, Santiago (2001)
- SLIDE 26 | Heyman, Jacques (1988) | <http://www.cinex.com.br/blog/page/30/>
- SLIDE 27 | Gago, António (2004) | Lancaster, Lynne. C. (2005)
- SLIDE 28 | Gago, António (2004) | Huerta, Santiago (2001)
- SLIDE 29 | Fotos Moreno Navarro | Huerta, Santiago (2001)
- SLIDE 30 | Fotos Moreno Navarro
- SLIDE 31 | Huerta, Santiago (2001) | Gago, António (2004)
- SLIDE 32 | <http://en.wikipedia.org/> | Gago, António (2004) | Gago, António (2004)
- SLIDE 33 | Lourenço, Paulo.B. (1999) | Gago, António (2004)
- SLIDE 34 | <http://www.funrazyworld.net/new-way-to-treat-broken-bones/>
- SLIDE 36 | Franke, L. *et al* (1998) | Barros, Luís Aires (2001) | Foto Andreia Tomás | Franke, L. *et al* (1998)
- SLIDE 38 | Foto Andreia Tomás | Foto José Aguiar | Foto Andreia Tomás

- SLIDE 40 | <http://www.thinkstockphotos.com.pt/>
- SLIDE 42 | Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)
| Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006) | Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010)
- SLIDE 43 | Veiga, M. Rosário (2010)
| Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)
- SLIDE 44 | Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b) | Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b)
| LEB (2005) | Foto Andreia Tomás
- SLIDE 45 | Cóias, Vítor (2007) | Cóias, Vítor (2007)
| Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010) | Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006)
- SLIDE 46 | Foto Tiago Ilharco
- SLIDE 47 | <https://maps.google.com/> | <https://maps.google.com/>
- SLIDE 49 | LEB (2010a)
- SLIDE 50 | Fotos Andreia Tomás
- SLIDE 51 | LEB (2010a)
| Foto Andreia Tomás | LEB (2010a)
- SLIDE 52 | Fotos Andreia Tomás
- SLIDE 53 | Fotos Andreia Tomás
- SLIDE 54 | LEB (2010a)
- SLIDE 55 | LEB (2010a) [todos os esquemas]
- SLIDE 57 | LEB (2010a)
- SLIDE 58 | Fotos Andreia Tomás
- SLIDE 59 | financialvisionandinvestments.com
- SLIDE 60 | passadocurioso.blogspot.com
- SLIDE 61 | http://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_de_Alc%C3%A2ntara
- SLIDE 62 | Foto Andreia Tomás

- Aguiar, José (1999) – *Estudos Cromáticos nas Intervenções de Conservação em Centros Históricos: Bases para a sua aplicação à realidade portuguesa*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Conservação do Património Arquitectónico. Tese elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade de Évora, Évora.
- Aguiar, José (2010) – *Conceitos de Conservação e Restauo*, Aulas do Curso de Doutoramento em Arquitectura, Ramo Conservação e Reabilitação, FAUTL, Lisboa.
- Aguiar, José (2011) – *Cultura da Conservação e Projecto*, Aulas do Curso de Doutoramento em Arquitectura, Ramo Conservação e Reabilitação, FAUTL, Lisboa.
- Aguiar, José; Pinho, Ana; Paiva, J. Vasconcelos (2006) – *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, INH/LNEC, Lisboa.
- Appleton, João (2003) – *Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e Técnicas de intervenção*, Orion, 1ª ed., Amadora.
- Argilés, Josep M. et al (1999a) – *Teoria e Historia de la Rehabilitacion: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla; Léria, Madrid
- Argilés, Josep M. et al (1999b) – *Patologia y Tecnicas de Intervencion en Elementos Estructurales: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla; Léria, Madrid
- Argilés, Josep M. et al (1999c) – *Patologia y Tecnicas de Intervencion en Fachadas y Cubiertas: Tratado de Rehabilitacion*, Editorial Munilla; Léria, Madrid
- Barros, Luís Aires (2001) – *As Rochas dos Monumentos Portugueses, Tipologias e Patologias - Volume I*. Instituto Português do Património Arquitectónico, Lisboa.
- Branco, Fernando; Brito, Jorge (2010); *Reabilitação de edifícios de alvenaria resistente*. Folhas de Técnicas de Reabilitação de Construções, Mestrado em Construção e Reabilitação, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Brandi, Cesare (1963) – *Teoria do Restauo*, Piccola Biblioteca Einaudi, (2ª ed. de 1997), Turim.
- Choay, Françoise (1992) – *L'allegorie du Patrimoine*, Ed du Seuil, Paris.
- Choisy, Auguste (1899) – *Histoire de l'architecture*, G. Béranger, Paris.
- Córias, Vítor (2007) – *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*, Argumentum Geocorpa, Lisboa.
- Feilden, Bernard M. (2003) – *Conservation of Historic Buildings*, Elsevier, Oxford.
- Fitchen, John (1961) – *The Construction of Gothic Cathedrals: A Study of Medieval Vault*, University of Chicago Press, Chicago.
- Flores, Inês; Brito, Jorge (2004a); *Diagnóstico, Patologias e Reabilitação de Construção em Alvenaria de Pedra*. Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação do Curso de Mestrado em Ciências da Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Flores, Inês; Brito, Jorge (2004b); *Diagnóstico, Patologias e Reabilitação de Construção em Alvenaria de Tijolo*. Folhas de Inspeção, Patologia e Reabilitação do Curso de Mestrado em Ciências da Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

- Franke, L. *et al* (1998) – *Damage Atlas, Classification and analyses of damage patterns found in brick masonry*. European Commission, Protection and Conservation of the European Heritage, Research Report nº 8, Volume 2. Fraunhofer IRB Verlag ISBN 3-8167-4702-7, Estugarda.
- Gago, António (2004) – *Análise Estrutural de Arcos, Abóbadas e Cúpulas*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Henriques, Fernando (1991b) – *Caracterização de Argamassas para Edifícios Antigos*. Plano de Investigação, LNEC, Lisboa.
- Heyman, Jacques (1988) – *Structural analysis. A Historical Approach*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Heyman, Jacques (1995) – *The Stone Skeleton ; Structural Engineering of Masonry Architecture*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Huerta, Santiago (2001) – *Mechanics of Masonry Vaults: The equilibrium approach*, Historical Constructions, Congress, Guimarães.
- Jokilehto, J. Toronto (1986); *A History of Architectural Conservation, The contribution of English, French, German and Italian thought towards an international approach to the conservation of cultural property*, Ph.D. Dissertation, The University of York, York.
- Lancaster, Lynne. C. (2005) – *Concrete Vaulted Construction in Imperial Rome*, Cambridge University Press, New York.
- Lau, Wanda W. (2006) – *Equilibrium Analysis of Masonry Domes*, Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, Massachusetts.
- LEB (2005) – *Castelo de Paderne, Projecto de Reforço do Cunhal das Paredes O3-S1: Peças Desenhadas*, Cascais.
- LEB (2010a) – *Convento das Maltezas, Santa Casa da Misericórdia de Estremoz, Conservação e Consolidação Estrutural do Claustro: Projecto de Estabilidade – Cálculos e Memória Justificativa*, Cascais.
- Lourenço, Paulo B. (1999) – *Dimensionamento de Alvenarias estruturais. Relatório 99-DEC/E-7*, Universidade do Minho, Guimarães.
- Moreno-Navarro, A. (1999) – *La restauración objectiva (Método SCCM de restauración monumental)*. Memória SPAL 1993-1998. Diputació de Barcelona, Àrea de Cooperació Servei del Patrimoni Arquitectònic Local, Barcelona.
- Ramalho, M. de Magalhães (2008) – *A Arqueologia da Arquitectura - Método de Análise dos Edifícios Históricos. Da Investigação ao Projecto*, Aula Aberta ao Curso de Doutoramento em Arquitectura, Ramo Conservação e Reabilitação, FAUTL, Lisboa.
- Tostões, Ana (1995) – *Abobada Alentejana: Guia do Formando*, 1ª Edição, Ed IEFP e CENFIC, Lisboa.
- Veiga, M. Rosário (2003) – *As Argamassas na Conservação*. In Actas das 1ªs Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes, Aveiro, 26 de Novembro de 2003. Colecção Comunicações, COM 103, LNEC, Lisboa.
- Veiga, M. Rosário (2010) – *Alvenarias de edifícios históricos: intervenções sustentáveis com materiais compatíveis*. VI Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa.