



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Técnicas de Reabilitação, Conservação e Restauro em Paramentos de Alvenaria de Pedra – Aplicação ao Alçado Principal da Igreja do Carmo de Coimbra.

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Rita Mexia Leitão de Almeida e Sousa

Orientadores

Professor Doutor Fernando José Telmo Dias Pereira

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Outubro, 2014

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Fernando José Telmo Dias Pereira que me apresentou esta proposta de dissertação numa área dentro da Engenharia Civil que desde sempre chamou a minha atenção. Além disso queria agradecer-lhe todo o suporte que me deu, todos os conhecimentos que me transmitiu, todos documentos e fotografias que me cedeu para enriquecer a presente dissertação bem como toda a sua disponibilidade e prontidão em responder às minhas questões, o que contribuiu para que o meu trabalho fosse ainda mais motivador. Quero agradecer ainda a oportunidade que me proporcionou de estar pela primeira vez a acompanhar de perto e permanentemente uma obra de reabilitação.

A todos aqueles envolvidos na presente obra de reabilitação da Igreja do Carmo, pela disponibilidade de toda a equipa em me apoiar, pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência em responder às questões que ia colocando durante nas várias reuniões de obra em que estive presente, às quais me deixaram sempre assistir, e às fotografias cedidas dos trabalhos que não consegui acompanhar tão de perto.

À minha família, principalmente ao meu irmão Miguel pela disponibilidade que teve sempre em ajudar-me e à minha Avó Lúcia pela motivação que me transmitiu e acompanhamento. Ao Nuno pelos incentivos que me deu para focar nos meus objetivos e pela ajuda na clarificação de certas questões. Aos meus amigos por todo o apoio e motivação que me deram ao longo deste processo.

RESUMO

O trabalho consistiu em investigar formas e técnicas de intervenção em paramentos de alvenaria de pedra da região.

Para além dos aspetos envolvendo as diversas formas de intervenção, efetuou-se a investigação em áreas técnicas e científicas destinadas a aferir o seu comportamento geoquímico e processos de meteorização, alteração, erosão, colonização biológica, etc., a curto e longo prazo. Teve-se em conta o conhecimento existente de intervenções recentes levadas a cabo no Mosteiro de Santa Clara-a-Velha e na Sé Velha de Coimbra.

Participou-se na elaboração de prescrições para a intervenção em curso no alçado principal da Igreja do Carmo, na Rua da Sofia, em Coimbra, tendo-se igualmente acompanhado a obra sob a tutela da Direção Regional de Cultura do Centro.

Palavras-chave: Agentes de deterioração, mecanismos de deterioração, pedra calcária, reabilitação.

ABSTRACT

The work consisted in investigate ways and techniques of intervention in walls of masonry and stone of the region.

In the addition to the aspects involving various ways of intervention, investigation were performed about scientific and technical areas for measure their geochemical behavior and processes of weathering, alteration, erosion, biological colonization, etc. in a short and long term. It was taken into account the knowledge of recent operations undertaken at the Monastery of Santa Clara-a-Vela and the Sé Velha in Coimbra.

It was attended the development of requirements for the current intervention for the facade of the Igreja do Carmo, at Rua da Sofia, in Coimbra, under the tutelage of the Regional Direction of Culture Center.

Key-words: Deterioration agents, mechanisms of deterioration, limestone, rehabilitation.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE QUADROS	x
ABREVIATURAS	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento Geral	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da Dissertação	2
2. A CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO.....	4
2.1 A evolução da conservação do Património.....	4
2.2 Conservação do Património a nível internacional e nacional.....	7
3. ROCHA CALCÁRIA: FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	9
4. O PROCESSO PATOLÓGICO	14
4.1 O processo patológico.....	14
4.2 Agentes de degradação da pedra em monumentos históricos.....	15
4.2.1 Agentes mecânicos	17
4.2.2 Agentes eletromagnéticos.....	18
4.2.3 Agentes térmicos	19
4.2.4 Agentes biológicos.....	20
4.2.5 Agentes químicos.....	20
4.2.6 Agentes climatéricos.....	22
4.2.7 Agentes antropogénicos.....	23
5. OS MECANISMOS DE ALTERAÇÃO DA PEDRA	24
5.1 Deterioração por desintegração da pedra.....	24
5.1.1 Cristalização por sais	24

5.1.2	Ataque por gases ácidos do ar	26
5.1.3	Ação do gelo	28
5.2	Deterioração causada por manchas.....	28
5.3	Deterioração causada por organismos vivos.....	29
5.3.1	Algas	29
5.3.2	Fungos	30
5.3.3	Líquenes.....	30
5.3.4	Bactérias	31
5.3.5	Pássaros	31
5.3.6	Plantas.....	31
6.	PADRÕES DE ALTERAÇÃO DA PEDRA.....	33
6.1	Fissuração e deformação.....	33
6.2	Destacamento e empolamento	34
6.3	Características induzidas por pedra de material	35
6.4	Deposição superficial e alteração cromática.....	36
6.5	Colonização biológica	38
7.	CASO DE ESTUDO.....	39
7.1	Enquadramento	39
7.1.1	A Igreja do Carmo	39
7.1.2	A Rua da Sofia.....	41
7.1.3	O enquadramento climático da Igreja.....	41
7.2	Método de análise de patologias.....	42
7.3	Levantamento de Patologias	46
7.3.1	Zona superior	47
7.3.2	Zona intermédia.....	49
7.3.3	Zona inferior	50
7.4	Mapa de patologias	52
7.5	Tratamentos e trabalhos de reabilitação da fachada	53
7.5.1	Ação de limpeza	54
7.5.2	Remoção de algas, líquenes e plantas superiores	66
7.5.3	Tratamentos e dispositivos contra ação de aves.....	74

7.5.4	Tratamentos de consolidação.....	75
7.5.5	Refechamento de juntas de argamassa.....	81
7.5.6	Aplicação de produtos de proteção.....	97
8.	CONCLUSÕES	104
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
10.	ANEXOS	119
	Anexo A.....	120
	Anexo B.....	127
	Anexo C.....	131
	Anexo D.....	139
	Anexo E.....	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1: Micro clima e variações significativas de intemperismo (May,E. e Jones, M.,2006).	22
Figura 7.1: Representação das diferentes zonas da fachada da Igreja do Carmo(A:zona superior; B:zona intermédia; C:zona inferior).....	40
Figura 7.2 Níveis de classificação das formas de deterioração.	44
Figura 7.3: Cálculo dos índices de deterioração (Fitzner, B. et al, 2002).	46
Figura 7.4: Zona superior da Igreja do Carmo.	47
Figura 7.5: Patologias presentes na torre sineira mais a Este.....	48
Figura 7.6: Pormenor de patologias apresentadas na zona superior da Igreja.....	49
Figura 7.7: Pormenor de patologias apresentadas na zona intermédia da Igreja.....	50
Figura 7.8: Pormenor de patologias apresentadas na zona inferior da Igreja.....	51
Figura 7.9: Lintel fraturado na zona inferior da Igreja.	52
Figura 7.10: Ferramentas de limpeza manual.....	57
Figura 7.11: Ação de compressas numa pedra (Aguilar, J. et al, 2001).	60
Figura 7.12: Crostas negras presentes na Igreja.	61
Figura 7.13: Trabalho de limpeza mecânica a baixa pressão na Igreja do Carmo.	61
Figura 7.14: Pormenor da ação de limpeza efetuada na Igreja.....	62
Figura 7.15: Limpeza do extradorso da cúpula da torre sineira da Igreja.	62
Figura 7.16: Ação de limpeza da zona superior do nicho da Igreja, antes e depois.....	63
Figura 7.17: Resultado da ação de limpeza mecânica e permanência de crostas.....	63
Figura 7.18: Ponteira utilizada na limpeza por micro abrasão.	64
Figura 7.19: Ensaios de limpeza por micro abrasão com areia de sílica.	65
Figura 7.20: Limpeza por micro abrasão apenas do lado direito do nicho.....	66
Figura 7.21: Presença de líquenes na zona superior da torre sineira da Igreja.....	67
Figura 7.22: Preventol RI80.	68
Figura 7.23: Aplicação de biocida na fachada.....	69
Figura 7.24: Desenvolvimento de plantas na zona superior da torre sineira.....	70
Figura 7.25: Plantas existentes na torre sineira do lado Oeste da Igreja.	72
Figura 7.26: Tratamentos de plantas com herbicida.....	72
Figura 7.27: Introdução de seringas com herbicida no interior das raízes.....	73
Figura 7.28: Permanência de aves na Igreja.	74
Figura 7.29: Delaminação localizada na fachada com necessidade de consolidação.	80
Figura 7.30: Execução de consolidação por colagem.....	81
Figura 7.31: Resultado final da colagem com resina epóxi.....	81
Figura 7.32: Pormenor de refechamento de argamassa adequado (retirado e adaptado de 5cidade.wordpress.com@2014b).	86
Figura 7.33: Ferramentas de refechamento de juntas.....	88

Figura 7.34: Ferramentas de refechamento e limpeza de juntas.....	88
Figura 7.35: Procedimento adequado de refechamento de juntas (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).	89
Figura 7.36: Procedimento adequado de refechamento de juntas (retirado e adaptado de	89
Figura 7.37: Procedimento adequado de refechamento de juntas (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).	89
Figura 7.38: Procedimento adequado de refechamento de juntas (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).	90
Figura 7.39: Junta aberta com grande expressão localizada no frontão da Igreja.	90
Figura 7.40: Representação do possível movimento da fachada da Igreja e abertura de fendas (retirado e adaptado de Gonçalves, A. J. C., 2010)	91
Figura 7.41: Estrago causado pela entrada de água nas novas juntas de argamassa.	91
Figura 7.42: Proteção provisória de juntas abertas.....	92
Figura 7.43: Ensaio teste nº1	95
Figura 7.44: Ensaio teste nº2.	95
Figura 7.45: Ensaio teste nº3.....	95
Figura 7.46: Ensaio teste nº4.	96
Figura 7.47: Pormenor de refechamento estrutural (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).....	97
Figura A-1: Fachada da Igreja do Carmo antes de intervenção.....	121
Figura A-2: Líquenes.....	121
Figura A-3: Utilização de argamassas cimentícias.....	122
Figura A-4: Fissura.....	122
Figura A-5: Pátina e rutura pontual.....	123
Figura A-6: Crostas negras e pátina.....	123
Figura A-7: Colonização biológica.....	124
Figura A-8: Delaminação.....	124
Figura A-9: Crosta negra e pátina.....	125
Figura A-10: Colonização biológica e junta aberta.....	125
Figura A-11: Líquenes e perda de material.....	126
Figura A.-12: Líquenes e plantas superiores.....	126
Figura B-1: Crosta negra.....	128
Figura B-2: Destacamento.....	128
Figura B-3: Líquenes.....	129
Figura B-4: Desintegração granular/ pulverização.....	129
Figura B-5: Fratura.....	130
Figura B-6: Pitting/ picamento.....	130
Figura C-1: Aplicação do biocida (fornecida por equipa de restauro).....	132

Figura C-2: Aplicação do herbicida (fornecida por equipa de restauro).....	132
Figura C-3: Limpeza após aplicação de biocida (fornecida por equipa de restauro).....	133
Figura C-4: Proteção de plantas tratadas com herbicida.....	133
Figura C-5: Perfuração das raízes de plantas superiores (fornecida por equipa de restauro).	134
Figura C-6: Aplicação de herbicida através de injeção de seringas (fornecida por equipa de restauro).....	134
Figura C-7: Limpeza de sujidade depositada nas superfícies horizontais (fornecida por equipa de restauro).....	135
Figura C-8: Limpeza da fachada (fornecida por equipa de restauro).....	135
Figura C-9: Limpeza manual (fornecida por equipa de restauro).....	136
Figura C-10: Limpeza por micro-abrasão (fornecida por equipa de restauro).....	136
Figura C-11: Limpeza do suporte para a consolidação(fornecida por equipa de restauro)	137
Figura C-12: Resultado final da consolidação (fornecida por equipa de restauro).....	137
Figura C-13: Refechamento de juntas com argamassa.....	138
Figura C-14: Humedecimento de juntas após colocação de argamassa.....	138

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 5.1: Mecanismos de deterioração das alvenarias e anomalias a eles associadas (Cóias, V., 2009).....	32
Quadro 7.1: Categorias de deterioração.	45
Quadro 7.2: Vantagens e desvantagens de consolidantes orgânicos. (retirado e adaptado de Tavares et al,2002).	77
Quadro 7.3: Vantagens e desvantagens de consolidantes inorgânicos. (retirado e adaptado de Tavares et al,2002).	78
Quadro 7.4: Requisitos de comportamento e de compatibilidade de argamassas.....	83
Quadro 7.5: Requisitos mínimos de argamassas para edifícios antigos -características mecânicas(retirado e adaptado de Cóias, V. 2007).	84
Quadro 7.6: Requisitos mínimos de argamassas para edifícios antigos- comportamento às forças desenvolvidas por retração aos 90 dias (retirado e adaptado de Cóias, V., 2007).....	84
Quadro 7.7: Requisitos mínimos para argamassas de edifícios antigos – comportamento à água (retirado e adaptado de Cóias, V., 2007).....	85
Quadro D.1: Métodos de medição de características de produtos hidrofugantes (retirado e adaptado de Tabasso, M.L e Simon, S., 2006).	140

ABREVIATURAS

COAM - Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid

DGPC - Direção Geral do Património Cultural

DRCLVT - Direção Regional de Cultura de Lisboa e Vale do Tejo

GAAC - Grupo de Arqueologia e Arte do Centro

ICOM - International Council of Museums

ICOMOS - International Council on Monuments and Sites

IGESPAR - Instituto de Gestão de Património Arquitetónico e Arqueológico

IMC - Instituto dos Museus e Conservação

IST - Instituto Superior Técnico

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

RSC - Royal Society of Chemistry

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento Geral

Uma das maiores riquezas de um país encontra-se no seu património histórico e cultural. Através da observação do património histórico edificado pode-se ter um maior conhecimento sobre os costumes, as ideologias, as crenças e rituais dos nossos antecessores e quais as suas necessidades ao longo do tempo. Para tal podem ser observadas e estudadas as intervenções e modificações que foram feitas no património, ou por observações locais ou por registos escritos, gravuras/pinturas e fotografias.

Ao mesmo tempo que o fator tempo promove o património edificado a uma importância elevada, também o prejudica devido à ação dos vários agentes que o afetam e degradam, sendo esta uma questão primordial a abordar. A nível nacional e internacional, é crescente a importância dada à conservação do património histórico edificado e à sua proteção contra a ação do tempo e do próprio Homem.

Um bem imóvel do património histórico edificado, uma vez considerado como sendo de interesse nacional pode vir a ser classificado como “monumento nacional” (DL nº107/2001). A cidade de Coimbra, uma das mais antigas do nosso país, é um dos palcos de grande destaque no que se refere ao património nacional. O de maior prestígio desta cidade é a Universidade de Coimbra, conhecida mundialmente e notável pela sua História que se esconde entre os vários polos históricos da cidade. A rua da Sofia, umas das principais ruas da baixa conimbricense, integra igualmente a área que foi considerada em 2013 como Património Mundial, pela UNESCO, elevando-se assim a um patamar de importância ímpar. Nesta rua erguem-se sete antigos colégios onde, a cada um deles, se encontra associado uma igreja. Entre elas encontra-se a Igreja do Carmo, integrada no Colégio do mesmo nome e classificada como Monumento Nacional (DGPC @ 2014 a; UNESCO @ 2014a) e que será objeto do nosso estudo.

Grande parte do património acima referido necessita de intervenções de reabilitação, algumas bastante urgentes. No caso concreto da Igreja do Carmo entre as várias necessidades de intervenção que esta Igreja apresenta e no âmbito da especialização na área de Construções, pareceu-nos de maior interesse direcionar o estudo para a avaliação de técnicas de reabilitação e conservação do seu alçado principal. A participação ativa no caso de estudo desta tese foi possível graças ao protocolo, assinado em 2013, entre a Universidade de Coimbra, a Direção Regional de Cultura do Centro e Ordem Terceira.

1.2 Objetivos

Os principais objetivos da presente tese são:

- Fazer uma revisão do estado da arte das técnicas de reabilitação, conservação e restauro em paramentos de alvenaria de pedra.
- Identificar e estudar as principais patologias do alçado principal da igreja do Carmo em Coimbra.
- Formular eventuais hipóteses de tratamento das patologias observadas.

1.3 Estrutura da Dissertação

Antes de qualquer abordagem sobre técnicas de reabilitação, devemos aprofundar quais as questões levantadas sobre a reabilitação, qual será o melhor modo de intervir e toda a filosofia ou normas de conduta que devem guiar a linha de ação da reabilitação. Ao longo do tempo, vários foram os pensamentos e regras que dirigiram o processo de reabilitação e restauro, devendo assim analisá-los de modo a avaliar, dentro do caso de estudo analisado, qual a melhor perspetiva a adotar. Obviamente que não existe uma forma universal de abordar a questão, porque o ato de intervenção depende também da abordagem de quem analisa o problema. Este está sujeito não só à sua própria subjetividade mas também a fatores exteriores, que o podem levar a optar por uma certa técnica ou conduta em detrimento de outra. Uma vez que o património nacional também é um bem universal, deverá ser preservado para que perdure no tempo, sendo necessário que se tenham em conta as perspetivas emanadas dos órgãos máximos para a preservação da herança patrimonial, quer a nível nacional quer mundial. Os aspetos relativos à conduta e princípios necessários para a perpetuação e conservação do património no tempo são analisados e debatidos no capítulo 2 desta dissertação.

Por outro lado e, como já referimos anteriormente, tem-se como objeto de estudo a fachada da Igreja do Carmo. Sendo esta uma fachada de alvenaria de pedra, mais concretamente de pedra calcária, faz todo o sentido uma análise mais profunda sobre as características deste tipo de pedra. Estas referem-se às propriedades físicas e químicas que estão na base dos fenómenos de alteração e das patologias que a pedra pode apresentar quando exposta aos agentes agressores. Estes assuntos serão tratados no capítulo 3.

Verificámos que o processo patológico consiste numa interação entre o material e os agentes de deterioração ao longo do tempo. Estes agentes têm várias origens e cada um deles altera a pedra calcária à sua maneira. Assim, antes da análise de patologias, é importante conhecer bem os agentes que podem deteriorar a pedra e, entre os estudados, saber aqueles que têm um

peso maior na alteração da pedra calcária. Estas matérias que serão analisada e debatidas no capítulo 4.

Posteriormente ao conhecimento dos agentes há que perceber os mecanismos físicos, químicos ou biológicos que se encontram na origem das patologias observáveis e a caracterização de cada patologia, sendo estas questões aprofundadas no capítulo 5.

Antes de se passar ao caso de estudo da presente dissertação, analisamos as patologias mais comuns que as pedras dos monumentos apresentam, como se distinguem entre elas e como se formaram. Este estudo desenvolve-se no capítulo 6. Revelando a necessidade de um estudo prévio que estará subjacente a qualquer intervenção de reabilitação e que se torna de extrema importância nesta abordagem.

No capítulo 7, sendo a Igreja do Carmo o caso de estudo da presente dissertação começa-se por fazer um enquadramento da mesma e uma referência breve à sua história, à rua onde se localiza e ao clima ao qual está exposta. Abordamos os métodos de análise de patologias sendo posteriormente caracterizado o caso concreto em estudo. Nesta caracterização é feito o levantamento das patologias da Igreja e por fim são descritas as técnicas de intervenção propostas e quais os cuidados a ter durante a sua execução.

Por fim, no capítulo 9 enunciam-se as conclusões da presente dissertação de mestrado.

2. A CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO

2.1 A evolução da conservação do Património

O património histórico edificado de um povo ou de uma cultura espelha os valores estéticos, religiosos ou outros relativos à sua identidade sendo uma fonte de conhecimento e testemunho para as gerações mais novas. No entanto nem sempre o Homem teve a consciência deste facto e por isso, ao longo dos tempos perderam-se inúmeros bens culturais edificados que foram importantes para História da civilização humana.

Atualmente, na sociedade portuguesa, assim como outros países na Europa e um pouco por todo o mundo tem-se dado uma maior atenção à problemática que advém da conservação do património histórico. Torna-se assim imperativo o estabelecimento de princípios e metodologias de abordagem que funcionem como uma base transversal e que posteriormente se adaptem aos valores, à cultura e ao país onde se situa o edificado que será alvo de conservação. Os monumentos que se considerem mais importantes pelo seu carácter exuberante, único ou de maior valor, devem ser olhados mais cuidadosamente sobre o ponto de vista da sua conservação e do seu restauro (Henriques, F., 1991).

A primeira consciencialização desta necessidade de preservação remonta à época do Renascimento em Itália, tomando-se uma atitude mais ativa em contraponto à tomada até então e que teve influências em países como Inglaterra ou França. Neste último esta questão atingiu o seu auge na época da Revolução Francesa em 1789, dando origem à criação de um organismo público dedicado à conservação do património. Assistiu-se a uma fase de um denominado de restauro romântico, onde foi dada importância a determinados valores estéticos, originando reconstruções totais de edifícios históricos na procura da autenticidade estética do edificado (Henriques, F., 1991; Sousa, V., 2003).

Em oposição a esta corrente, surgiu em Inglaterra, em meados do século XIX, um movimento fundado por John Ruskin, onde se defendia que qualquer intervenção não iria trazer de volta a autenticidade da obra de arte mas só recuperaria um valor artificial, defendendo assim o estado de ruína de uma obra de arte (Henriques, F., 1991). Em 1833 surgiu em Itália, através de Camillo Boito, a Carta Italiana sobre Conservação que pretendia introduzir novos conceitos, que até hoje continuam a ser válidos (Henriques, F., 1991) e que analisaremos mais adiante. Nos anos 30-40 do século XX, o italiano Cesare Brandi desenvolveu a teoria do restauro crítico. Esta defendia uma abordagem baseada simultaneamente nos aspetos

históricos e estéticos do objeto, pretendendo restabelecer a unidade das obras de arte sem que fossem cometidas quaisquer falsificações artísticas ou históricas (Sousa, V., 2003).

O final da 2ª Guerra Mundial avivou de novo a necessidade e a importância de preservar o património edificado. A destruição parcial ou total de edifícios decorrente deste episódio na História levou a um amplo debate sobre os novos e mais complexos problemas, e sobre qual a melhor maneira de os abordar. Esta abordagem passou desde a reconstrução fiel dos edifícios destruídos até à simples conservação das ruínas no estado em que foram deixadas. As várias opiniões em confronto deram origem ao aparecimento de várias metodologias de intervenção próprias, que ainda hoje prevalecem nas intervenções de conservação de vários países. Como resultado da publicação da ata de conferência do IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna, promovida pelo ICOM, criou-se a Carta de Atenas, redigida por Le Corbusier em 1931. Este documento de carácter internacional pretendia orientar as nações para a preservação do património edificado. A Carta de Veneza, elaborada em 1964 por ocasião do 2º Congresso Internacional de Arquitetos e de Técnicos de Monumentos realizado em Veneza teve por base a Carta de Atenas e ainda hoje constitui um marco de referência neste campo. Neste congresso foram seguidas as seguintes diretrizes: a reformulação da carta internacional de Atenas e a criação do ICOMOS, segundo a proposta da UNESCO (Henriques, F., 1991; ICOMOS@ 2014; Sousa, V., 2003).

Hoje em dia, deve-se entender o restauro como o conjunto de medidas e ações que visam restabelecer a unidade do edifício segundo a sua conceção e legitimidade originais, referente a uma dada época ou épocas históricas (Henriques, F., 1991). Podemos resumir, através da análise da Carta de Veneza, os seguintes aspetos fundamentais que devem guiar a intervenção no património histórico edificado (Henriques, F., 1991):

- Responsabilidade das gerações atuais na salvaguarda dos edifícios históricos para as gerações futuras;
- Alargamento do conceito de monumentos histórico ao local onde este se encontra implantado (arts. 1 e 6);
- Reconhecimento da importância não só das grandes criações arquitetónicas como daquelas que tenham adquirido um significado cultural relevante (art.1);
- Necessidade de movimentar as contribuições de todas as ciências relevantes no processo de conservação do património (art. 2);
- Garantia da manutenção do edificado histórico (art. 4);
- Reconhecimento da importância da atribuição de fins sociais úteis na conservação de edifícios históricos (art.5);
- Interdição, salvo raras exceções, da remoção ou substituição do todo ou de parte do edifício para outro local (arts.7 e 8);

- Reconhecimento do carácter altamente especializado das intervenções de conservação e do respeito pela autenticidade do edifício e dos seus materiais (arts. 9, 12 e 13);
- Sempre que possível primar pela utilização de técnicas tradicionais nas ações de conservação (art. 10);
- Reconhecimento da importância das contribuições das várias épocas existentes nos edifícios (art. 11);
- Necessidade de existência de documentação e registos sistemáticos em todos os trabalhos de conservação (art. 16).

No que respeita a figuras de destaque na temática do restauro, Cesare Brandi foi um dos mais notáveis pensadores europeus, destacando-se a sua obra denominada “Teoria do Restauro”. Segundo Brandi o restauro tem como objetivo a reposição da eficiência de um produto proveniente da atividade humana. Este produto pode dividir-se em artefactos industriais e obras de arte. No primeiro, a atividade de restauro resume-se a uma reparação ou a uma restituição, e no segundo envolve uma grande diversidade de operações necessárias para o restauro da obra de arte. Assim podemos definir o restauro como “*o momento metodológico do reconhecimento da obra de arte, na sua consistência física e na sua dupla polaridade estética e histórica, com vista à sua transmissão para o futuro*”. Na perspectiva de Brandi, o restauro deve sempre reconduzir o estado da obra de arte a um estado mais próximo possível do original (Brandi, C, 2006).

Brandi, juntamente com Baldini, Boito e Ruskin, que defendem uma abordagem clássica, partilham um mesmo princípio: a busca pela Verdade. Apesar de assentarem neste mesmo objetivo, eles diferem entre si no modo como definem a Verdade do objeto e a importância dada a cada um deles. Assim, para os pensadores clássicos, o processo de restauro assenta as suas fundações na busca e no conceito da Verdade, sendo da obrigação do restaurador a procura pela autenticidade do objeto (Salvador, M., 2002). Em oposição a uma visão mais clássica do restauro, desenvolve-se uma abordagem mais contemporânea desta prática. Surgem pensadores, como Lowenthal, que defende a autenticidade como um valor irrecuperável. Dentro da mesma abordagem contemporânea, Cosgrove defende que a própria realidade é algo que é criado e construído, e não algo que possa ser revelado ou recuperado (Salvador, M., 2002).

A reversibilidade é um conceito base da teoria clássica, onde cada alteração efetuada na obra de arte não deve ter de carácter permanente. Assim a ação de restauro não deve comprometer a originalidade da obra, permitindo sempre voltar ao seu estado inicial. No entanto a teoria contemporânea tem uma visão menos utópica, destacando-se a posição de Appelbaum, que atribui um significado não tão rigoroso ao conceito de reversibilidade. Devem-se escolher tratamentos que beneficiem o objeto de restauro, sendo sempre possível o restabelecimento da

sua condição inicial e evitar materiais que ao serem removidos possam danificar o objeto. (Salvador, M., 2002). Nos tempos mais recentes o conceito de reversibilidade foi substituído pelos conceitos de compatibilidade e de retratabilidade. O conceito de compatibilidade implica que os tratamentos aplicados no material não levem ao aparecimento de efeitos indesejados. O conceito de retratabilidade implica que o tratamento presente aplicado não impeça ou comprometa tratamentos futuros (Gómez-Heras et al, 2003).

Assim, as abordagens contemporâneas do restauro viram-se para o lado mais funcional do restauro, que deve ir ao encontro das necessidades dos utilizadores da obra de arte e não do pragmatismo existente na visão clássica, onde o processo de reabilitação é visto como um a recuperação do estado original da obra de arte. As necessidades da comunidade devem ser integradas no processo de restauro, procurando um equilíbrio entre a funcionalidade e o valor (Salvador, M., 2002). Assim sendo as decisões tomadas ao longo de um processo de restauro devem, segundo as teorias mais contemporâneas, ser formuladas pelos técnicos, pelos especialistas e pelas partes afetadas, onde a História e o valor de autenticidade passam a dividir a sua relevância com outros valores como a funcionalidade e eficiência.

2.2 Conservação do Património a nível internacional e nacional

A nível mundial o Património mundial encontra-se sobre a tutela da UNESCO. Esta é uma organização especializada das Nações Unidas, criada em 1945, sendo conhecida como a sua agência “intelectual”. A UNESCO surge num contexto de pós Guerra, onde o Mundo presenciou duas Guerras Mundiais no espaço de uma geração. Esta organização tem assim, como um dos objetivos a proteção do património cultural e natural a nível mundial. A UNESCO pretende criar uma interligação cultural entre as nações para a preservação do património universal, uma vez que este se encontra cada vez mais ameaçado, devido à deterioração ao longo do tempo, a causas sociais e económicas e à negligência de certas entidades. Na conferência Geral da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura, realizada em Paris em 1972 foram definidas como parte integrante do património cultural: os “monumentos”, os “conjuntos”, e os “locais” (UNESCO @ 2014 b; UNESCO @ 2014 c). Os monumentos ficaram definidos como “*obras arquitetónicas, de escultura, ou de pintura monumentais, elementos de estruturas de carácter arqueológico, inscrições, grutas e grupos de elementos com valor excepcional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência*” (UNESCO @ 2014 d). Uma das organizações não-governamentais que fornece suporte ao trabalho da UNESCO para a aplicação do seu programa e a realização dos seus projetos é o ICOMOS.

A nível nacional a tutela do património móvel e imóvel está a cargo da DGPC, que resultou da fusão e extinção do IGESPAR, do IMC e da DRCLVT, e a sua organização está

fundamentada no Decreto – Lei Nº115/2012. Assim, a DGPC é um serviço com autonomia administrativa que tem por missão “ *assegurar a gestão, salvaguarda, valorização, conservação e restauro dos bens que integram o património cultural imóvel, móvel e imaterial do País, bem como desenvolver e executar a política museológica nacional*” (DGPC @ 2014 b). O património ao abrigo da tutela da DGPC encontra-se mencionado em anexo II do Decreto-lei Nº115/2012. A tutela de todo o património não mencionado no referido anexo fica a cargo das respetivas Direções Regionais da Cultura. No presente caso, a Igreja do Carmo encontra-se tutelada pela Direção Regional da Cultura do Centro (DGPC @ 2014 c; DGPC @ 2014 d).

3. ROCHA CALCÁRIA: FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

A rocha calcária é um tipo de rocha abundante em Portugal e que assim pode ser encontrada frequentemente no seu diverso património. Um exemplo da sua longevidade histórica é a presença nas ruínas de Conímbriga, cidade romana erguida perto de Coimbra e fundada no século II A.C, evidente nos mosaicos calcários aí existentes. Ao longo da história a pedra calcária foi usada com bastante frequência em monumentos, e nos dias de hoje continua a ser uma matéria-prima preferencial de muitos arquitetos, engenheiros, escultores ou decoradores. A nível internacional esta é uma rocha com grande procura, não só pela sua fácil exploração mas também pela sua elevada homogeneidade textural e cromática, aliada à boa qualidade e preços satisfatórios. Pode ser encontrada um pouco por todo o país, com maior incidência nos distritos de Lisboa, Coimbra, Aveiro, Leiria, Santarém, Setúbal e Faro (Moura, A et al, 2007). Em termos litológicos a rocha calcária é uma rocha sedimentar, de precipitação química e/ou bioquímica e carbonatada, constituída principalmente por minerais de carbonato de cálcio sob a forma de calcite (CaCO_3) (Barros, L., 2001).

As rochas sedimentares têm a sua origem em sedimentos provenientes de rochas pré-existentes que sofreram processo de intemperismo, erosão, transporte, deposição e por fim sofrem ações diagenéticas. O processo de intemperismo diz respeito a todos os processos que envolvem a alteração de rochas pré-existentes, que irá dar origem a sedimentos. Estas alterações podem ser químicas ou físicas. As alterações químicas envolvem a presença de água que por processos químicos, como a dissolução ou precipitação dos constituintes da rocha, altera a composição química da rocha inicial. Os processos químicos mais importantes são os fenómenos de dissolução, hidratação, hidrólise, oxidação e redução. As alterações físicas englobam qualquer alteração física da rocha, como é o caso da fragmentação, que origina partículas de tamanho inferior ao original e que juntamente com processos de formação de gelo, hidratação, e insolação, formam o grupo das alterações físicas mais importantes. A erosão ocorre no local de origem da rocha e diz respeito aos processos de desgaste da rocha e seu dismantelamento. O transporte consiste no carreamento dos materiais resultantes da erosão desde o local de origem até à bacia de sedimentação e processa-se por ação do vento, água e gravidade, que vão alterar o tamanho dos sedimentos. Este transporte pode ser realizado de três formas: em grãos suficientemente grandes para que a deposição se faça de acordo com as leis da gravidade; em partículas coloidais capazes de formarem suspensões estáveis e em solução. Ocorre o arredondamento das arestas dos grãos, calibragem dos materiais transportados, alteração dos minerais mais suscetíveis, sedimentação e diagénese. A deposição dos sedimentos é promovida pelo vento, correntes de água e

gravidade, levando à formação de estratos que dão origem a estruturas sedimentares. Os sedimentos depois do processo de deposição até à formação da rocha sedimentar sofrem ações diagenéticas que alteram as suas características químicas, físicas e biológicas originais. Este processo de diagénese engloba etapas como a compactação de partículas, deformação, dissolução, cimentação, autogénese, recristalização, hidratação, ação bacteriana e cimentação (Barros, L., 2001) (Marques, M. et al, 2004) (MIT @ 2014) (Pinto, A. et al, 2006). As rochas sedimentares são constituídas pela mistura de três tipos de componentes: constituintes detríticos ou terrígenos, constituintes aloquímicos e constituintes ortoquímicos.

Os constituintes detríticos englobam principalmente fragmentos de rochas, rolados ou não, e/ou fragmentos de minerais transportados pelas águas para as bacias de sedimentação, que resistiram ao processo de transporte e alteração. Exemplos destes tipos de constituintes são o quartzo, feldspato e argilas (Pinto, A. et al, 2006).

Os constituintes aloquímicos englobam componentes carbonatados, provenientes da própria bacia de deposição. Estes podem ser fragmentos de fósseis, restos de conchas, oólitos (grãos de forma ovoide, constituídos por quartzo, feldspato e bioclastos, formados pela precipitação da calcite, em zonas de grande agitação das águas) e pellets (partículas de forma elipsoidal, constituídos por matéria orgânica, com diâmetro entre 0,1 e 0,5mm e sem estrutura interna provenientes de dejetos de organismos marinho), que têm origem na bacia de sedimentação (Pinto, A. et al, 2006).

Os constituintes ortoquímicos englobam materiais na sua maioria carbonatados, formados por precipitação química na bacia de sedimentação, sem terem sofrido transporte. Podem-se denominar de micrite ou esparite, conforme são formados por carbonatos microcristalinos ou por carbonatos com estrutura cristalina (Pinto, A. et al, 2006).

Dependendo da predominância destes tipos de constituintes, pode-se classificar as rochas sedimentares em três tipos: rochas terrígenas ou detríticas, rochas aloquímicas e rochas ortoquímicas. Tendo em conta que, quer os constituintes aloquímicos quer os constituintes ortoquímicos são principalmente constituintes químicos, podemos reagrupar em dois grupos principais: o grupo das rochas terrígenas ou detríticas e o grupo das rochas de origem química (Pinto, A. et al, 2006).

A textura de uma rocha sedimentar depende da interligação entre os seus componentes individuais. Quanto à sua textura estas podem diferenciar-se em dois tipos: a apresentada pelas rochas detríticas e a apresentada pelas rochas não detríticas. As primeiras têm uma fraca ou nula ligação entre os bordos dos grãos, onde se observam poros entre eles e a força desta ligação depende do tamanho dos grãos, do diâmetro e do arranjo entre eles. As últimas, não detríticas, podem dividir-se em dois tipos quanto à sua textura: as texturas associadas a

construção orgânica e as texturas associadas à cristalização de soluções. As texturas associadas a construções orgânicas dizem respeito a texturas clásticas que apresentam fragmentos quebrados de rochas ou minerais pré-existent, isolados ou ligados entre si por um cimento. No caso das texturas associadas à cristalização de soluções podemos referir as texturas porfiroide, granulas, microcristalina e criptocristalina (Marques, M. et al, 2004).

Os minerais mais comuns nas rochas carbonatadas, como é o caso do calcário, são a calcite (CaCO_3), a dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e a aragonite (CaCO_3). Outros minerais, de menor importância são a magnesite (MgCO_3), e a siderite (FeCO_3). Os processos químicos e físicos que estão na origem de maior parte dos sedimentos carbonatados ocorrem em ambientes marinhos, de águas pouco profundas, límpidas e quente. A deposição de maior parte destes sedimentos é controlado pela atividade biológica do ambiente, que está dependente da quantidade de luz, nutrientes, salinidade, temperatura e agitação marítima de cada bacia. As rochas carbonatadas contudo não são muito variáveis na sua matriz material, sendo esta constituída por calcite, dolomite, quartzo, minerais de argila e óxido de ferro mas apresentam uma grande variedade de texturas (IST @ 2014;Rodrigues, J., 1989).

A rocha calcária é uma rocha origem química, predominantemente constituída por calcite, ou seja, carbonato de cálcio (CaCO_3). Geralmente caracteriza-se por uma elevada porosidade, faz efervescência com os ácidos (a frio) e risca-se facilmente com um canivete. Pode ser compacta ou friável e apresenta uma cor clara, normalmente branca quando se trata de um calcário puro, mas por vezes apresenta tonalidades mais fortes, como um acinzentado, azulado ou avermelhadas, dependendo da natureza e abundância de impurezas presentes na massa da rocha. As tonalidades amareladas ou acastanhadas devem-se à presença de óxidos de ferro hidratados e as tonalidades mais cinzas devem-se à presença de matéria carbonosa. A argila é um dos constituintes não calcários presentes nesta rocha (Moura, A et al, 2007;Barros, L., 2001;Pinto, A. et al, 2006). Este tipo de rochas pode ser classificado simplesmente baseado na sua origem (Ashurst, N., 1994):

- Calcário de origem química é formado diretamente pela precipitação do carbonato de cálcio existente na água. Este é ligeiramente solúvel e aliado ao dióxido de carbono presente na água da chuva reage formando bicarbonato de cálcio, que é muito mais solúvel, através da reação:



- Calcário de origem orgânica consiste, maioritariamente ou completamente, em restos de conchas fossilizadas de um ou mais organismos. Estes retiram carbonato de cálcio da água onde habitam e usam para formar os seus próprios esqueletos e carapaças. Os calcários recifais são constituídos por componentes orgânicos;

- Calcário detrítico ou clástico que resulta da erosão de calcários pré existentes, posteriormente consolidados e normalmente cimentados com material calcário que dá origem a uma nova pedra.

Em Portugal os calcários mais comuns são de origem clástica, constituído por elementos finos ou grosseiros interligados por um cimento carbonatado formado através de precipitação química. Os constituintes das rochas calcárias podem ser do tipo (Moura, A et al, 2007):

- Aloquímicos -materiais detríticos, como restos de conchas, ooídes ou oólitos peloídes ou pellets, já anteriormente referidos, e interclastos (partículas carbonatadas, fracamente consolidadas, fragmentadas pelo processo de erosão ou organismos e posteriormente depositada em bacias de sedimentação);
- Ortoquímicos - materiais que resultam da precipitação química na bacia sedimentar e que não sofreram qualquer transporte. Podem ser de dois tipos consoante o papel que desempenham: micrite (vasa carbonatada miscrocristalina, constituída por partículas de reduzida dimensão, resultante da precipitação química do carbonato ou da abrasão de organismos calcários), ou esparidite (calcite constituída por cristais de maior tamanho que a vasa, que preenche os poros da rocha);
- Constituintes detríticos ou terrígenos-materiais que resultam da fragmentação das rochas e/ou de minerais que são transportados pela água para bacias de sedimentação.

As rochas calcárias geralmente são porosas, mas elas não são necessariamente permeáveis. A permeabilidade é a capacidade de uma rocha permitir a passagem de fluidos como a água ou óleo através dela. Esta é medida pela quantidade de fluido que passar através da rocha num determinado período. A porosidade é a percentagem de vazios existentes num dado volume de rocha. Uma pedra porosa não implica que seja permeável. A permeabilidade depende do número e arranjo dos poros, e uma rocha para ser permeável precisa de ter os seus poros interligados para que haja passagem de fluido (Carrió et al, 1991). Os vários tipos de calcário variam em aspetos como a cor, a composição e o processo de formação. Os grupos de calcários mais comuns são:

- Marga;
- Caliche;
- Tufos calcários;
- Calcário conquífero;
- Giz;
- Calcário Recifal;
- Calcário dolomítico.

Na região de Coimbra predominam muitos monumentos históricos construídos com a chamada “Pedra de Ançã”, um calcário existente na região de Ançã e Portunhos. Este é um

calcário fino, brando e compacto de textura oolítica ou tendência oolítica, com oólitos elipsoidais e esféricos constituídos por finas camadas concêntricas de carbonato de cálcio em torno de um núcleo mineral ou de fragmento de conchas ou de fósseis. Esse carbonato precipita como aragonite mas posteriormente evoluiu para calcite formando fibras através das camadas originais (Moura, A et al, 2007;Neiva, J., 1990)

As suas características físicas são: porosidade acessível à água (28%); massa volúmica real (2710 kg/m^3); massa volúmica aparente (1960 kg/m^3), coeficiente de saturação (0,19) e coeficiente de absorção de água/capilaridade ($0,18 \text{ kg/8m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$) (Castro, E., 1981).É utilizado como pedra de construção e, sobretudo, como pedra escultória.

4. O PROCESSO PATOLÓGICO

4.1 O processo patológico

A palavra “patologia” deriva, etimologicamente, da palavra grega *pathos* (doença) e *logos* (estudo), definindo-se como o estudo das doenças. Aplicada à Engenharia Civil o seu conceito engloba o estudo dos problemas construtivos que surgem numa edificação após a sua construção.

Nos edifícios, tal como acontece na Medicina, antes de qualquer tratamento é necessário uma avaliação do diagnóstico, para se apurar qual a melhor forma de tratar uma patologia. Para solucionar os problemas que um edifício apresenta, deve-se anteriormente conhecer o diagnóstico das patologias apresentadas por este, e quais os agentes e mecanismos que se encontram na base dos mesmos. Assim, a primeira etapa de tratamento das patologias consiste no estudo patológico, que nos permite estabelecer o método de intervenção mais adequado, e estabelecer medidas preventivas contra o reaparecimento das patologias que se pretende tratar ou outros problemas associados. Esta fase é dividida em três etapas: o conhecimento da origem do problema, a sua evolução e o estado final. Neste campo a lógica de tratamento deve ser feita de maneira inversa, ou seja, através do que é observável no edifício, deve-se regredir de modo a alcançar a origem do problema para que se possa realizar uma intervenção o mais adequada e correta possível (Carrió et al, 1991).

Quando se pretende intervir no património e na sua reabilitação e conservação, é necessário efetuar, em primeiro lugar, um estudo sobre as patologias observadas e propor medidas que visem a eliminação e a correção das mesmas. Existem dois caminhos para esta correção: a atenuação/correção das patologias ou a eliminação das causas que as provocam. Pode-se dizer que o processo de degradação se resume à seguinte equação (May, E. e Jones, M., 2006):

$$D = (f(s, t(M, P, E))) \quad (2)$$

Onde D refere-se a *degradation* (degradação), s refere-se *space* (espaço), t refere-se a *time* (tempo), M refere-se a *material* (material), P refere-se a *process* (processo) e E refere-se a *environment* (ambiente). O processo de degradação é a variação dos últimos três parâmetros (material, processo e ambiente) ao longo do tempo e do espaço. Contudo, a avaliação das causas nem sempre é um processo fácil, devido à complexidade dos materiais aplicados e aos vários processos e reações em cadeia que estão por detrás do desenvolvimento das patologias, não estando estas associadas a uma causa única (May, E. e Jones, M., 2006).

As patologias apresentadas pelos componentes ou elementos da pedra podem dividir-se em dois grandes grupos: as estruturais, que afetam o comportamento estrutural, e as não estruturais, que afetam a estética do edifício. No entanto a distinção entre patologias estruturais e não estruturais nem sempre é uma avaliação exata, sendo ténue a linha que separa estas duas avaliações. Exemplo disso é o caso de uma fenda, que sendo caracterizada como uma patologia de natureza estrutural tem um efeito negativo na estética do edifício ou até mesmo a presença de dejetos de pombos, que constituem matéria orgânica, podem em casos extremos afetar a solidez do elemento e provocar a degradação das argamassas (Cóias, V., 2009). Antes de qualquer análise ao caso em estudo devemos ter o conhecimento necessário sobre agentes que estão na origem do processo patológico, os seus mecanismos de ação e quais as patologias que lhe estão associadas e como são caracterizadas.

4.2 Agentes de degradação da pedra em monumentos históricos

Os egípcios foram os primórdios no uso de pedra em grandes quantidades na construção. As pirâmides de Gizé contêm aproximadamente dois milhões de blocos de calcário. Na História a pedra tomou um lugar de destaque no que tocava à construção de templos, igrejas, edifícios reais e edifícios de elevado valor patrimonial. Destas fazem parte várias obras como aquelas deixadas pelo Império Romano, a Grande Muralha da China ou esculturas da civilização Maia. A reparação, a manutenção e a preservação deste vasto património é um trabalho de grande envergadura e de custos elevados. Existindo ainda os problemas associados à degradação do mesmo (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Os edifícios históricos sofrem ao longo do tempo a ação da Natureza, do envelhecimento natural dos seus materiais de construção e do Homem. No primeiro caso, deve-se investigar quais os agentes que estão por detrás dessas alterações. A alteração de uma rocha consiste na *“desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam a rocha noutra produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o novo meio”* (Barros, L., 2001).

Esta alteração pode ocorrer de duas formas: alteração da superfície da pedra, como são os casos de deposição de material, alteração da textura e escamação; ou alteração das características da massa, que correspondem a alterações no interior da pedra como o processo de dissolução interna, a deposição de sais e a fissuração devido a agentes internos e externos (Rodrigues, J., 1989). As causas desta alteração podem ser diretas ou indiretas. As causas são diretas quando constituem a origem imediata do processo patológico, como esforços mecânicos, agentes atmosféricos, poluição, etc. As causas indiretas referem-se a erros e defeitos do projeto ou execução, ou outra causa que por si só não constitui uma causa direta, uma vez que necessitam de um outro mecanismo associado. Abordando apenas as causas

diretas, pode-se referir agentes de variadas naturezas que, aliados a outros problemas independentes dos agentes, levam à degradação das fachadas dos edifícios. Quanto à sua origem, os agentes de degradação podem-se classificar em antropogénicos, quando a responsabilidade recai sobre o Homem, ou naturais, quando devem a causas climáticas, biológicas, microbiológicas e botânicas (Rato, V., 2002). As principais causas de degradação das pedras dos edifícios históricos são (Barros, L., 2001):

- Agentes agressores aos quais o edifício está sujeito;
- Qualidade dos materiais de construção usados;
- Má aplicação dos materiais de construção;
- Falta de conhecimento no domínio dos materiais usados e/ou adicionados posteriormente em obras de intervenção;
- Existência de problemas cíclicos;
- Danos sucessivos introduzidos por sismos anteriores;
- Movimentos de fundações e ações de carácter repetitivo como o vento e variações de temperatura;
- Alterações na estrutura e materiais de construção.

No entanto, a evolução do estado de degradação dos edifícios raramente é devida a um só agente mas sim à ação de uma elevada quantidade de fatores e parâmetros sobre o mesmo local, podendo também dever-se a efeitos em cadeia associados a uma causa inicial. Esta associação de fatores e parâmetros leva muitas vezes, a uma malha/rede de efeitos e patologias de difícil identificação, o que exige um estudo prévio adequado. Por este motivo, torna-se imperativa uma avaliação do contexto e local onde o edifício se encontra inserido.

Sendo a pedra um material em destaque na presente dissertação é necessário um estudo prévio sobre as alterações que esta sofreu desde a sua extração até à sua permanência no edifício. A pedra sofre alteração logo a seguir à sua formação e no local da jazida por alterações químicas ou físicas que ocorrem sobre ela. A alteração de cada pedra é função das suas características físicas e químicas e da capacidade que os agentes de degradação têm sobre os minerais que a compõem. Para além destes minerais a deterioração da pedra depende também de outras características como o tamanho dos poros e a textura, que são decisivas na sua interação com os agentes de degradação. A grande variedade de minerais e as suas combinações, associadas à variação destas características, contribuem para uma elevada diversidade e complexidade de pedras que podem ser alvo de estudo. Na sua extração na pedreira, a pedra sofre uma ação mecânica resultante de todos os esforços que são necessários à sua extração. Posteriormente, ao ser trabalhada, sofre modificações nas camadas superficiais que podem levar a alterações posteriores. Uma boa prática da colocação de uma pedra sedimentar em obra é a sua colocação segundo o plano de estratificação original. Quando tal não acontece e as pedras são

colocadas incorretamente, há uma maior tendência para poder vir a ocorrer a sua delaminação (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Quando colocada em obra, a pedra continua a sofrer ataques do meio envolvente, principalmente nas superfícies mais expostas, levando a uma deterioração que pode ser agravada pela utilização excessiva e/ou inadequada ou por ações de conservação prejudiciais. Uma pequena alteração das características da pedra ou das características do meio podem determinar a alteração dos mecanismos de deterioração e da velocidade de degradação. Estes mecanismos e velocidade de degradação dependem muito quer de características internas quer das circunstâncias exógenas ou externas à pedra. Nas características internas destacam-se a composição mineralógica, a textura, a porosidade ou a resistência. Nas características externas destacam-se a temperatura, a composição atmosférica e os fatores biológicos e químicos. No caso de pedras onde predomine calcite, como é o caso da pedra calcária, a solubilidade tem um papel de destaque nos mecanismos de deterioração (Cóias, V., 2009).

Podemos agrupar os agentes de acordo com a sua natureza, tendo em vista uma melhor avaliação das patologias e das causas que estão na sua origem. No entanto, nem sempre é claro o resultado das conjugações possíveis das várias causas e as interdependências dos seus fenómenos (Sousa, V., 2003). Podemos agrupar os vários agentes de degradação nos seguintes grupos:

- Mecânicos;
- Eletromagnéticos;
- Térmicos;
- Biológicos;
- Químicos;
- Climatéricos;
- Antropogénicos.

4.2.1 Agentes mecânicos

Os agentes mecânicos englobam todas as forças ou movimentos que induzem tensões na pedra. A força de gravidade é a primeira força a exercer efeito em qualquer corpo. Sendo esta força contabilizada aquando a construção, tem um efeito agravado quando associada a outros agentes ou ações, como casos de sismos, alterações do uso ou da geometria da fachada, que podem alterar a distribuição das cargas aplicadas ou a própria resistência a essas cargas. Os assentamentos diferenciais das fundações, gerados por escavações, alterações de níveis freáticos ou aluimento de terras, podem gerar tensões adicionais que, aliado a outros agentes

mecânicos, levam ao aparecimento de diversas patologias (Feilden, B., 2003; Sousa, V., 2003).

Um agente de grande impacto é a ocorrência de um sismo que gera uma vibração brusca em toda a estrutura, podendo levar ao colapso desta nos casos mais graves. Os edifícios mais antigos, como é o caso de monumentos históricos, são os mais vulneráveis, quer pela idade quer pelos materiais e pelas técnicas de construção que não são tão desenvolvidas quanto atualmente. O vento, outro agente mecânico, também tem um efeito de desgaste nos edifícios históricos quando associado a outros agentes, não devendo ser caracterizado como uma causa direta de abrasão mas sim indireta, pois por si só não constitui uma ameaça. Este é caracterizado pela sua direção e velocidade. A sua ação abrasiva encontra-se aliada ao transporte de partículas que têm um efeito de modelagem da pedra exposta. O seu efeito sobre os edifícios históricos é mais grave quando combinado com chuvas intensas, uma vez que este ajuda a água das chuvas a penetrar no interior das fissuras existentes das fachadas (Feilden, B., 2003; Sousa, V., 2003).

A importância do vento sobre edifícios históricos é muitas vezes desprezada em muitos estudos. Para além daquilo que já foi referido, o vento também atua sobre a superfície da pedra influenciando a cristalização de sais solúveis pelo aumento da velocidade de evaporação da água capilar, eliminando a água superficial. A pedra calcária pode acumular sulfato de cálcio devido à poluição do ar ou à exposição costeira. Uma chuva forte humedece a pedra, e o vento seca-a rapidamente, o que favorece a cristalização de sais que por sua vez vai contribuir para o desgaste da pedra. Esta ação de desgaste e modelagem é causada pela variação da velocidade de secagem da pedra que por sua vez depende da velocidade do vento. A ação do vento isolada de outros agentes seria improvável. (Carrió et al, 1991; Rodrigues, J., 1989). De modo idêntico a ação do gelo sobre as fachadas tem um efeito comum à ação de um sal, uma vez que ambos induzem tensões nas pedras (Sousa, V., 2003).

4.2.2 Agentes eletromagnéticos

Um agente comum a todos os edifícios consiste na descarga de cargas eletromagnéticas sob a forma de raios. Em meio urbano quanto mais elevado o edifício se encontra mais exposto está a este agente. A incidência de um raio sobre o edifício gera uma intensa corrente elétrica que se desloca ao longo do mesmo em direção ao solo. A sua ação será mais ou menos sentida consoante a resistência que os elementos apresentarem à sua passagem e o seu teor de humidade. Uma vez que a maior parte dos materiais que constituem o edifício têm baixa condutividade térmica, à exceção dos metais, a energia que é transferida facilmente se dissipa, não afetando o edifício. No caso da humidade, esta converte-se em vapor de água à passagem de corrente, podendo levar ao aparecimento de fissuras nas pedras. Hoje em dia os avanços da

tecnologia permitem-nos dispor de sistemas de pára-raios que protegem os edifícios dos danos causados pelas descargas elétricas da atmosfera (Sousa, V., 2003).

A radiação solar também constitui um agente eletromagnético, sendo dividido em três grupos conforme a sua atuação sobre o edifício:

- Radiação ultravioleta: A radiação que não é absorvida pela camada de ozono será absorvida posteriormente por materiais orgânicos desgastando-os superficialmente. Estes materiais, juntamente com agentes erosivos ou processos de lavagem da sua camada afetada, levam à sua degradação gradual. Este tipo de radiação é a que mais efeito destrutivo tem sobre os edifícios;
- Radiação visível: Apesar do efeito quase nulo que tem sobre os materiais este tipo de radiação contribui para o seu aquecimento;
- Radiação infravermelha: A radiação infravermelha afeta todos os materiais, provocando o aquecimento destes em função da sua cor e textura superficial.

A intensidade da radiação solar sobre o edifício é função da estação do ano, da altitude do local onde o edifício se encontra, da orientação do mesmo, e dos obstáculos existentes à sua volta que podem conferir-lhe sombreamento. Diferentes materiais têm diferentes capacidades de absorção para os vários comprimentos de onda da radiação, e apenas absorvem uma certa percentagem da radiação que incide sobre eles. A esta percentagem chamamos de absorvência, e pode ir desde a absorção total dessa radiação, no caso de um corpo negro, à reflexão total da mesma radiação, como o caso de superfície refletoras (Feilden, B., 2003).

4.2.3 Agentes térmicos

Os agentes térmicos atuam sobretudo nos materiais, contraindo-os ou expandindo-os, e estes ao se encontrarem confinados ou não existindo juntas de dilatação são introduzidas tensões nos mesmos. Estas tensões introduzidas nos materiais do edifício dependem de diversos fatores como:

- A extensão da variação dimensional dos materiais, que depende da humidade relativa, da dimensão e do coeficiente de dilatação dos materiais;
- O coeficiente de elasticidade do material;
- O grau de restrição dos materiais através da ligação com outros elementos;
- A variação do teor de humidade resultante da evaporação.

Estes movimentos térmicos são uma das principais causas de deterioração em edifícios históricos. A energia calorífica que cada elemento recebe através da radiação solar varia com a humidade existente nos poros da pedra e a exposição desta ao vento. Esta energia vai afetar a temperatura interna dos materiais e a temperatura no interior do edifício, através da radiação

que passa através das janelas. A situação mais extrema da ação deste tipo de agentes ocorre no caso de choques térmicos. Nesta situação devida à variação brusca de temperatura com grande amplitude, ocorre a rotura dos materiais (Feilden, B., 2003; Sousa, V., 2003).

4.2.4 Agentes biológicos

Os agentes biológicos podem-se dividir nas seguintes categorias: crescimentos superficiais, insetos, animais e plantas.

No grupo dos crescimentos superficiais podemos englobar bolores, bactérias, fungos, algas, líquenes e briófitas. Estes não afetam profundamente os materiais mas sim a sua estética, podendo ser um antecedente da presença de humidade excessiva, e alguns produzem ácidos que atacam certos materiais de construção (Sousa, V., 2003).

As aves são os animais que provocam mais danos à pedra dos edifícios históricos. Os seus dejetos atacam os materiais e proporcionam nutrientes que posteriormente ajudam ao desenvolvimento de outros agentes biológicos. No caso das plantas a sua ação de degradação decorre principalmente da ação física das suas raízes. Estas desenvolvem-se e geram tensões nos materiais que podem levar à sua degradação (Feilden, B., 2003; Sousa, V., 2003).

4.2.5 Agentes químicos

Os agentes químicos têm uma grande importância na degradação dos materiais, mas aquele que mais problemas provoca é a água, sendo responsável por um grande número de patologias observáveis no património. A água manifesta-se nos materiais sob a forma de humidade como sendo: humidade do terreno, humidade de construção, humidade de precipitação, humidade de condensação, humidade devida a fenómenos de higroscopicidade e humidade devida a causas fortuitas (Sousa, V., 2003).

A humidade do terreno deve-se à água existente neste, que pode ter origem em níveis freáticos ou na água da chuva que se infiltra no terreno. O edifício estando em contacto com o terreno através das suas fundações, está sujeito à ação da água existente que se infiltra nos materiais do edifício por capilaridade, ascendendo ao longo deste. A altura a que humidade ascende depende principalmente do volume de água em contacto com os elementos construtivos, da espessura das paredes afetadas, da dimensão dos poros dos materiais em contacto com a água, da relação entre a superfície disponível para evaporação, da época de construção, da orientação e da superfície em contacto com o terreno. A água ascende ao longo da parede tanto mais alto quanto menor for o diâmetro dos poros do material. A água presente no terreno pode transportar consigo sais solúveis, levando a outras patologias para além das manchas de humidade (Rato, V., 2002; Torres, M., 1988). Quanto maior a espessura de uma

parede maior é a ascensão capilar que ocorre através desta. A altura máxima a que a água ascende é estabelecida através do equilíbrio entre a água absorvida por capilaridade e a água que se evapora nas faces da parede (Torres, M., 2004).

A humidade de construção deve-se à presença de água no interior dos próprios materiais. Esta água existente no seu interior pode ter origem nos processos de execução dos materiais de construção ou da precipitação ocorrida durante a fase de construção do edifício. A água da chuva por si só não constitui um agente de degradação relevante, mas associada à ação do vento, que lhe confere uma componente horizontal, vai humedecer as paredes dos edifícios (Torres, M., 1988). Assim a água penetra nas paredes de alvenaria por fissuras, fendas e elementos construtivos deslocados. A este tipo de humidade associam-se patologias como manchas de humidade nos paramentos exteriores de alvenaria, existência de bolores e outras patologias associadas à presença de sais solúveis (Rato, V., 2002).

A humidade de condensação é resultante do processo de condensação que ocorre no interior ou no exterior dos elementos construtivos. Este processo de condensação é influenciado pela mistura de gases e de vapor de água existentes. A quantidade máxima de água que o ar pode conter é chamada de limite de saturação, que aumenta com o aumento da temperatura (Torres, M., 1988). Este processo de condensação depende da (Rato, V., 2002):

- A diferença entre a temperatura interior e a exterior;
- A resistência térmica do elemento construtivo em estudo;
- A produção de vapor de água no interior do edifício;
- A taxa de renovação do ar por ventilação.

A principal patologia associada a este tipo de humidade é a formação de bolores.

A humidade de construção devida a fenómenos de higroscopicidade resulta da capacidade dos materiais de construção absorverem a humidade do ar. No interior de materiais de construção, como as pedras, encontram-se vários tipos de sais solúveis em água. Os sais que existem nas paredes de alvenaria resultam de sais provenientes do solo ou dos próprios materiais de construção. Estes sais controlam a humidade relativa dos materiais uma vez que quando a humidade relativa do ar sobe, os sais dissolvem-se, e cristalizam-se quando essa humidade relativa desce. O processo de cristalização dos sais é acompanhado por um aumento de volume (Torres, M., 1988).

A humidade devida a causas fortuitas pode ter origem em situações como fugas ou rotura de canalizações em redes de distribuição, em infiltrações existentes nas coberturas, no incorreto remate da cobertura com as paredes ou na ausência ou insuficiência de capeamento das paredes (UM @ 2014).

4.2.6 Agentes climatéricos

Os materiais sofrem um processo de alteração e degradação devido à ação dos agentes climatéricos. O clima pode ser definido como um “conjunto de factos meteorológico que caracterizam o estado médio da atmosfera numa dada região” (Barros, L., 2001). É um importante agente de degradação nos edifícios históricos uma vez que a longevidade destes implica a sua exposição a agentes climáticos que podem ter variado desde a sua edificação até ao presente.

Um edifício histórico está sujeito a três tipos de clima: o macro-clima, o micro-clima e o nano-clima. O primeiro refere-se aos aspetos climáticos da região onde o edifício se insere, e abrange parâmetros como a quantidade e a frequência de precipitação, a média de temperaturas e a humidade do ar. No entanto os parâmetros relativos ao macro-clima não ajudam a entender o seu efeito nos edifícios e a sua interação com os materiais. O micro-clima refere-se às características da zona onde o edifício se encontra inserido. No estudo do micro-clima importa a existência ou não de volumes que podem fazer sombra ao edifício em estudo, a proximidade a cursos de água, a densidade de ocupação do solo e o volume construído. O nano-clima é gerado por um determinado número de condicionantes do próprio edifício que criam pontualmente condições particulares, relacionando-se com a própria arquitetura (May, E. e Jones, M., 2006; Rato, V., 2002), como é representado na Figura 4.1.

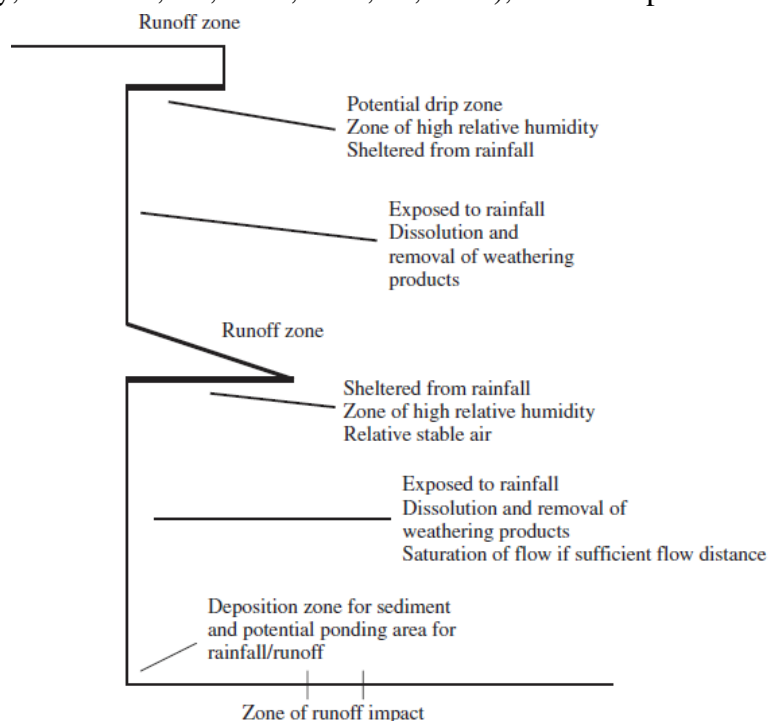


Figura 4.1: Micro clima e variações significativas de intemperismo (May,E. e Jones, M.,2006).

4.2.7 Agentes antropogénicos

O Homem é um agente preponderante nas alterações à integridade do património edificado. A gravidade das suas ações apenas pode ser superada por fenómenos naturais como sismos, furacões e outros desastres naturais. As suas ações sobre o edificado podem ser diretas ou indiretas. As ações diretas podem ser entendidas como aquelas que dependem diretamente do Homem, como a falta ou inadequação de manutenção e de limpeza dos edifícios, o uso intensivo e inadequado de espaços, a falta de conhecimento no domínio da conservação, a inadequação de tratamentos, a negligência e, como mais extremas, as ações de vandalismo. Como ações indiretas temos a poluição que afeta não só o próprio Homem, como todos os seres vivos e ecossistemas. A poluição resulta maioritariamente de atividades industriais e dos gases de escape dos vários meios de transporte (Rato, V., 2002). As principais categorias de agentes de poluição atmosférica são (Feilden, B., 2003):

- Partículas e poeira emitidas por chaminés industriais;
- Fumos e partículas sólidas e finas que, ao coagularem formam fuligem;
- Gases como o dióxido de carbono (CO_2), o dióxido de enxofre (SO_2), o ozono (O_3) e o monóxido de carbono (CO).

Em meio urbano a concentração destes poluentes é mais elevada, refletindo-se na degradação dos seus edifícios. Um outro resultado é o fenómeno da formação de chuvas ácidas. Estas resultam da dissolução na água de poluentes como o dióxido de enxofre e o dióxido de carbono; da deposição de partículas e poeiras à superfície dos edifícios, que reagem com os materiais levando à sua degradação, e à alteração de níveis freáticos que vai ter consequências diretas a nível do solo e das fundações, afetando assim a estabilidade do edifício.

A ação do dióxido de carbono, juntamente com a água, em materiais calcários constituídos por carbonato de cálcio, reflete-se na transformação do carbonato de cálcio em bicarbonato de cálcio, solúvel em água e que altera a superfície dos elementos calcários. Este fenómeno é denominado de concreção calcária (Rato, V., 2002; Sousa, V., 2003).

5. OS MECANISMOS DE ALTERAÇÃO DA PEDRA

Antes de abordarmos os padrões de alteração das pedras é necessário saber os mecanismos que estão na base destas alterações e que levam a determinadas patologias na pedra. Os agentes responsáveis por estes mecanismos são de natureza variada e podem levar à perda de material, à deformação, à fissuração e a outros tipos de patologias sobre a pedra. A pedra calcária é uma pedra com problemas de conservação. No caso da pedra de Ançã é frequente ocorrerem fenómenos de desagregação, que levam à formação de placas de 2 a 3 mm e que se destacam facilmente. Em calcários de textura oolítica é comum ocorrer a desagregação dos oólitos por fenómenos sucessivos de secagem-molhagem, associados à variação normal da humidade do ar. Outro fenómeno bastante associado à pedra calcária é o aparecimento de crostas negras (Cóias, V., 2009). Para perceber a razão destas patologias no calcário é necessário uma melhor compreensão dos mecanismos responsáveis pelas mesmas.

5.1 Deterioração por desintegração da pedra

As três principais causas que estão na origem de um processo de desintegração da pedra são:

- Cristalização por sais;
- Ataque por gases ácidos do ar;
- Ação do gelo.

5.1.1 Cristalização por sais

Esta é possivelmente a mais grave das três causas apontadas. Os sais são produto do intemperismo químico e biológico e provêm das pedras, de outros materiais de construção, da Natureza e da ação humana. A água existente no solo contém uma elevada quantidade de sais, e em locais onde a atividade humana seja intensa, ela é enriquecida sobretudo em nitratos e cloretos. A solubilidade é uma característica dos sais que lhes permite dissolverem-se em contacto com a água. Uma solução encontra-se saturada quando atinge a quantidade máxima de sal dissolvido a uma determinada temperatura, podendo levar ao desenvolvimento de cristais. Como exemplo destes materiais que levam ao desenvolvimento de sais são apontados os ácidos, as soluções alcalinas ou o cimento Portland, que constituem uma ameaça às construções antigas.

A água é um líquido “molhante” para grande parte dos materiais, e quando postos em contacto, a água infiltra-se no seu interior, e no caso das pedras, infiltra-se através dos seus poros. Este contacto entre a água e os materiais pode ser feito através das fundações, da entrada de água por fissuras, da chuva, etc. Esta capacidade da água penetrar no interior da pedra é tanto maior quanto menor for o diâmetro dos seus poros. Os sais maioritariamente encontrados nas pedras das fachadas são: carbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos e oxalatos de sódio, de potássio, de cálcio, de magnésio e de amónio (Cóias, V., 2009; MARCIABRAGA @ 2014; Puim, P., 2010).

Os sais circulam dentro das pedras em soluções aquosas e, sobre condições áridas, a água evapora e os sais são depositados na superfície e/ou no interior da pedra. A cristalização ocorre quando a humidade relativa de equilíbrio do sal é superior à humidade relativa do ambiente, levando à cristalização dos sais. Pode-se definir a humidade relativa do ar como a quantidade de vapor de água que se encontra no ar e que, expressa em percentagem, traduz a relação entre essa quantidade e a quantidade máxima de humidade do ar a essa temperatura. Ao crescimento de sais à superfície da pedra dá-se o nome de eflorescência, e quando este crescimento ocorre no interior dos poros dá-se o nome de criptoflorescência. Enquanto que a primeira pode ser considerada inofensiva, a última gera alguma pressão nas paredes dos poros ou nas fissuras existentes na pedra. Esta pressão vai depender da natureza do sal e em parte do arranjo dos poros. Se a pressão exceder a resistência da pedra irão ocorrer danos, que podem ser de uma escala microscópica revelando-se numa perda de robustez, mas associados a ciclos de humedecimento-secagem, que implicam ciclos de redissolução-recristalização de sais, levam ao aparecimento de material poeirento à superfície da pedra. Por vezes podem ocorrer fragmentações mas estas são sempre associadas à presença de uma textura poeirenta, sendo esta última uma característica no diagnóstico de cristalizações por sais na pedra (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988). (Cóias, V., 2009) (MARCIABRAGA @ 2014).

Nem sempre este processo envolve obrigatoriamente o humedecimento da pedra. No caso da humidade relativa do ar atingir valores suficientemente elevados, os sais absorvem a água presente no ar em quantidade suficiente para se dissolverem. Se pelo contrário, a humidade relativa for suficientemente baixa, estes sais perdem água e recristalizam. São chamados de sais higroscópicos, uma vez que conseguem absorver água presente no ar. Outra forma de cristalização de sais envolve a variação de temperatura. Certos cristais em contacto com uma solução saturada do seu sal irão redissolver-se no caso de a temperatura atingir valores suficientemente baixos, e recristalizar-se se houver um abaixamento da mesma. O fato de uma pedra poder ser mais ou menos atacada pelos sais, depende da qualidade dos sais envolvidos, da frequência dos ciclos de cristalização e da resistência oferecida pela pedra. Aos sais de baixa solubilidade e à presença de gesso podemos associar fenómenos de escamação. Aos sais de elevada solubilidade associamos fenómenos de pulverização. Associado à humidade

ascensional, um panorama comum deste ataque, é a presença de lâminas ou escamas nas zonas inferiores dos edifícios no início do processo de deterioração e a pulverização ou desagregação granular em zonas mais elevadas (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988; Rodrigues, J., 1989; Puim, P., 2010).

5.1.2 Ataque por gases ácidos do ar

A poluição atmosférica é uma das principais causas da sujidade dos edifícios. Poluentes como o carbono ou ácidos sulfurosos, provenientes da combustão de materiais fósseis e óleos, juntamente com outras partículas presentes no ar, são suficientes para degradar a pedra. O grau de deterioração da pedra depende das suas características e da composição qualitativa e quantitativa dos agentes de poluição. As características da pedra podem ser de natureza química (substâncias reativas) e mineralógica (minerais mais ou menos suscetíveis à deterioração, ligação entre partículas, dimensões dos grãos, etc.) que associadas a outras características da pedra como a porosidade, a sua superfície específica ou porometria, determinam a maior ou menor suscetibilidade a este tipo de ataque. Responsáveis pela aceleração do processo de degradação da pedra encontram-se em muitos outros poluentes. Os constituintes mais abundantes na atmosfera são o azoto (78,09%), o oxigénio (20,94%), o argón (0,093%) e o dióxido de carbono (0,032%). Em certos locais, alguns dos gases prejudiciais à pedra têm uma maior concentração devido à atividade humana como a produção industrial ou o trânsito automóvel (Castro, E., 1987)

Os poluentes que mais peso têm no ataque às pedras são compostos oxigenados de enxofre, dióxido de carbono, óxido de azoto, ácido clorídrico e cloretos, ácido fluorídrico e fluoretos, ácido sulfúrico, ozono, amónio e poeiras. O dióxido de enxofre é um poluente que ataca a pedra, levando ao aparecimento de crostas negras. Ele dissolve-se facilmente na água formando ácido sulfuroso, grande protagonista no ataque ácido a pedras calcárias. Duas reações podem acontecer de seguida: a reação com o oxigénio atmosférico ou o ataque direto ao calcário. O ácido sulfuroso ao reagir com o oxigénio atmosférico produz ácido sulfúrico que pode atacar a pedra calcária, através da reação com o carbonato de cálcio presente originando sulfato de cálcio e água. Este sulfato absorve água ao mesmo tempo que cristaliza e forma gesso. Quando o ácido sulfuroso reage diretamente com o carbonato de cálcio presente no calcário, leva à formação de sulfito de cálcio que combinado com o oxigénio atmosférico origina sulfato de cálcio. Este ao hidratar forma gesso, através de processos de cristalização, acompanhado de um aumento de volume, levando assim à fissuração e redução da dureza superficial da pedra. O gesso, também chamado de sulfato de cálcio monohidratado, tem um coeficiente de expansão térmica aproximadamente cinco vezes superior ao do calcário, que associado a um aumento de temperatura leva à separação da

camada sulfatada. O escurecimento da pedra, as crostas negras e a sulfatação são fenómenos mais acentuados quanto maior foi a poluição atmosférica no local (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988; Castro, E., 1987).

O gesso é parcialmente solúvel em água, principalmente água ácida, e quando atacado pelas águas das chuvas é removido juntamente com outras sujidades presentes na superfície da pedra. No entanto, se uma parte da água da chuva se embeber na pedra ou ficar à superfície e evaporar de seguida, o sulfato de cálcio cristaliza, levando à desintegração da pedra. No caso de zonas protegidas das chuvas, a pedra reage com as partículas ácidas, o que leva à ligação de partículas de poluentes à superfície desta. Ao longo deste processo a pedra fica cada vez mais escura e menos permeável, levando ao aparecimento de crostas negras. Estas são depósitos de sais e partículas da atmosfera onde o mineral principal é o gesso, e apresentam muito baixa densidade e uma rugosidade superficial muito elevada. Podem ser simples sedimentos com fraca ligação com o substrato ou produtos da interação com o substrato. Nos calcários mais resistentes a sujidade é retida indefinidamente, e nos menos resistentes por vezes formam-se bolhas que tanto podem ser pouco como muito pronunciadas, e que podem em último caso estoirar e formar um pó (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988; Ashurst, N., 1994; QUB @ 2014).

O dióxido de carbono é um constituinte que existe naturalmente na atmosfera, fazendo parte do produto da respiração humana e animal e do processo de fotossíntese das plantas, e a sua concentração na natureza não é muito variável. Em locais urbanos e industriais esta concentração aumenta, e por isso o dióxido de carbono é considerado um poluente. Este dissolve-se na água das chuvas segundo a seguinte reação (Castro, E., 1987):



O carbonato de cálcio, apesar de pouco solúvel na água pura, quando esta contém dióxido de carbono reage dando origem a hidrogenocarbonato de cálcio, segundo a seguinte reação (Castro, E., 1987):



Deste modo a rocha calcária, uma vez que contém carbonato de cálcio, vai ser atacada e erodida quimicamente. Uma parte do hidrogenocarbonato de cálcio formado é removido pelas águas das chuvas, outra parte permanece armazenada nos poros da pedra, e quando a água evapora, deposita-se de novo sob a forma de carbonato de cálcio na superfície da pedra aumentando a erosão diferencial (Castro, E., 1987).

5.1.3 Ação do gelo

A ação do gelo é diferente da ação dos sais e dos poluentes nos seguintes aspetos: em primeiro, o gelo apenas ataca nos locais onde pode congelar e que se encontrem muito húmidos, e segundo, o efeito revela-se logo pelo aparecimento de uma fissura, sem qualquer existência de pó ou bolhas. Assim a primeira condição base para o ataque do gelo é a humidade da pedra, existindo locais num edifício onde esta condição mais se observa como cornijas, soleiras ou topos de colunas. Parâmetros como a porosidade, a capilaridade, a permeabilidade, o tamanho e a distribuição dos poros são importantes na avaliação da maior ou menor suscetibilidade do ataque ao gelo (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988; Rodrigues, J., 1989). Podem-se distinguir dois tipos de ataque. O mais comum envolve a separação de um fragmento de pedra mais exposta existente num bloco de pedra. O gelo aparece entre as partes separadas, deixando o bloco desfigurado mas funcional. O outro tipo de ataque envolve a existência de fissuras em várias direções, transformando o bloco maior num conjunto de fragmentos menores e leva à não funcionalidade do bloco de pedra (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

É sabido que a água no estado sólido ocupa um maior volume que no estado líquido. A água líquida existente nos interstícios da pedra associada a um abaixamento de temperatura até ao ponto de congelação sofre uma alteração do estado líquido para o estado sólido. Esta alteração de estado físico é acompanhada por um aumento de volume da água, e caso a pedra não tenha espaço para se expandir, pode levar ao aparecimento de fissuras e degradação de material. Quando este gelo, pela ação da radiação solar e conseqüente aumento de temperatura, passa ao estado de líquido, a água continua no interior da pedra, mas nas partes inferiores, uma vez que não recebem tanta luz natural, podem continuar congeladas e em último caso pode levar ao estilhaçar da pedra. Muitas vezes a esta não está danificada por fora mas por dentro encontra-se enfraquecida, tendo muitas vezes de sofrer ataques sucessivos antes de se observarem danos exteriores (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

5.2 Deterioração causada por manchas

Este tipo de deterioração implica a adição de algum material à pedra, que leva ao aparecimento de manchas indesejadas e pouco estéticas. As manchas representam uma alteração mineralógica da cor na pedra, e normalmente a remoção das manchas não é possível sem a remoção simultânea de algumas quantidades de pedra. O aparecimento de manchas na pedra envolve sobretudo a corrosão de metais mas nem sempre isso se verifica (Ashurst, N., 1994).

Poluentes do ar, tais como o carbono ou alguma matéria alcatroada, levam ao escurecimento da pedra. Nas pedras calcárias que se encontram abrigadas, estas partículas ficam cimentadas

nestas através do gesso, produto do ataque por ácidos sulfurosos (Ashurst, J. e Dimes, F. 1988). O gesso é formado pela reação entre compostos sulfúricos como o dióxido de enxofre (SO_2), óxido sulfúrico (SO_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4), água (líquida ou vapor) presente na atmosfera e o carbonato de cálcio, presente nas pedras calcárias (Olaru, M. et al, 2010). Este é ligeiramente solúvel em água e qualquer sujidade que adira às zonas mais claras lavadas pela água da chuva, é regularmente removida mas nas zonas não tão abrigadas forma-se um depósito escuro. Caso este permaneça intacto, desenvolvendo-se uma camada de fuligem que mesmo com alguma lavagem a pedra ficará sempre manchada, normalmente com uma cor castanha clara (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Um dos poluentes atmosféricos mais agressivos é o dióxido de enxofre (SO_2), que é um composto reativo e corrosivo e que acidifica a água das chuvas, dando origem às chuvas ácidas. Este conceito refere-se à deposição ácida que tem duas vertentes: a deposição a seco e a deposição húmida. A deposição a seco engloba a deposição de partículas e gases poluentes na ausência de chuva. A deposição húmida engloba a junção de substâncias poluentes nas gotículas das nuvens ou na água da chuva. A primeira adquire um papel de maior destaque nas áreas mais urbanas, ou seja, em áreas mais poluídas. Os efeitos principais do dióxido de enxofre na pedra calcária são a formação de crostas e a perda de material pétreo devido à solubilização que representa entre 30 a 50% da perda de material. Esta perda também pode ser atingida quando as crostas, ao adquirirem uma certa espessura, caem da superfície da pedra e assim a pedra apresenta agora uma desagregação e uma porosidade maiores tornando-se mais vulnerável a possíveis ataques pelos agentes de deterioração (Olaru, M. et al, 2010).

5.3 Deterioração causada por organismos vivos

A deterioração por organismos vivos tanto pode abranger organismos de reduzido tamanho como plantas de grande desenvolvimento. Os organismos vivos que afetam maioritariamente as pedras dos monumentos são as algas, os fungos, os líquenes e algumas bactérias que se desenvolvem no seu interior. Os agentes necessários para que estes organismos se desenvolvam à superfície da pedra são: água, luz e temperatura, pH adequado e nutrientes.

5.3.1 Algas

As algas colonizam preferencialmente nas pedras que se encontram humedecidas durante algum tempo. Quando a superfície da pedra se encontra humedecida estas apresentam uma cor verde e caso esteja seca apresenta uma cor cinzenta. Podem ainda existir algas de tonalidades vermelhas, castanhas ou azuis, dependendo do ciclo de vida em que se encontram, e podem alterar a sua tonalidade para uma tonalidade mais escura com o aumento dos níveis de poluição que levam à alteração de valores inadequados de pH do meio ambiente. Quanto à

sua textura a alga é viscosa se a pedra estiver húmida e apresenta-se na forma de filamentos se a pedra estiver seca. Uma vez que contêm clorofila, elas são capazes de realizar a fotossíntese e daí obter os elementos essenciais necessários ao seu desenvolvimento, e em determinadas condições conseguem-se multiplicar rapidamente. O seu desenvolvimento é mais intenso na Primavera e no Outono, uma vez que as temperaturas são mais amenas e a humidade elevada. Os ácidos orgânicos que produzem conseguem dissolver o carbonato de cálcio, levando à degradação da pedra. Uma vez que as algas conseguem introduzir células nos poros das pedras pode ocorrer a expansão e contração das células como resposta à humidade, tendo uma influência mecânica nas pedras levando ao aparecimento de pequenas fendas. As bainhas de musgo das algas depois de mortas podem ainda servir como nutriente para bactérias e fungos. (Ashurst, N., 1994; Sousa, V., 2003).

5.3.2 Fungos

Ao contrário das algas, os fungos não conseguem produzir os seus próprios nutrientes usando a luz solar. Os resíduos dos produtos das algas e das bactérias, ou células mortas desses organismos, ou mesmo dejetos de aves presentes nas pedras, podem fornecer nutrientes aos fungos. Estes podem ser cinzentos, verdes, pretos ou castanhos com o formato arredondado e com textura de algodão. São capazes de produzir ácidos orgânicos, como ácido oxálico e cítrico, que conseguem dissolver os minerais de silício, ferro, compostos de magnésio e de fósforo e carbonato de cálcio. Por esta razão são um grande agente de deterioração da pedra calcária. No caso de fungos filamentosos, ocorre a degradação mecânica devido à penetração de hifas. Normalmente provocam manchas escuras e algumas espécies penetram no substrato de argamassas, levando à falta de coesão e destacamento. No entanto esta degradação é reduzida quando comparada com a degradação química (Ashurst, N., 1994; MARCIABRAGA @ 2014; Sousa, V., 2003).

5.3.3 Líquenes

Os líquenes são um caso especial, uma vez que é composto por dois organismos distintos, consistindo numa associação simbiótica de um fungo e uma alga. As células da alga produzem alimento pela fotossíntese, enquanto a hifa do fungo procura água, estando maior parte do corpo do líquen debaixo da pedra e pode viver totalmente debaixo desta como é o caso dos líquenes endolíticos. Eles captam dióxido de carbono e ácidos que podem reagir com o calcário. Alguns líquenes podem estar ligados a uma rede de finas raízes que penetra alguns milímetros na pedra, através de fissuras e poros, atacando o material. Assim nota-se que estes agentes de deterioração são tão importante no processo de deterioração como os sais na cristalização, os ataques por ácidos ou a ação do gelo. No entanto em algumas pedras porosas

os líquenes podem atuar como uma proteção, protegendo a pedra do efeito da chuva, vento e poluição atmosférica. Os líquenes normalmente não são encontrados em ambientes de elevados níveis de poluição (Begonha, A. et al, 2012; Sousa, V., 2003).

5.3.4 Bactérias

As bactérias são um grupo de organismos vivos tão pequenos que a sua presença é apenas notada através de alterações químicas ou biológicas que advém da sua ação. No entanto podem existir grandes depósitos destes organismos em elevadas concentrações juntamente com algas e fungos. As bactérias que mais contribuem para a deterioração da pedra são: aquelas que conseguem oxidar o sulfato ou algum dos componentes do ácido sulfúrico que atacam diretamente o calcário; aquelas que oxidam a amónia presente no ar para formar ácido nítrico que ataca o calcário e por fim aquelas que produzem ácidos orgânicos capazes de dissolver os silicatos. No entanto em quase todos os casos as alterações não são tão relevantes quando comparados com outros agentes (Ashurst, N., 1994; Sousa, V., 2003).

5.3.5 Pássaros

As aves podem danificar a pedra com os seus bicos. Uma das aves mais comuns, que faz parte da paisagem urbana e que ataca significativamente os monumentos históricos são os pombos. Os seus ninhos também são um problema evidente, uma vez que ocorre deterioração devido à acumulação dos materiais que constituem os ninhos. O seu excremento, chamado de *guano*, que se espalha ao longo das fachadas em sancas ou em capitéis também traz problemas à pedra. Os excrementos evoluem dando origem a uricite, que é um sal muito solúvel. Assim o principal produto deste é o ácido úrico, insolúvel, que leva ao aparecimento de uma suspensão aquosa, esbranquiçada que suja as paredes e que acelera o processo de deterioração das pedras calcárias (Ashurst, N., 1994; Barros, L., 2001).

5.3.6 Plantas

As plantas têm uma ação mecânica e química sobre pedras e argamassas. As suas raízes, para além da ação mecânica que ao penetrarem nas fissuras das pedras exercem uma determinada pressão, têm ainda uma ação química através da produção de ácidos. As plantas levam ainda a variações micro climáticas como o aumento da humidade relativa do ar, estagnação de água, diminuição de insolação, redução da ação de poluentes e do vento. Estas condições podem levar ao favorecimento do desenvolvimento de algas e musgos mas reduzem a erosão eólica, trocas de água e conseqüentemente a migração de sais (MARCIABRAGA @ 2014).O processo patológico apresenta uma série de condicionantes e fatores que carecem de uma

identificação precisa imprescindível para uma elaboração correta do processo de intervenção e reabilitação. A tabela (*) procura fazer uma síntese do conjunto de fatores responsáveis pela deterioração da pedra, das suas interações e dos efeitos resultantes da sua ação.

ESTRUTURAIS	FÍSICOS	QUÍMICO	BIOLÓGICOS	OUTROS	
Impactos Sobrecargas Assentamentos Explosões Vibrações	Ciclos gelo-degelo Cristalização por sais Erosão Abrasão Vibrações	Agentes agressores como: .Sulfatos .Sais .Soluções ácidas	Microrganismos Organismos Plantas	Uso Modificações	NATUREZA DOS AGENTES MECÂNICOS
Deformação permanente Fenda Fissura Esmagamento	Desgaste diferencial	Incrustação Manchas Descoloração Escorrimento	Deposição de detritos Desagregação Descoloração	Redução da seção Roçagem	ANOMALIAS NOS COMPONENTE OU ELEMENTOS
Lascagem Lacunas Fissuração	Desagregação Escamação Alveolização Enfarinhamento Esfoliação Empolamento Fendilhação	Incrustação Desagregação Fragmentação Lascagem Dissolução	Colonização biológica Manchas Descoloração Descascamento Empolamento	Manchas Erosão	ANOMAILAS NAS UNIDADES DE ARGAMASSA E REVESTIMENTO

Quadro 5.1: Mecanismos de deterioração das alvenarias e anomalias a eles associadas (Cóias, V., 2009)

6. PADRÕES DE ALTERAÇÃO DA PEDRA

Antes de qualquer avaliação deve-se apelar à compreensão dos termos gerais associados aos padrões de deterioração de pedra. Segundo o ICOMOS (ICOMOS, 2008), são eles:

- Alteração: modificação do material que não implica necessariamente o agravamento das suas características do ponto de vista da conservação. No entanto a aplicação de uma camada reversível numa pedra poderá ser considerada uma alteração;
- Dano: percepção humana da perda de valor devido à deterioração;
- Deterioração: qualquer modificação química ou física das propriedades intrínsecas da pedra que levam a uma perda de valor ou uma incapacidade de uso;
- Degradação: diminuição das condições das capacidades funcionais e qualitativas;
- Deterioração: processo de agravamento da qualidade, valor, características, etc.;
- Desagregação: Processo químico ou mecânico através do qual cada pedra é exposta sobre alteração de características e deterioração.

De entre as várias patologias apresentadas ao nível da pedra em monumentos pode-se distinguir cinco grandes grupos de patologias:

- Fissuração e deformação;
- Destacamento e empolamento;
- Características induzidas por perda de material;
- Alteração cromática e deposição superficial;
- Colonização biológica.

Posteriormente serão aprofundados estes grupos de patologias, de modo a perceber melhor como se formam e quais as características necessárias para a sua identificação. No anexo B seguem imagens de algumas patologias que serão descritas e que se encontravam na Igreja do Carmo.

6.1 Fissuração e deformação

A fissuração é caracterizada pela falta de continuidade de uma rocha, resultante da separação entre duas partes, apresentando-se através de uma descontinuidade de desenvolvimento limitado, fina e visível a olho nu. Ela pode apresentar vários tamanhos, mas nunca é aberta e pelo menos uma das extremidades não atinge os limites do objeto em análise. Na sua origem encontra-se a acumulação de tensões num ponto agregado da pedra sendo que esforço de tração nesse ponto excede a resistência local do material. Também podem ocorrer fissuras de descompressão, que resultam do período imediatamente após a pedra estar sujeita a carga elevada. As fissuras de maior desenvolvimento chamam-se fraturas/fendas e dividem o objeto

em análise em duas partes distintas, criando uma superfície de rotura. Em construções de alvenaria de pedra a maior parte das fendas resultam de assentamentos diferenciais de fundações e afetam principalmente os andares superiores das estruturas, aumentando de dimensão da base para o topo. Para além deste tipo de fissuras mais desenvolvidas existem outros tipos, tais como as fissuras em forma de estrela que podem ser resultantes de algum impacto mecânico pontual, e as fissuras *fio de cabelo* que apresentam uma largura não superior a 0,1 mm. No caso de existir uma malha de microfissuras podemos chamar este padrão de *craquelé*. (Barros, L., 2001; Henriques, F., 2005; ICOMOS, 2008).

A deformação consiste na alteração da forma de um elemento sem perder a integridade, podendo levar à flexão e à torção deste. Este padrão de deformação é mais comum em mármore (ICOMOS, 2008).

6.2 Destacamento e empolamento

O destacamento consiste na perda de continuidade entre camadas superficiais do material relativamente ao seu substrato. No caso de elementos de pedra natural, muitas vezes assumem formas específicas em função das suas características estruturais e texturais (NORMAL 1/88, 1990). O empolamento de camadas decorre do aparecimento de bolhas na superfície da pedra e é caracterizado pela elevação do material num determinado local, sob a forma de bolhas ou ampolas de variadas consistências (Barros, L., 2001).

Estas elevações que surgem na pedra não estão relacionadas com a sua estrutura, estando em algumas circunstâncias ligadas à ação de sais. Numa fase mais avançada estas bolhas superficiais evoluem para um estado onde existe uma maior elevação da superfície com forma e consistência variável. Se estas camadas que se destacam tiverem uma espessura compreendida entre 1 a 20 mm, de extensão reduzida, com a mesma direção da superfície da pedra, independentemente da estrutura petrográfica, estamos na presença de um padrão de escamação. As escamas são irregulares quer em forma, quer em espessura e variam de tamanho (Barros, L., 2001; Henriques, F., 2005; ICOMOS, 2008).

No caso de algumas pedras laminares, como a maioria de rochas sedimentares e algumas metamórficas, pode ocorrer a delaminação. Este estado é caracterizado pela separação física da pedra em uma ou mais camadas ou lâminas, onde estas apresentam uma orientação e espessura variada. A delaminação, ao contrário da escamação, é um tipo de destacamento que depende da estrutura da pedra. Este processo de delaminação ocorre, sobretudo, devido à insolação e a fortes variações de temperatura (ICOMOS, 2008).

No caso de uma pequena solicitação mecânica pode ocorrer o destacamento de pequenos grãos ou agregados destes, levando à perda de coesão que afeta a superfície da pedra num processo denominado de desintegração. Quando estes grãos são fragmentos arenosos de dimensões inferiores a 2mm e se destacam, sem nenhuma solicitação aparente na forma de pó ou grãos, pode-se dizer que ocorre um a desintegração granular ou pulverização. Muitas vezes os detritos desta desintegração encontram-se no limite inferior da parede, devido à maior deterioração existente na base desta. No caso de ocorrência de rutura total ou parcial de uma pedra, dando origem a outras partículas de forma, espessura e volume distintos, pode-se dizer que ocorreu a fragmentação da pedra (ICOMOS, 2008).

6.3 Características induzidas por pedra de material

A alveolização consiste na deterioração que leva à formação de várias cavidades na pedra e apresentam diversos tamanhos e formas, as quais chamamos de alvéolos, normalmente profundos. Na origem destas cavidades podem estar a degradação por sais. Os alvéolos podem estar interligados ou isolados uns dos outros, estando estas aberturas viradas para o exterior e apresentando uma dimensão sub-centimétrica (Barros, L., 2001; ICOMOS, 2008).

O padrão apresentado pelo processo de alveolização, não deve ser confundido com o padrão apresentado nas designadas *microkarst*. Estas correspondem a uma rede de pequenas cavidades que se desenvolvem numa malha com o mesmo aspeto de uma malha hidrográfica a uma escala milimétrica ou centimétrica. Os alvéolos apresentam a mesma forma mas são maiores, apresentando-se a uma escala centimétrica. O padrão apresentado pelas *microkarst* deve-se ao processo de dissolução da pedra calcária quando exposta a água. A dissolução é um fenómeno importante que afeta as rochas carbonatadas, como calcários, mármore, arenitos calcários, e consiste numa perda de massa por parte das rochas devido à dissolução de carbonato de cálcio pela água das chuvas, que se transforma em hidrogenocarbonato de cálcio. Há um recuo generalizado da superfície da pedra, devido à formação de cavidades e de zonas claras, resultantes da precipitação e cristalização da calcite a partir da solução de hidrogenocarbonato de cálcio (Barros, L., 2001; Begonha, A. et al, 2012; ICOMOS, 2008).

O processo de erosão é um dos maiores responsáveis pelo desgaste das rochas dos monumentos e pode-se dever a processos de naturezas distintas. A erosão corresponde ao desgaste evidenciado da pedra quando sujeita à ação de agentes de diferentes naturezas e onde há perda de massa por parte desta. Os agentes podem ser de várias naturezas. No caso de esta ser química ou biológica diz-se erosão “por corrosão”. No caso de o agente ser de natureza mecânica, como por exemplo partículas arrastadas pelo vento que provocam o desgaste e fricção na pedra, diz-se erosão “por abrasão”. Quando o agente é o próprio Homem diz-se *usura* (Barros, L., 2001). Contudo as pedras podem estar simultaneamente sobre a ação

erosiva de todos estes agentes. O processo de erosão leva a uma maior suavidade da superfície da pedra e a arestas menos pronunciadas e ainda, no caso de a erosão não ocorrer ao mesmo tempo numa área que noutra, assume uma morfologia distinta das áreas circundantes. A erosão neste caso diz-se erosão diferencial (Henriques, F., 2005).

A pedra pode apresentar um padrão puntiforme, preenchido por vários furos, normalmente de forma cilíndrica ou cónica, onde o diâmetro não passa de alguns milímetros e não estão interligados na grande maioria dos casos. Este padrão é chamado de *pitting* ou picamento (ICOMOS, 2008).

6.4 Deposição superficial e alteração cromática

A deposição superficial consiste na deposição e acumulação de material estranho de variadas naturezas sobre a superfície da pedra. Geralmente tem uma fraca coerência e pouca aderência aos materiais subjacentes, sendo a espessura deste depósito variável (Henriques, F., 2005; ICOMOS, 2008).

As crostas são um padrão característico de um tipo de deposição superficial onde, a partir de materiais diferentes do substrato da rocha, e através de processos físico-químicos já abordados, formam-se camadas compactas às quais chamamos crostas. Diferenciam-se do substrato pelas características morfológicas, pela cor e o seu aspeto é algo pulverizado e/ou desagregado. Estas crostas podem ser de cor negra ou branca, dependendo da sua origem. As crostas brancas são compostas por sais solúveis, que se desenvolvem com elevadas concentrações de sais associados e ciclos de molhagem e secagem ao longo do tempo. As crostas negras geralmente podem ser encontradas em zonas abrigadas das águas das chuvas e aderem fortemente ao substrato. A superfície das crostas negras é mais ou menos irregular e normalmente não acompanha a rugosidade superficial das pedras que recobre, tendo uma espessura compreendida entre 0,05 e 10 mm. As crostas negras mais espessas apresentam superfície com relevo com forma dendrítica característica. Apesar de não afetarem o substrato estas crostas têm tendência para empolar, rebentar e cair, levando consigo sempre algum material pétreo (Barros, L., 2001; Begonha, A. et al, 2012; ICOMOS, 2008).

A alteração cromática é caracterizada pela mudança de cor ou tonalidade de um determinado elemento. Existe uma mudança de cor, entre um até três dos parâmetros que a definem e que são: matiz, saturação e valor. O matiz é a característica mais evidente a qual corresponde à cor (azul, amarelo, verde, etc.). A saturação corresponde à intensidade que essa cor apresenta e o valor corresponde à pureza da cor (Henriques, F., 2005; ICOMOS, 2008). Dentro da alteração cromática podemos considerar vários casos tais como o branqueamento, as manchas de humidade e a coloração. O branqueamento deve-se à desagregação química dos minerais,

como a redução do ferro ou do manganês, ou por processos de lixiviação e lavagem, todos muito superficiais, e caracteriza-se por uma tonalidade mais clara e esbranquiçada. Ocorre com maior frequência em mármore. Também ocorre alteração cromática quando se tratam de manchas de humidade, onde ocorre um escurecimento da superfície da pedra devido. A coloração caracteriza-se por uma descoloração localizada e de mau aspeto (ICOMOS, 2008).

As eflorescências são depósitos brandos cristalinos de cor esbranquiçada, que se formam na superfície da pedra, de aspeto pulveriforme ou filamentosos. Resultam de um processo de cristalização à superfície da pedra de sais solúveis, transportados por capilaridade e depositados por evaporação. Os sais cristalizam quando a humidade relativa diminui. Estes depósitos não são estáveis uma vez que se alteram ao longo do tempo em função da humidade e da temperatura ambiente. Quando os sais cristalizam no seio do material, estamos na presença de criptoflorescências ou subflorescências, e levam à formação de bolhas ou destacamento de material. Os depósitos cristalinos apresentam fraca coesão, sendo agregados granulares, filamentosos e/ou pulveriformes. As eflorescências têm fraca ligação com o substrato e as pedras onde estas se desenvolvem apresentam-se normalmente afetadas por desagregação granular acentuadas e traduzem intensas condições de evaporação das soluções existentes no meio poroso. Por vezes as eflorescências são confundidas com depósitos, no entanto as eflorescências tem origem na própria pedra ao contrário dos depósitos que tem origem exógena (Barros, L., 2001; Begonha, A. et al, 2012; ICOMOS, 2008).

O fenómeno de incrustação consiste na formação de depósitos estratiformes e compactos que se acumulam na superfície da pedra, resultam quer de alterações das propriedades internas das crostas, quer da acumulação de materiais exógenos. As incrustações aderem fortemente à superfície da pedra, tanto que quando estas incrustações são removidas, pode igualmente ser removido algum material original da pedra. Elas podem ser encontradas em zonas onde ocorre passagem da água (Barros, L., 2001; ICOMOS, 2008).

A chamada película ou filme também pode ser considerada um tipo de fenómeno de deposição. Esta é composta por uma fina camada homogénea, geralmente de natureza orgânica, constituída por substâncias coerentes e exógenas. A camada da película adere mas não penetra no substrato, podendo assim alterar determinadas propriedades da pedra. Por vezes a película formada pode ainda ser algo transparente e reflete a luz dando um aspeto polido à pedra (Barros, L., 2001; ICOMOS, 2008).

A pátina é outro tipo de padrão de alteração cromática que surge devido ao envelhecimento natural da pedra. Quanto à sua origem, pode dividir-se em duas categorias: ferrosas e oxalatas. As ferrosas, que são encontradas em ambientes exteriores, são camadas de cor negra ou escura, sendo enriquecidas em ferro ou minerais de argila, presentes nos arenitos. As do tipo

oxalato são camadas enriquecidas em oxalato de cálcio de uma tonalidade que varia entre o alaranjado ao acastanhado. Este tipo de pátina pode ser encontrado em ambientes exteriores, com maior incidência em mármore ou pedras calcárias (Barros, L., 2001; ICOMOS, 2008).

6.5 Colonização biológica

A colonização biológica é um fenómeno que comumente atinge as pedras dos monumentos históricos. Esta consiste no crescimento e proliferação de microrganismo, algas, musgos, líquenes e bolores que encontram nas pedras um meio para se desenvolverem e obterem nutrientes necessários, adotando uma coloração diversa. A humidade e a porosidade do substrato são essenciais para o desenvolvimento destes organismos. A proliferação dá-se por entre as cavidades das pedras (Henriques, F., 2005; ICOMOS, 2008).

As algas são organismos vegetais microscópicos, sem raízes ou folhas, presentes em ambientes interiores e exteriores, apresentando um aspeto poeirento ou viscoso. São normalmente encontradas em zonas que se encontram humedecidas por longos períodos de tempo. No caso dos monumentos, as algas apresentam-se em feixes unicelulares ou pluricelulares, e nunca formam macrorganismos. Estas muitas vezes são constituídas por películas superficiais (ICOMOS, 2008).

Os líquenes são organismos vegetais de forma arredondada, que variam entre uma escala milimétrica e centimétrica. São mais comuns em pedras expostas a ambientes exteriores e, apesar de se desenvolverem mais em meios com ar pouco poluído, podem desenvolver-se bastante sobre a ação de determinados poluentes (ICOMOS, 2008).

Os musgos são organismos vegetais de reduzido tamanho, macios e verdes. Têm o aspeto de uma camada densa de pequenas folhas, que se organizam muito compactamente. Desenvolvem-se em cavidades, fissuras e algum local de elevada humidade e sombrio (ICOMOS, 2008).

O bolor é um fungo microscópico, que se apresenta em colónias de bolores, apresentando o aspeto de uma película macia ou de uma rede de filamentos milimétricos de várias cores e em forma de estrela (ICOMOS, 2008).

7. CASO DE ESTUDO

7.1 Enquadramento

O Colégio de Nossa Senhora do Carmo, localizado na Rua da Sofia, em Coimbra, é o caso de estudo da presente dissertação. Inserido numa zona recentemente promovida a Património Mundial, pela UNESCO, é de todo o sentido que se faça uma breve abordagem do local onde o edifício se encontra assim como alguma informação sobre a sua origem. Uma vez que não se pode estudar um edifício sem caracterizar o local físico onde este se insere também é pertinente que se aborde o clima e as condições de exposição onde este se encontra por forma a uma avaliação mais consistente e clara do estado de conservação que este apresenta.

7.1.1 A Igreja do Carmo

O segundo colégio na Rua da Sofia, do lado da Igreja de Santa Cruz, é o Colégio do Carmo. Neste colégio situa-se a igreja privativa, a Igreja do Carmo. Esta tomou como nome inicial Igreja de Nossa Senhora da Conceição do Carmo de Coimbra, mais tarde o seu nome foi alterado para Igreja do Carmo e pertencendo inicialmente à Ordem do Carmo. As suas outras instalações, anteriormente destinadas a zona residencial de alunos e serventuários, são hoje ocupadas por um lar de idosos e uma casa para sem abrigos, sendo propriedade da Ordem Terceira de São Francisco. A Igreja do Carmo iniciou a sua construção em 1540 por iniciação de D. Frei Baltasar Limpo, Bispo do Porto, para que os clérigos da sua diocese pudessem estudar em Coimbra. Posteriormente o bispo do Porto doou-a aos religiosos da Ordem do Carmo de Portugal. A Igreja do Carmo data de 1597 e o claustro anexo de 1600. O processo de construção do colégio divide-se em duas etapas. Na primeira etapa foi construído o noviciado, de autoria do arquiteto Diogo Castilho, para acolher a comunidade e foi concluído em 1548. A segunda etapa da obra, iniciada na década de noventa, engloba a construção da igreja colegial e do claustro entre 1597 e 1600, por D. Frei Amador Arrais. Esta obra teve como mestre de obra o arquiteto Francisco Fernandes, sendo-lhe atribuída a autoria do projeto da Igreja, e que mais tarde seria nomeado mestre-de-obras da cidade de Coimbra. Em 1571 o Colégio do Carmo foi incorporado na Universidade de Coimbra (ANTT @ 2014;Dias, P., 1995).

A fachada da Igreja resulta de uma corrente arquitetónica citadina do séc. XVI. É uma fachada corrente, plana, possui três grandes arcos na zona inferior e ladeada por pilastras dóricas, abrigados por um átrio coberto com uma escadaria no seu interior. As suas aberturas apresentavam um equilíbrio diferente e mais perfeito até ao ano de 1854 quando se rasgou a

escadaria central, onde antes se encontrava um plano alto, processando-se a entrada pelos arcos laterais, que ainda apresentam as antigas grades. Na parte inferior da Igreja encontram-se três portas, uma maior, a principal que contém um frontão triangular, e duas laterais mais pequenas de moldura reta simples. A zona intermédia da fachada possui três janelas, uma janela maior ao meio de moldura simples, ladeada por duas janelas mais pequenas abertas até meio da moldura. Estas janelas laterais são decoradas na sua parte inferior com pedras de armas do bispo construtor, D. Frei Amador Arrais, pertencente às da Ordem Carmelita (Correia, V. e Gonçalves, N., 1947; DGPC @ 2014 e). A pedra das armas do lado esquerdo tem a seguinte inscrição:

“A.D.AMATORE.EPO.PORTALEG.CONSTRVCTVM.1579”.

A pedra das armas do lado direito tem seguinte inscrição:

“IN.HONORE.BEATISSIMAE.VIRGINIS.DEMÔTE.CARM.”

A zona superior é delimitada por duas torres sineiras, que possuem entre elas um corpo de forma triangular, e é delimitada inferiormente por uma cornija. Este frontão possui três janelas, sendo a do centro encimada por um nicho retangular com a imagem de Nossa Senhora da Conceição. Esta divisão em zonas da fachada da Igreja do Carmo, encontra-se representada na Figura 7.1



Figura 7.1: Representação das diferentes zonas da fachada da Igreja do Carmo(A:zona superior; B:zona intermédia; C:zona inferior).

7.1.2 A Rua da Sofia

A rua da Sofia foi construída em 1535 com o objetivo de instalar a Universidade em Coimbra, depois de esta se ter instalado em Lisboa. A formalização da fixação da Universidade em Coimbra ocorreu a 1 de Março de 1537. Assim se promoveu Coimbra a um estatuto único no país e raro mundialmente: sede dos estudos gerais do Império Português. Foram várias as alterações propostas ao plano original, que incluía um colégio principal, cinco colégios menores e dormitórios. Ocorreram problemas como o mau planeamento da Rua, as expectativas baixas quanto à sua previsão de sucesso, a falta de meios próprios de investimento, a avaliação pouco cuidada do seu potencial e de investimento privado e o seu experimentalismo atrasaram o desenvolvimento e o destaque do projeto. Apesar de alguns desenvolvimentos as características essenciais do sistema universitário português foram mantidas até à Reforma Pombalina de 1772. No decorrer desta Reforma ocorreu o estabelecimento da Universidade em expansão segundo uma rua nova, a rua da Sofia, acompanhado da necessidade de se ocuparem os edifícios já existentes na Alta e ocupar terrenos vagos. Em Outubro de 1573, o rei decidiu que os estudos gerais se fixariam na Alta e que na Rua da Sofia se fixariam os colégios religiosos e residências (Rosa, W., 2006).

Com o tempo a Rua foi passada para segundo plano no âmbito universitário assumindo um papel mais urbano e servindo como local de descongestionamento do acesso norte à cidade. No lado da Rua da Sofia mais próximo a Montarroio instalaram-se os colégios e do outro lado construíram-se habitações. Em rigor a Universidade nunca se fixou na Rua da Sofia, apesar de ter sido aberta para o efeito. A Rua da Sofia deve ser olhada como um foco arquitetónico e urbanístico, e um local de expansão de uma cidade sufocada, onde se desenvolveu uma artéria importante na cidade, obrigando à remoção de um volume considerável de aterro para a sua construção, o reajuste dos acessos a Montarroio e a expropriação de grandes áreas de terrenos. Até aos dias de hoje a Rua da Sofia mantém intacta a sua importância não só toponímica mas também urbanística, cultural e ideológica (Rosa, W., 2006).

7.1.3 O enquadramento climático da Igreja

A cidade de Coimbra numa escala macroclimática encontra-se inserida num domínio Mediterrâneo mas com uma grande influência atlântica, devido à sua proximidade com o Oceano Atlântico (Fialho, J. et al, 2010). A cidade encontra-se sobre a fachada atlântica da Península Ibérica, na região centro de Portugal Continental, a aproximadamente 40 km do litoral ocidental e situada a uma latitude sensivelmente 40°N. Num contexto morfológico a intensa fracturação e a ação modeladora do rio Mondego são características fundamentais na caracterização do espaço físico. No Inverno as temperaturas rondam os 15°C diurno e os 5°C

noturnos, no mês mais frio. No Verão as temperaturas rondam entre os 29°C diurno e os 15°C noturno (IPMA @ 2014).

O local onde a Igreja do Carmo se insere é considerado como zona urbana da cidade. As zonas urbanas interferem nas características climáticas locais, onde se cria um campo de temperaturas próprio. Na construção urbana ocorre a substituição da cobertura natural do solo por materiais de construção como a pedra, o asfalto ou o cimento resultando alterações urbanas e alterações da atmosfera, devido à atividade humana que ali se estabelece. A alteração da composição atmosférica deve-se principalmente à atividade industrial, à combustão doméstica e à circulação de veículos. A alteração urbana que ocorre, nomeadamente a sua geometria, leva a que o solo receba menos radiação direta devido ao efeito de sombra que os edifícios apresentam. Também devido à impermeabilização do solo e à menor quantidade de espaços verdes ocorre uma diminuição da quantidade de água transferível para a atmosfera quando comparada com um espaço não urbano. Quanto à circulação de ar, quando este passa pela cidade e aliado ao aumento da rugosidade superficial, ou seja, um aumento de atrito, a velocidade do vento aumenta quando são atingidos valores abaixo do limite crítico, quando comparado com um espaço não urbano (Silva, N., 1998).

No presente caso, a Igreja do Carmo insere-se no centro urbano de Coimbra, nomeadamente na Rua da Sofia, uma grande via de tráfego rodoviário da cidade. Por isso mesmo a Igreja encontra-se exposta a elevados índices de poluição atmosférica devido à existência de produtos provenientes da combustão de combustíveis fósseis e que se depositam na superfície da pedra calcária. No que respeita à exposição solar a fachada encontra-se voltada a Sudoeste. Isto faz com que o lado mais a Oeste da fachada seja aquele que menor quantidade de luz solar recebe, sendo mais húmido, com menor temperatura e apresentando uma maior tendência para o aparecimento de musgos, líquenes e plantas. A elevada humidade é uma característica típica do clima de Coimbra. Esta é prejudicial à pedra de Ançã uma vez que esta é bastante porosa, refletindo-se em várias patologias observáveis na fachada da Igreja do Carmo.

7.2 Método de análise de patologias

O mapeamento de patologias e a avaliação de cada um dos seus níveis isoladamente tem-se demonstrado uma ferramenta útil e eficaz na compreensão e identificação de técnicas de reabilitação de edifícios históricos. Esta técnica de análise tem a vantagem de ser uma técnica não destrutiva, sustentável que pode ser aplicada em todo o tipo de pedras e a todos os tipos de monumentos. A análise *in situ* é um contributo importante para este tipo de avaliação. Seguidamente será apresentado o método de avaliação e mapeamento de patologias desenvolvido por Bernd Fitzner (WGNSW @ 2014).O procedimento de avaliação do estado

de deterioração de um edifício deve ser dividido em três importantes fases e interdependentes entre elas, são elas: a *anamnesis*, a *diagnosis* e a *therapeutical steps*.

A fase *anamnesis* engloba toda a informação relativa à identificação do monumento em estudo, a sua localização, a descrição artística do mesmo, a história da sua construção e a descrição do ambiente onde este se encontra inserido. Esta informação pode ser obtida através de arquivos como desenhos, plantas, mapas, fotografias, publicações ou outros tipos de documentos, ou depoimentos de profissionais ligados ao edifício, depoimentos de autoridades ou instituições que possam fornecer informações sobre o ambiente e a própria observação em si. Com esta fase pretende-se uma maior compreensão do edifício e o seu estado de deterioração (Fitzner, B., 2004;Fitzner, B. e Heinrichs, K.,2012)

A fase *diagnosis* faz uso da informação adquirida na fase *anamnesis* e engloba a avaliação, interpretação e quantificação da deterioração dos materiais envolvidos no diagnóstico, tendo conhecimento prévio dos agentes de deterioração, os materiais envolvidos e suas características e os processos que estão por base da deterioração. A metodologia aplicada nesta fase combina três etapas fundamentais de diagnóstico, realizado de três maneiras diferentes: investigação *in situ*, análises laboratoriais e simulação das condições de exposição. Deve-se ter em conta as diferentes escalas de deterioração que podem ir da deterioração não visível (nanoescala) até à deterioração que afeta a fachada por completo ou até mesmo todo o edifício (macroescala). As três etapas referidas anteriormente são essencialmente aplicadas a nanoescalas, microescalas, e mesoescalas de padrões de deterioração. As avaliações *in situ* são adequadas para a obtenção de padrões de deterioração entre a mesoescala e a macroescala. Um diagnóstico profundo representa uma maior aproximação de uma reabilitação sustentável do edifício, sendo esta uma etapa fundamental para o processo (Fitzner, B. e Heinrichs, K.,2012;Fitzner, B. et al, 2002).

A fase *therapeutical steps* engloba a parte da conceção, cálculos, testes, execução e controlo das medidas de conservação dos materiais e a sua manutenção a longo termo. Esta fase deve ter por base todo o trabalho desenvolvido na fase *diagnosis* e *anamnesis* de modo a que o tratamento e a orçamentação da obra possam ser feitos. Algumas das medidas de tratamento realizadas durante esta fase podem ser (Fitzner, B. e Heinrichs, K.,2012):

- Medidas de salvaguarda imediatas;
- Limpeza;
- Dessalinização;
- Reparação da pedra;
- Recolocação da pedra;
- Proteção superficial.

A proteção superficial engloba tratamentos de consolidação, revestimento da superfície tratada, hidrofobização e controlo da colonização biológica. A fase “*anamnesis*” já foi realizada no início deste capítulo, sendo de seguida elaboradas as duas fases restantes. Na fase “*diagnosis*” de entre as três etapas fundamentais, optámos apenas por realizar a investigação *in situ*, uma vez que as outras duas etapas requereriam mais tempo disponível e uma maior complexidade, quer de equipamentos quer de processos, que não se justifica dentro do contexto desta dissertação de mestrado, onde o tempo disponível para a sua elaboração é relativamente curto para um trabalho de tamanha complexidade (Fitzner, B. e Heinrichs, K.,2012). As atividades inseridas na investigação *in situ* são: mapeamento dos monumentos, medições e amostragem.

A experiência demonstra que a investigação direta de fatores e de processos de deterioração da pedra são tarefas difíceis, demoradas e caras. Muitas vezes os resultados são insatisfatórios e insuficientes. O conhecimento profundo das características de deterioração permite retirar informações sobre os processos e os seus fatores de deterioração, e ainda seleccionar estudos complementares adequados. O mapeamento do edifício é um método não destrutivo para o registo, documentação e avaliação precisos dos tipos litológicos e dos tipos de patologias apresentados. Este método tem uma grande aceitação internacional. O mapeamento litológico deve representar a distribuição e caracterização petrográfica do edifício ou do elemento analisado. O mapeamento das classes de patologias identificadas, bloco a bloco, deve representar as patologias presentes em cada um deles, podendo ser realizado em qualquer tipo de elemento de pedra (Fitzner, B. et al, 2002). A classe de patologias pode-se dividir segundo a Figura 7.2.

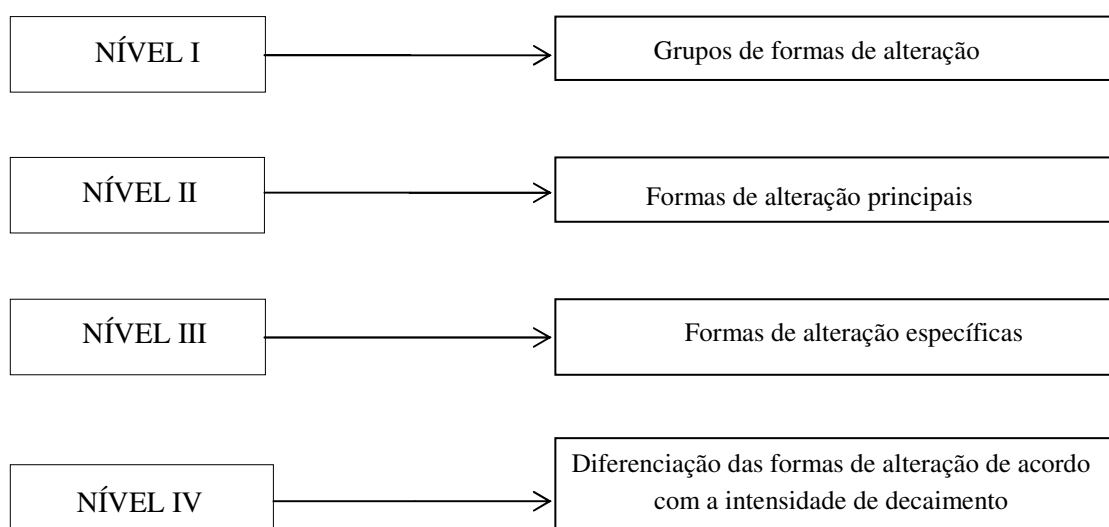


Figura 7.2 Níveis de classificação das formas de deterioração.

Os grupos de formas de alteração, relativos ao nível I, são:

- Perda de material pétreo;
- Descoloração / depósito;
- Destacamento de material pétreo;
- Fissuração / deformação.

O mapeamento geral possibilita uma caracterização até ao nível II. No entanto um mapeamento mais detalhado possibilita um registo, de cada bloco, até aos níveis III e IV. Para complementar da melhor forma este mapeamento, deve-se ainda fazer um mapeamento das categorias de decaimento, de modo a observar a distribuição e a intensidade de meteorização das diversas patologias em todo o edifício ou elemento analisado (Barros, L., 2001;Fitzner, B. e Heinrichs, K.,2012). As categorias de deterioração são usadas para a descrição da intensidade do fenómeno de alteração da pedra. São definidas seis categorias de deterioração, que vão do índice 0 ao índice 5, como se representa de seguida no Quadro 7.1.

NÍVEL	DESCRIÇÃO
0	Sem deterioração visível
1	Deterioração muito ligeira
2	Deterioração ligeira
3	Deterioração moderada
4	Deterioração severa
5	Deterioração muito severa

Quadro 7.1: Categorias de deterioração.

Os índices de deterioração são obtidos através das categorias de deterioração. Estes índices permitem a comparação de estados de deterioração entre monumentos ou edifícios distintos. Esta comparação é feita através da diferença entre o índice de deterioração linear e o progressivo, que aumentam na mesma proporção quando aumenta a categoria de deterioração. O uso destes índices contribui principalmente para classificação e comparação de materiais pétreos quanto à sua maior ou menor propensão para a meteorização, refletindo posteriormente a eminência de uma intervenção. Deste modo estes índices são ferramentas fundamentais para a formulação de medidas de preservação e conservação. Foi definido deste modo por Fitzner, Heinrichs e La Bouchardiere, a seguinte forma de cálculo dos índices de deterioração, como se apresenta na Figura 7.3.

LINEAR DAMAGE INDEX	PROGRESSIVE DAMAGE INDEX
$DI_{lin} =$	$DI_{prog} =$
$\frac{(A \cdot 0) + (B \cdot 1) + (C \cdot 2) + (D \cdot 3) + (E \cdot 4) + (F \cdot 5)}{100}$	$\frac{\sqrt{(A \cdot 0^2) + (B \cdot 1^2) + (C \cdot 2^2) + (D \cdot 3^2) + (E \cdot 4^2) + (F \cdot 5^2)}}{100}$
↓	↓
$\frac{B + (C \cdot 2) + (D \cdot 3) + (E \cdot 4) + (F \cdot 5)}{100}$	$\frac{\sqrt{B + (C \cdot 4) + (D \cdot 9) + (E \cdot 16) + (F \cdot 25)}}{100}$
A = Area (%) – damage category 0 B = Area (%) – damage category 1 C = Area (%) – damage category 2	D = Area (%) – damage category 3 E = Area (%) – damage category 4 F = Area (%) – damage category 5

$$\sum_A^F = 100$$

Figura 7.3: Cálculo dos índices de deterioração (Fitzner, B. et al, 2002).

Uma vez que os monumentos históricos são geralmente construídos por vários tipos de pedras, provenientes de várias pedreiras, é necessário conhecer que tipos de pedras se encontram no edifício em estudo e de que pedreiras provêm. No caso de estudo presente, apesar da informação pormenorizada ser escassa, devido à antiguidade e ao reduzido número de documentos referentes a tal informação, a pedra existente na Igreja do Carmo é uma pedra do tipo calcária, já abordada e detalhadamente estudada no primeiro capítulo da presente dissertação. Devido à região onde a Igreja se encontra, o mais provável, devido à proximidade com pedreiras como a de Portunhos e Ançã, é que a pedra existente seja do tipo calcário de Ançã. A pedra originalmente usada para sua construção é uma pedra extinta uma vez que esta já esgotou as suas capacidades de extração. Por isso qualquer colocação de pedra nova não terá as mesmas características da pedra original pois não provém da mesma pedra. No entanto assumiremos uma caracterização mais lacta, e a nossa atenção será depositada no tratamento de uma pedra do tipo calcária. Com o mapeamento litológico pretende-se fazer o inventário de cada pedra existente na fachada, fazendo a sua descrição petrográfica (Barros, L., 2001).

7.3 Levantamento de Patologias

O levantamento de patologias é um trabalho de grande importância na obra de reabilitação e conservação. Por vezes, devido ao grande estado de deterioração de um edifício e à complexidade do processo subjacente, torna-se difícil a identificação correta e a distinção exata das várias patologias. Este processo ainda se torna mais complicado quando o observador não apresenta experiência na sua identificação e não dispõe dos meios necessários para a mesma.

No caso da Igreja do Carmo, a obra foi adjudicada a uma empresa de construção civil que em conjunto com uma equipa de restauro, contratada pela Direção Regional da Cultura do Centro, ficou encarregue da realização da obra de reabilitação da fachada da Igreja. Comparecemos a reuniões no próprio local, entre as várias especialidades envolvidas no processo, seguida de uma avaliação dos problemas maiores apresentados pela Igreja. Realizámos o acompanhamento da obra para a elaboração de uma dissertação mais completa e profunda. Foi possível o acompanhamento dos trabalhos realizados pela equipa de restauro e de testes de aferição das melhores soluções, contribuindo assim para uma melhor explicação dos processos possíveis e das propostas apresentadas posteriormente na presente dissertação. Na avaliação de patologias, para uma descrição mais simples de modo a que o leitor compreenda melhor a sua descrição, decidiu-se dividir a fachada em três zonas horizontais consoante a descrição feita anteriormente no subcapítulo onde se faz a apresentação da Igreja do Carmo da presente dissertação e como se demonstra na figura (*), anteriormente apresentada.

7.3.1 Zona superior

A zona superior apresenta uma tonalidade mais escura que qualquer umas das outras zonas da fachada. Enquanto as outras zonas apresentam uma tonalidade mais clara, mais próxima da tonalidade original da pedra, a zona superior é caracterizada por uma tonalidade acinzentada principalmente na zona superior das torres sineiras, como se verifica na Figura 7.4. Esta tonalidade deve-se à presença de pátina e filme negro.



Figura 7.4: Zona superior da Igreja do Carmo.

Nos frisos que delimitam inferior e superiormente o frontão e as torres sineiras há a ausência de partes destes ou por queda ou perda, ou seja, uma lacuna de material. Nestes mesmos frisos, principalmente os que delimitam superiormente as torres sineiras e aquele que delimita inferiormente o frontão, existe a presença evidente de colonização biológica por parte de

musgos e líquenes, e um pouco por toda a sua extensão há o desenvolvimento de plantas superiores e vegetação, como se verifica na Figura 7.5. Na parte central do frontão que delimita lateralmente a janela maior, a pedra aparenta um padrão de *pitting/ picamento* e em certas partes esfoliação.



Figura 7.5: Patologias presentes na torre sineira mais a Este.

Nas cantarias das janelas mais pequenas, é evidente a existência de esmagamento de juntas e juntas abertas, sendo que estas também se encontram em toda a fachada. A sua extensão e desenvolvimento podem ser confirmados pelo interior uma vez que atravessam a parede, como pode ser verificado na figura Figura 7.6. Esta ocorrência, evidente ao longo da fachada, tem possivelmente origem no sismo de 1969. O esmagamento das juntas de cantaria corresponde à existência de esforços de compressão de tal ordem que levaram à quebra dos bordos das cantarias.



Figura 7.6: Pormenor de patologias apresentadas na zona superior da Igreja.

7.3.2 Zona intermédia

A zona intermédia apresenta uma tonalidade mais próxima da tonalidade original da pedra calcária. Destacam-se as três janelas centrais, uma maior que ocupa a parte central desta zona e duas laterais, que são delimitadas inferiormente pelos brasões esculpidos na pedra. Em toda a sua extensão verifica-se a existência de pátina de uma tonalidade acastanhada, sendo bastante evidente esta patologia nos brasões esculpidos. No friso que limita inferiormente as janelas, é visível a presença de colonização biológica por alguns líquenes e plantas de pequeno porte. Numa parte pequena, por cima da coroa do brasão, encontramos pequenas crostas negras assim como no friso que a delimita superiormente, como é demonstrado na Figura 7.7.

Esta zona também sofreu o mesmo impacto que a zona anteriormente referida devido ao sismo. A presença de juntas abertas é visível na cantaria da janela maior e que se estende pelas pedras segundo superiores e inferiores como se pode observar pela Figura 7.7. Algumas destas juntas foram anteriormente fechadas com argamassa, provavelmente por problemas de infiltrações de água, outras permanecem abertas. Na cantaria da janela principal são visíveis

reparações com argamassa cimentícia. A parte superior desta zona, mais especificamente na zona por baixo do friso superior encontra-se pátina e algumas crostas negras.

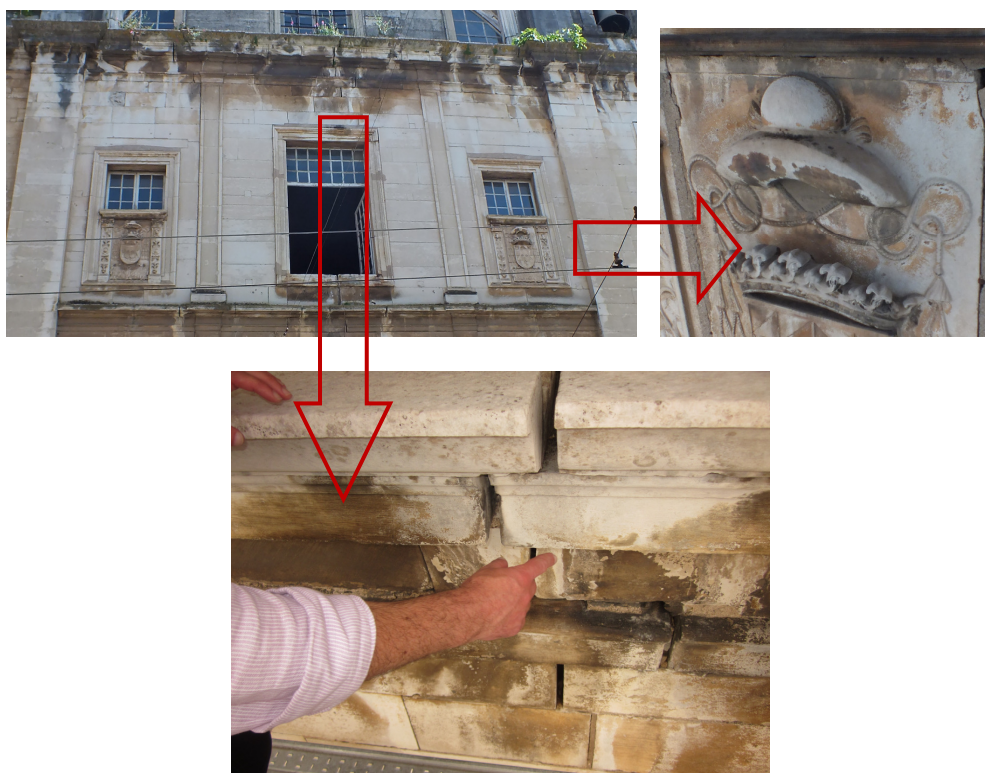


Figura 7.7: Pormenor de patologias apresentadas na zona intermédia da Igreja.

7.3.3 Zona inferior

Em toda a extensão da zona inferior, a pátina e filmes são uma patologia constante. É visível a degradação da pedra nas zonas inferiores, pela presença de delaminação e destacamentos da mesma, e até mesmo algumas lacunas. O *pitting* ou picamento também se encontra presente e, embora pontualmente e de reduzida extensão, são observados alguns padrões de alveolização como se demonstra no lado direito da figura. A colonização biológica é visível na zona inferior das colunas da fachada e na parte superior dos arcos, uma vez que estes são locais pouco abrigados e por isso mesmo, facilmente atacados por microrganismos, também visível do lado esquerdo da Igreja como se demonstra na Figura 7.8, onde também se encontram crostas negras.

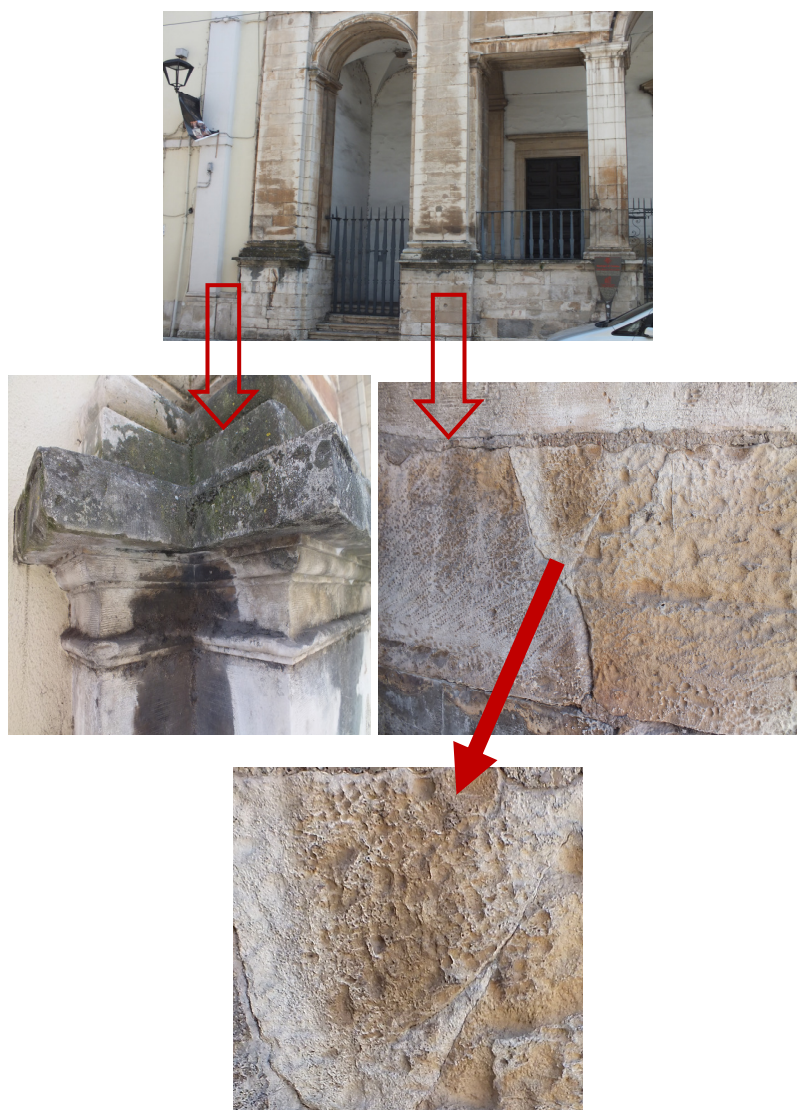


Figura 7.8: Pormenor de patologias apresentadas na zona inferior da Igreja.

Nesta zona também existe a presença de algumas plantas superiores de fraco desenvolvimento. Na parte superior do arco central, onde se encontra a entrada principal para a igreja, não existe colonização biológica, muito provavelmente pela existência de cabos de eletricidade e lâmpadas que passam por cima do arco, que de alguma forma podem impedir o desenvolvimento de microrganismos no local. Em alguns locais na parte inferior, onde há a passagem de pessoas, é visível a adição de argamassas cimentícias. A aplicação destas argamassas não é adequada na reabilitação de monumentos uma vez que não possuem as características apropriadas para a utilização em monumentos históricos, são elas: resistência inferior à resistência da pedra, permeabilidade dissemelhante da permeabilidade da pedra, boas propriedades de fluência a baixa pressão, baixa capacidade de retração da argamassa.

Trata-se também de um material incaracterístico da época da construção da Igreja (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Devido ao sismo que se referiu anteriormente é visível a abertura de fendas na parte central e do lado esquerdo do arco central, algumas já preenchidas em intervenção anterior. O lintel que se encontra entre o arco central e o arco direito, na proximidade da torre sineira da direita apresenta a fratura que se verifica na Figura 7.9. Esta provavelmente resulta do sismo anteriormente referido, havendo um deslocamento inferior do lintel e daí uma fratura lateral e abaixamento, que não foi acompanhado pela pedra que o limitava superiormente, resultando daí uma abertura seguidamente preenchida com material. Igualmente em intervenções anteriores no lintel entre o arco e a torre sineira esquerda, também é visível o mesmo tipo de abertura e o seu preenchimento de igual modo, no entanto não ocorreu fratura do lintel mas abertura de juntas na zona em cima do lintel.



Figura 7.9: Lintel fraturado na zona inferior da Igreja.

7.4 Mapa de patologias

O mapa de patologias é um documento fundamental no trabalho de reabilitação e conservação. No presente caso de estudo realizámos um mapa de patologias da Igreja do Carmo e corrigimos alguns pontos quando a equipa de restauro forneceu um mapa realizado por eles no início da obra em suporte de papel, não sendo este o mapa oficial. O mapa patológico que realizámos encontra-se em Anexo E.

7.5 Tratamentos e trabalhos de reabilitação da fachada

Antes de qualquer tipo de intervenção é necessária a devida orientação e estudo por parte de peritos experientes na execução de boas práticas de reabilitação. A má opção ou má execução de uma atividade pode ser prejudicial para o edifício e até, em último caso, acelerar o processo de deterioração dos materiais. Muitos métodos de tratamento não se têm mostrado eficientes devido a uma aplicação indiscriminada, sem antes se conhecerem as características do suporte, o seu estado de deterioração e as causas e mecanismos que lhe deram origem, tendo por base apenas observações, por vezes erradas, incompletas ou mesmo inexistentes. Nos edifícios históricos a negligência é uma constante ameaça, e deve ser a todo o custo evitada, tendo sempre como base um estudo prévio correto e adequado (Castro, E., 1984 a).

No entanto nenhum perito, por mais experiente que seja, está imune à execução de opções erradas e que, com o passar do tempo e o aparecimento de técnicas mais desenvolvidas, essas mesmas opções possam parecer pobres à luz do conhecimento atual. É importante referir que nenhum tratamento é totalmente eficaz, uma vez que a sua ação se vai sendo diminuída, e por isso é necessário uma monitorização constante e renovações periódicas (Castro, E., 1984 b). No entanto a chave para uma boa conservação são a experiência no reconhecimento dos problemas e o seu diagnóstico, as especificações adequadas, realização do mínimo de intervenções possíveis e a grande capacidade técnica de execução no local. Isto apenas é conseguido através da coordenação das várias especialidades. Os principais tipos de tratamento sobre a pedra são:

- Limpeza;
- Pré-consolidação;
- Colagem;
- Remoção de agentes biológicos;
- Remoção de manchas;
- Aplicação de hidrorrepelente;
- Preenchimento de juntas.

Estes tipos de tratamento podem ser agrupados em três grupos principais: limpeza, consolidação e proteção. Das ações de limpeza fazem parte todas as ações de remoção de elementos que sejam prejudiciais à pedra, como sais solúveis, incrustações, micro-organismos, vegetação parasita, excremento de aves, poeiras, partículas resultantes da poluição atmosférica, etc. As ações de consolidação têm por objetivo restabelecer a coesão do material que apresenta desagregação em pó a nível superficial ou mesmo até mesmo em profundidade. As ações de proteção têm como objetivo a proteção do material tratado contra o ambiente, a aplicação de tratamentos de proteção superficiais e ainda ações de manutenção,

sendo estas últimas muitas vezes esquecidas (Castro, E., 1984 b). Alguns exemplos típicos de intervenções desaconselhadas são (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988):

- Introdução de grandes quantidades de argamassa;
- Introdução de grandes quantidades de poliéster ou resina epóxi;
- Recolocação desnecessária de pedras;
- Aumento da largura das juntas originais, e fragmentação das suas arestas através de utensílios de corte;
- Preenchimento de juntas com argamassas ricas em cimento;
- Alteração do perfil original das juntas;
- Deterioração por métodos de ar abrasivo ou discos de limpeza;
- Deterioração associada ao uso de produtos de limpeza ácidos ou alcalinos;
- Uso inapropriado de tratamentos de limpeza, como repelentes de água, consolidantes e produtos *anti graffiti* do tipo errado.

Os vários tipos de tratamentos de reabilitação executados na Igreja do Carmo serão descritos em pormenor seguidamente. Antes de se abordar este tema há que ter em consideração que qualquer ação que ser realize deve ter por base o princípio da intervenção mínima, a sua reversibilidade e que antes de se realizar qualquer ação, devem ser feitos ensaios e testes em local pouco perceptível, de modo a aferir qual o melhor modo de tratamento para o caso em estudo.

7.5.1 Ação de limpeza

A sujidade pode ser definida como: “*the material which is in the wrong place*” (Moncrieff, A. e Weaver, G., 2005). Esta pode ser classificada em duas categorias:

- Material exógeno: não pertence ao material original do edifício, incluem-se as poeiras, graxa, fuligem, que com o tempo se fixam nos materiais do edifício;
- Produtos de alteração: resultam de produtos de meteorização do material original do edifício, como é o caso da existência de sulfato de cálcio na superfície da pedra calcária, que resulta da interação da pedra com elementos presentes no ambiente circundante ao edifício.

A limpeza da pedra não deve ter como objetivo remover a sujidade proveniente da alteração mineralógica da mesma, mas sim apenas a remoção de todo o tipo de sujidades e de material exógeno, mantendo a pedra intacta e inalterada. No entanto, um aspeto negativo da limpeza das fachadas de edifícios históricos em pedra é que, com a remoção da sujidade existe sempre a remoção de uma parte da superfície da pedra, mesmo que em pequena quantidade, e além disso a sujidade pode constituir uma proteção. Assim surgem duas opiniões distintas: se por

um lado há quem defenda que a sujidade constitui uma proteção e que com a limpeza há sempre a remoção inaceitável de material perdendo-se o valor artístico, por outro lado há quem defenda que a sujidade e crostas nem sempre conferem essa mesma proteção pois até ao desprender da crosta e posterior exposição podem ocorrer deteriorações mais desastrosas (Castro, E., 1984 b). Levanta-se assim a questão de o quão pertinente e necessário é a limpeza da própria fachada. A necessidade de remoção da sujidade deve ser vista sempre segundo dois aspetos: o aspeto estético do edifício, e a “saúde” da pedra que está por debaixo da sujidade a remover. O método de limpeza ideal seria aquele que atuasse de modo seletivo na sujidade, mas tal ainda não existe, devendo ser o método a aplicar aquele que menos dano envolve para a pedra no presente contexto em estudo (Ashurst, N., 1994).

Outra questão importante no ato de limpeza parte de qual o produto final que se pretende obter com a operação, ou seja, o quão próximo do aspeto original, cor e estado se pretende que a fachada fique no final dos trabalhos de restauro e conservação. Deve-se ter em conta que o resultado da limpeza da pedra não será igual em toda a extensão da fachada devido à unicidade de cada elemento de pedra e ao estado inicial de deterioração, que não é o mesmo em toda a extensão. No presente caso de estudo, a maior parte da sujidade é devida à presença de pátina e algumas crostas negras, principalmente na parte superior da fachada. Segundo a Carta de Restauro de 1972, a pátina deve ser mantida por razões históricas e estéticas, desempenhando ainda uma função protetora. No entanto, é necessário analisar se a pátina em causa tem ou não essa função protetora. Aquelas que não têm função protetora e que podem ter um efeito prejudicial devem ser removidas. De acordo com a Carta de Restauro, devem-se eliminar elementos acumulados sobre as pedras, como pó, detritos, dejetos de animais etc., com o auxílio de escovas de cerdas macias e de jatos de água de compressão moderada, devendo-se evitar jatos de areia e de vapor com pressão elevada (Moncrieff, A e Weaver, G., 2005). A limpeza pode ser realizada de várias formas, e cada uma destas pode ser mais apropriadas para um determinado tipo de pedra (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988):

- Manual: adequada em calcários, mármore, granito polido e tijolo maciço;
- Mecânica: adequado a arenitos e adicionalmente a métodos aplicados em mármore ou calcários;
- Química: adequado a arenitos, alvenaria e por vezes como método adicional em mármore e calcários;
- Outras técnicas especiais como o uso de cataplasmas: adequado a todo o tipo de materiais.

Qualquer ato de limpeza deve ser precedido de uma avaliação da sua adequação ao caso particular. Primeiro deve-se fazer uma inspeção superficial de forma a identificar o tipo e estado da pedra e o grau de sujidade que esta apresenta. Depois, um exame preliminar deve ser feito de forma a determinar qual o melhor método de limpeza e qual a extensão pretendida

na aplicação do mesmo, para se obter uma previsão da aparência do edifício após a limpeza. Finalmente deve-se ainda fazer um exame detalhado envolvendo ensaios de limpeza sobre a própria pedra, e de preferência em zonas que não sejam muito visíveis mas que ao mesmo tempo apresentem um maior número de patologias típicas apresentadas pelo edifício em causa (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988). Pode-se dizer em linhas gerais que a eficácia de um tratamento de limpeza depende de: o método usado, assim como as competências do operador; o material a limpar e o seu estado de degradação; e o tipo e características da sujidade apresentada (Castro, E. e Rodrigues, J., 1989). As fachadas dos edifícios de pedra calcária, em contacto com a água da chuva nas suas superfícies expostas, são “lavadas”, uma vez que a água das chuvas dissolve as sujidades que se fixam na superfície do calcário, inibindo o aparecimento de sujidades na fachada.

A lavagem manual consiste na colocação de água em contacto com a sujidade da pedra e deste modo retirá-la diretamente ou amolecendo-a para que seja removida com a ajuda de uma ferramenta própria. Um grande problema que advém deste tipo lavagem tem a ver com o grande consumo de água e a impregnação de água na pedra. Em pedras porosas deve-se evitar métodos de limpeza que levem a uma excessiva humidificação da pedra, uma vez que a água ao infiltrar-se nos poros, arrasta sais, ácidos e outros agentes químicos que vão acelerar o processo de deterioração da pedra. Ainda certos sistemas de jatos de água não são suficientemente diversificados para a lavagem de certas pedras com grande detalhe que, para serem limpas apenas com auxílio à lavagem, precisam de vários dias para alcançar a limpeza da pedra (Aguilar, J. et al, 2001; Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

As ações de lavagem não devem ser realizadas no Inverno uma vez que podem ocorrer danos devido à presença de água no estado físico alojada nas juntas das pedras ou nos poros. Outros problemas que também podem advir da lavagem da fachada e da sua saturação são: o aparecimento de manchas e eflorescências devido à migração de sais; a libertação de alguns bocados de pedra menos resistentes, uma vez que estes podem estar fixados apenas pela presença de sais que são facilmente removidos com a água; e ainda a entrada de água nas juntas de pedra ou fissuras (Ashurst, J. e Dimes, F.D., 1988). Os métodos mais aconselhados para limpeza de monumentos são pulverização com água; pastas de argila absorventes e pastas gelatinosas dissolventes; microjatos de precisão de partículas abrasivas. Os métodos mais desaconselhados para a limpeza de monumentos são: limpeza com ácidos; limpeza com alcalis; jatos de partículas abrasivas; limpeza com ferramentas mecânicas (como é o caso de escovas rotativas, discos, escovas metálicas, etc.); limpeza por jatos de água ou vapor sob pressão e limpeza por chama. (Castro, E., 1984 b). No caso de pedras porosas, como a pedra calcária, uma boa conduta de limpeza deve colocar a menor quantidade de água possível em contacto com o sítio exato que se pretende lavar, durante o mínimo tempo possível e a baixa pressão. Na limpeza com água, a limpeza com água deve ser realizada da parte superior para a

parte inferior para que a água ao escorrer vai dissolvendo as sujidades presentes nas zonas inferiores (Castro, E., 1984 b).

Geralmente as melhores ações de lavagem combinam ações de lavagem com água e o uso de pequenas escovas de cerdas macias de modo a reduzir o período de saturação ou ainda o uso de bisturis ou espátulas. Alguns exemplos de material de lavagem usados na lavagem da Igreja do Carmo encontram-se identificados na Figura 7.10. As escovas de arame de aço, devido à sua textura áspera, nunca devem ser usadas numa pedra calcária uma vez que podem deixar fragmentos de arame de aço na pedra e posteriormente manchá-la. Uma boa opção de lavagem é o uso de água nebulizada, uma vez que evita o contacto direto das gotas de água sobre a pedra, fazendo uso de uma névoa que persiste em volta da pedra que se apresenta manchada, possibilitando a dissolução das sujidades que vão desaparecendo pouco a pouco, com a ajuda de escovas de cerdas macias. A fase de “ amolecimento” da sujidade pode demorar um período de tempo mais ou menos significativo, mas não é obrigatório a presença permanente dos técnicos no local. Esta névoa é obtida através do uso de um *spray* com um bocal fino e afastado pelo menos 300 mm da superfície da pedra, o tamanho dos orifícios tem de ser pequeno o suficiente e a pressão da água adequada ao efeito pretendido (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).



Figura 7.10: Ferramentas de limpeza manual.

Com este método consegue-se alcançar locais os quais a água da chuva não alcança de forma contínua, permitindo uma grande eficácia em termos de limpeza e rapidez, uma grande diminuição no consumo de água quando comparada com o método tradicional e é um procedimento inócuo para a pedra. No entanto na prática este é um procedimento difícil de realizar uma vez que é difícil de manter esta névoa intacta, podendo vir uma corrente de ar e alterar as condições necessárias, dependendo o sucesso desta operação da capacidade que se tem de conter a névoa no local a tratar. Esta opção pode muitas vezes na prática não se adequar devido às condicionantes referidas anteriormente que nem sempre são cumpridas, e

por isso necessita de mão-de-obra especializada. No entanto, outro sistema possível passa pelo controlo eletrónico da água pulverizada através da utilização de sensores (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Durante a limpeza de pedras calcárias, devido à sua fragilidade, a pressão da água deve ser baixa. A forma mais simples de lavagem mecânica é a escovagem a seco que remove uma pequena parte de sujidade que se encontra pouco agarrada à pedra e algum material orgânico. O uso de ferramentas e os métodos mecânicos abrasivos são desaconselhados em pedras deste tipo. Nas zonas mais sensíveis da pedra, como é o caso de esculturas, podemos optar por métodos químicos, e em zonas menos sensíveis por métodos mecânicos, os menos abrasivos possíveis (Aguilar, J. et al, 2001; Ashurst, J. e Dimes, F., 1988). No entanto quando a pedra encontra-se bastante degradada a aplicação de químicos deve ser avaliada com mais cuidado.

Um exemplo de limpeza mecânica desaconselhada é a utilização de uma ferramenta elétrica que combina o uso alternado de escovas macias, “carborundum head”, e discos. O “carborundum head”, nome comercial dado ao composto abrasivo de carbetto de sílica (SiC), é o elemento principal dos cabeçotes rotativos existentes nesta ferramenta. Depois da sua utilização a superfície é esfregada de modo a retirar as imperfeições e reparada. Esta ferramenta ao mesmo tempo que limpa também remove material pétreo da superfície da pedra e por isso deve ser evitada ao máximo numa boa ação de limpeza, envolvendo o risco de deixar algumas depressões na superfície e arredondamento de arestas. Qualquer ação abrasiva, neste caso, é desaconselhada devido à sua agressividade, ao risco elevado de danificar a pedra, ao elevado ruído sonoro que acompanha operações deste tipo e à grande quantidade de sujidade/poeira resultante que pode ser prejudicial ao público e a áreas mais sensíveis (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988; Azeredo, S. et al., 2008).

A limpeza química engloba vários tipos de soluções que podem ser usadas para limpeza de pedra. As soluções podem ser alcalinas ou ácidas, sendo estas últimas uma opção que apenas pode ser aplicada em casos restritos. Estas soluções podem conter resíduos de sais na sua composição, que são um risco para a pedra. Geralmente estes produtos devem ser aplicados após a escovagem e/ou molhagem da superfície sobre a qual vão ser aplicados de modo a limitar interiormente a sua ação decapante. Os procedimentos de uma limpeza química são eficazes e rápidos mas podem ter efeitos contraproducentes para a fachada e para os técnicos. A limpeza de pedra calcária com produtos alcalinos só deve ser tomada quando não existem outros meios de limpeza possíveis. Algumas pastas que contêm hidróxido de sódio podem conter também aminas orgânicas como a dietilenotriamina, que facilita a dissolução do sulfato de cálcio (gesso). Um exemplo de má conduta é o uso de ácido fluorídrico, uma vez que este ataca a calcite presente no calcário, levando à perda de material (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988; Begonha, A. et al, 2012).

O recurso a compressas de pasta na limpeza da pedra é uma possibilidade em estudo na ação de limpeza química de manchas que penetraram na pedra. À pasta é adicionado um solvente ou outro produto, que remove a sujidade à superfície da pedra e os contaminantes que se encontram no seu interior, que são insolúveis em água. A pasta permite o contacto entre o solvente e a pedra, através de uma superfície de contacto maior quando se trata de pedras com grandes detalhes, e permite a redução da evaporação do solvente. Esta pasta consiste num material absorvente, que normalmente pode ser celulose (pasta de papel), como a Arbocel, ou uma argila em pó, como a Sepiolite. Estes materiais variam entre si no tamanho das suas fibras podendo obter um maior ou menor contacto com a pedra, conforme o pretendido. A Sepiolite é um material demasiado fino, e por isso tem o inconveniente das suas fibras poderem entrar no interior dos poros da pedra calcária, tornando a sua remoção difícil. Este problema pode ser ultrapassado aplicando previamente uma folha fina de papel japonês sobre a pedra (Osion, V., 2011). Esta pasta, quando colocada em contacto com a zona manchada da pedra, deve estar humedecida para aderir ao substrato, sendo aplicada o tempo suficiente para que após a sua secagem se consiga retirar a sujidade da pedra. O solvente tem a função de dissolver esta sujidade e ao voltar à superfície da pedra este evapora, como se demonstra na Figura 7.11. Esta remoção acontece por capilaridade, e podem ter de ser feitas várias aplicações no mesmo local de forma a conseguir remover as manchas e os sais (NPS @ 2014)

Normalmente, para a remoção de crostas, ou pelo menos a sua redução em pedra calcária, é utilizado como solvente o carbonato de amónio (NH_4HCO_3). O carbonato de amónio é um sal dissolvido em água, entre 5% a 25%, e tem a capacidade de converter o gesso presente nas crostas negras em sulfato de amónio ($[\text{NH}_4]_2[\text{SO}_4]$), que por ser mais solúvel facilita a sua remoção. Um contacto prolongado com este tipo de solvente pode limpar demasiado a pedra calcária e conferir-lhe uma tonalidade branca. Assim, devemos adicionar o ácido etilenodiaminotetracético, mais conhecido por EDTA, que aumenta o efeito de dissolução das crostas negras. Uma vez que se trata de um ácido, são necessários cuidados controlados, estabelecendo medidas para não danificar e deteriorar a pedra, e no final o EDTA deve ser bem removido (Osion, V., 2011). Um aspeto importante no uso de compressas é a dosagem da quantidade de líquido/solvente presente na pasta que, se por descuido este penetra em zonas que não estão manchadas, leva ao aumento da mancha que se quer reduzir (representado na Figura 7.11 pelo trajeto B). Uma compressa deve atuar segundo o trajeto A da Figura 7.11.

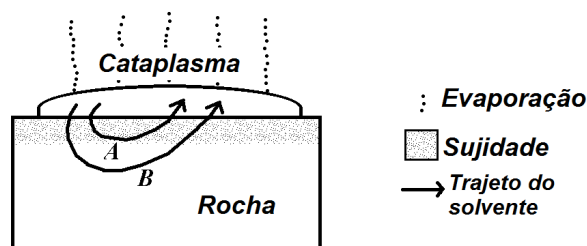


Figura 7.11: Ação de compressas numa pedra (Aguilar, J. et al, 2001).

Estas compressas têm de ser adicionadas a uma superfície molhada de forma a minimizar a penetração de certos compostos químicos no interior da pedra. Devem ser aplicadas com uma espessura de 3 a 4 mm, e revestidas com uma película de polietileno para que a pasta não seque. Esta não deve secar para se evitar que a parte celulosa da compressa endureça, o que tornaria a sua remoção mais difícil. A pasta deve permanecer no local a tratar o tempo necessário e ser ligeiramente levantada de tempo a tempo, para verificar se a limpeza final desejada já foi alcançada. Chegada a altura da sua remoção, a pasta deve ser retirada com a ajuda de uma espátula (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Um método semelhante também bastante usado é o “*lime method*” ou “*baker lime method*”. Este método é composto por quatro etapas principais: limpeza, reparação, consolidação e preservação. A etapa da limpeza, sendo a relevante neste subcapítulo, faz uso da cal para a remoção da sujidade da pedra. A massa de cal é pressionada contra a superfície da pedra pré-humedecida, e revestida por um material fibroso, como por exemplo gaze, sendo finalmente coberta por uma película de polietileno para não secar. Quando a compressa é removida (cuidadosamente) deve-se borrifar a pedra com água de modo a dar um acabamento final e retirar toda a cal que ainda possa estar na superfície da pedra. No caso de ainda existirem vestígios da compressa esta deve ser removida com escovas macias ou mesmo picareta dental. (buildingconservation@ 2014 a; Oslon, V., 2011)

O uso de compressas é normalmente associado à limpeza de pequenas superfícies mas a sua aplicação também é benéfica na limpeza de fachadas. No entanto, essa operação é algo dispendiosa quando comparada com simples operações de limpeza tradicionais. O ideal é a combinação de outros métodos, tais como o uso de escovas combinado com o uso de cataplasmas, de modo a obter uma maior controlo na limpeza e um menor risco quando comparada com o uso de apenas um método. No caso presente uma hipótese de aplicação destas compressas seria a utilização para a remoção de crostas negras na zona inferior das janelas como se demonstra na Figura 7.12.



Figura 7.12: Crostas negras presentes na Igreja.

No entanto estas compressas não foram usadas, uma vez que a pedra se encontra fragilizada e o uso de químicos deve ser o último recurso a utilizar na limpeza e remoção de sujidades. No que respeita à limpeza da fachada da Igreja do Carmo, antes de qualquer técnica de lavagem foi aplicado um biocida, nomeadamente o Preventol Ri80, que será abordado no subcapítulo seguinte, e só posteriormente foi feita qualquer ação de limpeza da fachada. O tipo de lavagem utilizada foi a lavagem mecânica com água a baixa pressão fazendo uso de uma lança de pequeno diâmetro (ponteira) e com auxílio de uma escova de cerdas macias, sempre controlada por um técnico especializado, como exemplifica a Figura 7.13. Esta limpeza foi iniciada no topo da fachada, começando pelos pináculos da tas torres sineiras, como se demonstra na Figura 7.14.



Figura 7.13: Trabalho de limpeza mecânica a baixa pressão na Igreja do Carmo.



Figura 7.14: Pormenor da ação de limpeza efetuada na Igreja.

Na parte do extradorso das cúpulas das duas torres sineiras também realizámos a limpeza da mesma forma. Esta limpeza foi antecedida pela aplicação do mesmo biocida de forma a remover qualquer tipo de organismos vivo. As diferenças do extradorso limpo e intacto podem ser demonstradas na Figura 7.15, onde a linha a vermelho delimita a diferença entre a área já limpa da direita e a que está por limpar à esquerda desta.



Figura 7.15: Limpeza do extradorso da cúpula da torre sineira da Igreja.

Um outro exemplo em que é bem visível da diferença após a ação de limpeza é demonstrado na Figura 7.16, que corresponde ao frontão que delimita a escultura presente na fachada.



Figura 7.16: Ação de limpeza da zona superior do nicho da Igreja, antes e depois.

Em certos locais onde existiam crostas negras, a limpeza anteriormente referida não foi suficiente para a remoção total das crostas, como se verifica na Figura 7.17. Neste caso, onde não se conseguiu remover as crostas negras de forma satisfatória, foi pensada outra solução. O uso de compressas deve ser evitado uma vez que a pedra calcária existente se encontrava fragilizada e a adição de químicos à pedra não seria uma ação prudente. Além disso o uso de compressas tem a desvantagem de cada uma destas só poder ser usada uma vez e, por existirem vários locais onde as crostas não saíram com a lavagem mecânica, não se tornaria economicamente viável o uso desta técnica. Este produto depois de usado precisa de ser transportado para locais próprios de tratamento de resíduos, e o seu transporte para o local mais próximo da obra em estudo também seria uma tarefa pouco económica.



Figura 7.17: Resultado da ação de limpeza mecânica e permanência de crostas.

Como verificamos na imagem anterior, a limpeza da estátua e das molduras em pedra foi satisfatória quanto comparada com a limpeza da pedra que se encontra atrás da escultura de Nossa Senhora do Carmo. No entanto houve a necessidade de aplicação de um segundo ciclo de biocida, e mesmo assim as crostas do nicho da escultura não saíram. Assim foi necessário uma opção de lavagem diferente da anterior para a remoção da sujidade que se manteve.

A opção adotada foi a limpeza por micro abrasão com jatos de partículas de sílica, um método de projeção de partículas mais preciso e por isso mais facilmente controlável no que concerne à perda de material pétreo. Este sistema é constituído por um micro jato de 1,5mm de diâmetro, como demonstra na Figura 7.18. Optámos por usar como partícula de projeção a areia de sílica branca. A areia de sílica escolhida foi a FPS 120, farinha portuguesa de sílica, constituída principalmente por quartzo, e mais de 98% de sílica.



Figura 7.18: Ponteira utilizada na limpeza por micro abrasão.

Os sistemas de projeção de partículas de areia ou de pó de vidro aplicam-se com o intuito de decapar, desincrustar superfícies corroídas e remover crostas negras. Qualquer técnica abrasiva deve ser previamente testada num local pouco visível antes de se proceder à limpeza. Estes testes tem como objetivos verificar a eficácia da técnica abrasiva devido à sua agressividade para com pedra e pelo seu difícil controlo. Realizámos testes em zonas abrigadas do nicho, como pode ser observado na Figura 7.19, obtendo-se bons resultados. Assim efetuou-se a limpeza por micro abrasão (ação mais controlável), tendo-se restringido esta operação a um local de dimensão reduzida. Existiu a necessidade de mão-de-obra especializada e equipamentos especiais. Devido ao grande número de partículas projetadas, refletidas e removidas da superfície, o operador necessita de estar devidamente protegido com um fato especial e máscara. As partículas de sílica são altamente prejudiciais ao Homem quando respiradas, sendo tóxicas e podendo levar a reações inflamatórias, fibrose ou até mesmo cancro (Begonha, A. et al, 2012).

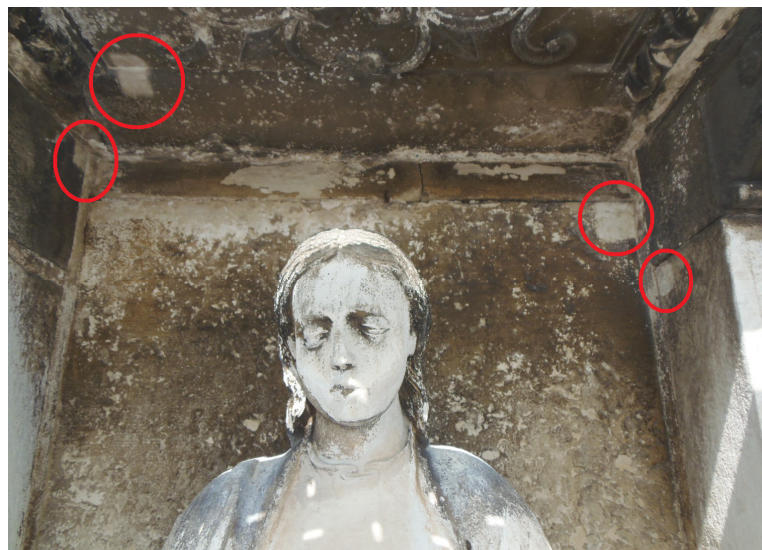


Figura 7.19: Ensaio de limpeza por micro abrasão com areia de sílica.

A projeção de sílica faz uso da pressão exercida pelo ar (projeção a seco) ou pela água para projetar a areia de sílica contra o material a tratar. O objetivo do uso de água passa pela lubrificação, amortecimento do impacto abrasivo e a redução da poeira. No caso presente recorreremos à opção de projeção a seco. O resultado da limpeza da fachada depende sobretudo da competência do trabalhador e da realização dos bons parâmetros de execução conforme o material a limpar e o seu estado de degradação (Barros, L., 2001; CSTC, 1995). Os parâmetros mais importantes a ter em conta na realização deste tipo de trabalho são:

- A geometria e o diâmetro de abertura do bico de projeção;
- A dureza, a forma, a densidade e a granulometria do material projetado;
- A pressão do ar, a distância de trabalho e o consumo do granulado.

A distância de trabalho refere-se ao afastamento entre a extremidade do bico de projeção e a fachada a ser limpa, que irá depender da natureza e do estado do material, devendo ser estabelecida entre 0,30 e 0,80 m. O granulado a utilizar deve ter uma dureza superior à da pedra a tratar. A granulometria média do granulado situa-se entre 0,1mm e 0,3mm e, no caso de materiais brandos, o granulado deve ser fino, normalmente a rondar os 0,20m. O equipamento básico desta operação consiste num compressor, num recipiente para o ar ou água, num recipiente para o granulado, e uma mangueira para projetar o ar ou água que se encontra no recipiente. Esta mangueira encontra-se ligada a um bocal com um anel adaptador, por onde irá sair o ar e as partículas abrasivas como se demonstra na Figura 7.18. Como a pedra calcária da fachada da igreja do Carmo se encontra algo fragilizada, a pressão do ar deve ser a mais baixa possível e o operador deve ser experiente por forma a estar atento a

qualquer modificação que ocorra na superfície da pedra, podendo ser necessários ajustes na pressão ou até mesmo alteração do método de limpeza. Uma ótima opção na escolha da partícula de projeção por microabrasão é casca de noz pulverizada (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988;CSTC, 1995).

As diferenças entre o antes e o depois da limpeza por micro abrasão são observáveis na Figura 7.20, onde do lado direito do nicho já se efetuou a limpeza e do lado esquerdo ainda não se procedeu a esta operação. A limpeza por micro abrasão restringiu-se a esta parte do edifício.



Figura 7.20: Limpeza por micro abrasão apenas do lado direito do nicho.

7.5.2 Remoção de algas, líquenes e plantas superiores

A remoção de algas, líquenes e plantas é uma questão que nem sempre reúne consenso. Se por um lado é defendido o seu efeito prejudicial sobre a pedra, por outro também é defendido que estes organismos podem permanecer nos edifícios sem efeitos adversos. O seu efeito prejudicial passa pela deterioração da pedra através da produção de ácidos orgânicos resultantes da sua ação metabólica, que lentamente dissolvem o substrato. Esta deterioração é muito pequena quando comparada com a ação de outros tipos de agente de deterioração. No entanto, em certas circunstâncias, existe a necessidade de pelo menos se efetuar a sua esterilização devido a questões estéticas. Não se encontram organismos vivos em crostas negras mas a deposição e restos de produtos da atividade biológica podem escurecer a pedra, sendo uma situação onde é difícil remover por completo a sujidade (NSW @ 2014;Oslo, V., 2011).No caso de pedras calcárias é sabido que os líquenes causam a sua deterioração, sendo

necessário proceder à sua remoção. Na Igreja do Carmo a presença destes organismos é evidente sobretudo nos frisos na zona inferior da Igreja (à cota do arruamento) e na zona superior, nomeadamente nos frisos que delimitam o frontão e as torres sineiras, como se demonstra na Figura 7.21.



Figura 7.21: Presença de líquenes na zona superior da torre sineira da Igreja.

A remoção de líquenes foi realizada de maneira simples com o recurso a uma espátula de madeira de modo a levantá-los, sendo desaconselhado a remoção com jatos de alta pressão que facilmente poderiam deteriorar a pedra calcária. Mesmo após a sua remoção há o perigo de recolonização, devendo-se recorrer ao uso de biocidas. Os biocidas inibem o crescimento e a atividade metabólica dos organismos vivos, levando à morte destes. A sua ação sobre os humanos é muito perigosa, e as suas propriedades tóxicas devem ser conhecidas de forma a efetuar-se uma limpeza segura. O biocida ideal será aquele que apresenta um espectro de atividade alargado, um período de vida longo e não causa perigo nem aos humanos nem à pedra. Contudo, não existe nenhum biocida que preencha todos estes requisitos, sendo necessário averiguar aquele que melhor eficiência oferece na eliminação dos organismos e de menor toxicidade para os humanos. Tendo em conta que muitos organismos não são resistentes a um determinado biocida mas os seus esporos o são, devemos ter cuidado na escolha de um biocida adequado e que elimine o problema de recolonização (May, E. e Jones, M., 2006).

Para a remoção e eliminação de organismos existem vários tipos de tratamentos, como o uso de compostos de quaternário de amónio, aminas, clorofenóis, fenóxidos e metais. Os compostos de quaternário de amónio têm um espectro de atividade alargado e são uma boa

opção no tratamento de eliminação de organismos vivos. Estes são compostos ativos presentes em biocidas e têm uma vasta gama de nomes químicos. Os biocidas devem ser diluídos em água antes de qualquer aplicação sobre a pedra e aplicados antes de outros produtos usados em tratamentos de consolidação ou de hidrofugação. Já os líquenes têm de ser molhados uns dias antes da utilização do biocida para que estejam ativos no momento da aplicação deste, uma vez que enquanto secos tendem a ser hidrófobos, e a sua aplicação deve ser minuciosa. O biocida é aplicado com uma brocha, trincha, pistola ou aspersor sob a forma de impregnações superficiais. A área a tratar deve ser protegida da chuva e normalmente é necessária a reaplicação do biocida (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988; Begonha, A. et al, 2012; NSW @2014).

Inicialmente deve-se remover a maior quantidade possível de musgos e líquenes usando uma espátula de madeira, uma escova de cerdas e, se a pedra tem tendência a ficar marcada, o tratamento de líquenes deve apenas restringir-se à sua remoção. A preparação do biocida deve ser feita diariamente e segundo a quantidade prevista a utilizar em cada dia (estimando que 1L dá aproximadamente para 1.5m²), uma vez que o biocida perde toxicidade quando é guardado em solução por um determinado período de tempo. Os biocidas devem ser usados quando dissolvidos na água em solução de 1 a 3% (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Antes de qualquer aplicação de biocida na Igreja do Carmo removemos os líquenes de acordo com a conduta anteriormente referida. Um biocida que tem por base o quaternário de amónio e que pode ser aplicado é o Preventol RI80, presente na Figura 7.22. Este produto foi o escolhido para aplicação na Igreja.



Figura 7.22: Preventol RI80.

Este possui um espectro de atividade alargado, atuando sobre fungos, algas e líquenes, e deve ser aplicado sobre a pedra quando diluído. A solução de biocida a aplicar deverá ser preparada segundo as especificações do fabricante. Posteriormente deve-se preencher um *spray* “*garden-type*” a dois terços da sua capacidade com o biocida, ajustando o bocal ao maior tamanho possível, devendo existir pressão suficiente para que o biocida seja aplicado na superfície a tratar. Deve-se começar pelo topo do local a tratar e movimentar-se lenta e horizontalmente de forma a evitar a mínima escorrência. Após a aplicação do Preventol RI80, e para garantir a sua eficácia, o local de aplicação deve ser lavado com água. Este local deve permanecer intacto pelo menos durante uma semana e depois deve ser esfregado com uma escova de cerdas de modo a retirar a maior quantidade de líquenes e musgos possíveis. O operador deve tomar medidas de proteção, tais como: usar roupa de proteção, luvas e óculos adequados e ainda máscara de proteção para respirar. Estes cuidados foram tidos em conta na aplicação do biocida na Igreja do Carmo, como se demonstra na Figura 7.23 (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988;restaurarconservar @ 2014 a).

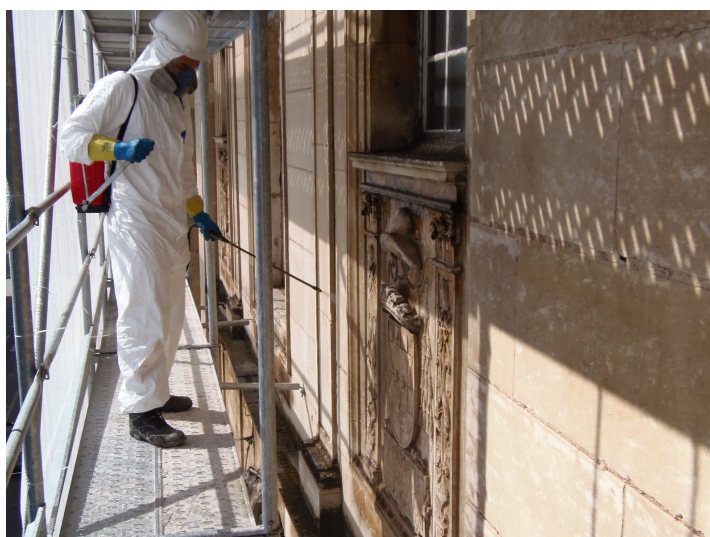


Figura 7.23: Aplicação de biocida na fachada.

Em certas situações a presença de líquenes e plantas superiores pode enfatizar a estética de um edifício sem ter efeitos prejudiciais. Certos investigadores afirmam que a presença de determinadas plantas, em que as suas raízes não penetram nos interstícios da pedra, não prejudicam a fachada de alvenaria de pedra. No entanto a maior parte dos investigadores acreditam que a presença de plantas em monumentos é algo prejudicial, direta ou indiretamente. A presença de plantas pode causar alterações no microclima, levando ao aparecimento de outras formas de deterioração ou até mesmo servir de abrigo a insetos e microrganismos. As raízes destas plantas têm uma ação biofísica e bioquímica no processo de deterioração da pedra. A ação biofísica deve-se ao crescimento e espessamento radial das

raízes que se desenvolvem entre os interstícios da alvenaria de pedra, resultando num aumento da pressão nas zonas da pedra que envolvem as raízes e num alargamento das fissuras e das juntas. As raízes tendem a aproveitar-se das zonas que apresentem menor resistência ao seu desenvolvimento e no caso dos edifícios históricos esses locais são principalmente juntas de argamassa e juntas que se apresentam mais vulneráveis.

No caso em estudo essa ação das raízes é visível através da Figura 7.24, que mostra o desenvolvimento de raízes de dimensão considerável na junta horizontal da torre sineira do, levando ao deslocamento vertical da pedra que lhe está sobrejacente e ao alargamento da junta onde esta se desenvolveu. A ação bioquímica das plantas tem origem na acidez de certas raízes e nas suas secreções, que têm degradam a pedra. As raízes contribuem para formação de caminhos preferenciais de circulação de água e de ar. Elas adicionam dióxido de carbono ao solo, ao ar e à água, aumentando a produção de ácido carbónico que diminui o pH da água. Esta diminuição do pH da água leva ao aumento do poder de dissolução dos minerais (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988; Mishra, A. et al, 1995).



Figura 7.24: Desenvolvimento de plantas na zona superior da torre sineira.

Os métodos usados para a remoção de plantas podem ser de três tipos: métodos mecânicos, métodos biológicos e métodos químicos. Os métodos mecânicos passam pelo arranque manual da planta, corte e remoção da raiz, tendo a vantagem de não deixar nenhum produto químico na pedra que lhe pode ser prejudicial. É um processo moroso, pouco eficiente, que muitas vezes não impede a regeneração da planta e pode trazer alguns riscos para a própria estrutura do edifício e para os edifícios vizinhos, principalmente quando se trata de plantas de grande porte. Os fragmentos que persistem no edifício podem regenerar, principalmente no interior das juntas onde se desenvolvem as raízes, originando uma regeneração mais vigorosa, sendo impossível desta forma um controlo eficaz apenas por este método. No caso de plantas

mais pequenas a remoção deve de ser feita sempre logo a seguir ao aparecimento das primeiras flores. A mesma remoção também pode ser feita com o uso de ferramentas como lâminas, foices, picaretas ou pás. Os métodos biológicos fazem proveito das relações de parasitismo ou antagonismo entre animais ou plantas. Quando se tratam de plantas infestantes há a introdução de insetos especializados. Este método tem a desvantagem de ser muito limitado pela especificidade de tais organismos e pela falta de eficácia na eliminação completa da vegetação. Os métodos químicos passam pelo uso de herbicidas que destroem ou impedem o crescimento de vegetação, e é uma opção bastante usada devido aos bons resultados apresentados. Permitem uma correta programação da intervenção, garantem um grau relativamente elevado de eficácia do resultado e os seus efeitos secundários são reduzidos. Quanto à sua ação os biocidas classificam-se em dois grupos: os de contacto e os sistémicos. Os de contacto são mais eficientes no combate a ervas daninhas anuais e matam apenas as zonas da planta onde o herbicida é aplicado. Os sistémicos são absorvidos tanto pelas raízes como pelas partes foliares e são transportados através do sistema vascular até aos tecidos afastados do ponto onde foi aplicado (Begonha, A. et al, 2012; Mishra, A. et al, 1995).

Os herbicidas usados em monumentos históricos devem ser tóxicos para a planta mas não para o Homem, apresentar um baixo risco de contaminação ambiental, não interferir com o substrato, não causar alterações físicas ou químicas na pedra, não alterar o aspeto estético do edifício nem deixar manchas ou depósitos sobre a superfície do monumento, serem de fácil utilização e devem ser estáveis por um período de tempo tido como adequado (Mouga, T. e Almeida, M. 1997). A metodologia de intervenção no método químico tem duas etapas. A primeira passa pelo reconhecimento da planta e a segunda passa pela determinação comparativa de produtos e métodos eficazes para a eliminação da espécie pretendida. A sua aplicação deve ser realizada antes de qualquer tratamento de consolidação ou hidrofugação, devendo ser aplicados com uma brocha, trincha, pistola ou injeções e deve-se seguir sempre as recomendações do fabricante. Caso existam plantas superiores, estas devem ser tratadas com herbicidas sistémicos e posteriormente deverão ser removidas. Esta operação deverá ser realizada antes da limpeza e tratamento das juntas onde se desenvolvem este tipo de plantas (Mishra, A. et al, 1995; Mouga, T. e Proença, N., 2002).

Um herbicida bastante usado e que cumpre a maior parte dos requisitos necessários para a sua aplicação em monumentos é glifosato. Trata-se de um herbicida sistémico, não seletivo, absorvido através de folhas e partes verdes das plantas, apresenta um largo espectro de absorção e elimina musgos e vegetação superior (anual, vivaz ou perene), e para cada tipo de planta deve-se adotar uma determinada concentração do mesmo. A sua ação passa pela inibição da fotossíntese de aminoácidos aromáticos e não é aconselhável a sua utilização juntamente com outros pesticidas (Mouga, T. e Proença, N., 2002). Um produto comercial que é bastante usado e que tem por base o glifosato é o *Roundup*. O glifosato é um ácido que

sendo aplicado em pedra calcária pode causar a dissolução do carbonato de cálcio e por isso deve ser neutralizado com hidróxido de potássio que é uma base. O herbicida que se aplicou nas plantas da Igreja do Carmo foi o *Roundup Ultra*. Este é um herbicida sistémico, que atua inibindo a síntese de aminoácidos essenciais ao desenvolvimento e crescimento de plantas infestantes (BayerCropScience@ 2014;Mouga, T. e Almeida, M., 1997).

Deve-se aplicar este herbicida nas folhas das plantas existentes, envolvê-las em sacos de plástico preto para evitar a fotossíntese e evitar que este herbicida se dissipe no ar, uma vez que é prejudicial para a saúde humana. Este procedimento é demonstrado na Figura 7.25 e Figura 7.26 , referentes à existência e ao tratamento das plantas na torre sineira a Oeste. Neste tipo de tratamento a planta deve permanecer tapada durante algumas semanas.



Figura 7.25: Plantas existentes na torre sineira do lado Oeste da Igreja.



Figura 7.26: Tratamentos de plantas com herbicida.

Nas raízes mais fortes recorreremos ao uso de seringas que continham *Roundup Ultra* e foram espetadas nas raízes por forma a atuar em maior profundidade, como se demonstra na Figura 7.27.



Figura 7.27: Introdução de seringas com herbicida no interior das raízes.

No uso de herbicidas devem ser tomadas as seguintes precauções (Mishra, A. et al, 1995):

- Devem ser transportados em recipientes hermeticamente fechados;
- O armazenamento em excesso de herbicida no local deve ser evitado, devendo cingir-se apenas à quantidade que é necessária utilizar;
- Herbicida excedente deve ser mantido nos recipientes originais;
- Os recipientes devem ser examinados no local para garantir que não ocorram fugas;
- A mistura de herbicidas deve ser feita em locais abertos;
- Durante a aplicação deve-se utilizar equipamento de proteção individual adequado.

Apesar dos métodos químicos oferecerem bons resultados, sabe-se que o seu uso na limpeza de pedra é sempre uma ação com riscos para o edifício, para o meio ambiente e para o próprio Homem. Estudos recentes demonstraram uma solução que não compromete tanto os intervenientes na limpeza. Essa solução passa pela utilização de bactérias em pedras calcárias que são capazes de fabricar carbonato de cálcio, e deste modo proteger a superfície da pedra. Um estudo foi levado a cabo por Capitelli e outros investigadores italianos, consistiu na limpeza de esculturas de calcário oolítico através de controlo microbiológico e métodos biotecnológicos. Na remoção de crostas negras foram usadas bactérias sulfuro-redutoras (*sulphate-reducing bacteria*, SRB), que removeram as crostas negras mas preservaram a pátina que está subjacente a estas. O uso de bactérias na remoção de crostas demonstrou-se vantajoso relativamente a métodos químicos tradicionais. A remoção da crosta foi mais

homogénea sem comprometer quimicamente o substrato e preservou a pátina (Cappitelli, F. et al, 2010).

7.5.3 Tratamentos e dispositivos contra ação de aves

A ação de aves sobre os monumentos resulta num conjunto de ações que prejudicam a as fachadas e são uma constante em todos os monumentos nacionais. A sua ação erosiva passa pela ação dos seus bicos e patas, até à acumulação de detritos, restos de animais mortos, comida e ainda a produtos da sua ação de nidificação que se acumulam nas superfícies horizontais das fachadas, cornijas e nichos. Estas acumulações associadas à fraca pendente das superfícies são responsáveis pela permanência da água das chuvas sobre estas. Uma vez que são ricas em fosfatos, nitratos e sulfatos, originam soluções salinas que penetram no interior da pedra por capilaridade ou pela existência de juntas abertas. Com a penetração destas soluções irão ocorrer fenómenos como a desagregação granular, formação de plaquetas, e eflorescências. Na Igreja de Nossa Senhora do Carmo a permanência de pombos é visível como demonstra a Figura 7.28. A sua permanência é mais visível nas superfícies horizontais da fachada, janelas, e no interior das capelas sineiras, onde se acumulam às dezenas. Estas zonas não se encontram protegidas contra a entrada de aves, contribuindo para deterioração do interior e exterior (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988 ;Begonha, A. et al, 2012).



Figura 7.28: Permanência de aves na Igreja.

No mercado existe uma grande variedade de opções para o combate à permanência de aves nas fachadas. Seguidamente faz-se uma breve referência a cada tipo de opção existente (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988;Begonha, A. et al, 2012):

- Redes: As redes a aplicar sobre a fachada devem ser de uma cor discreta e devem ser colocadas nos locais com maior propensão à permanência das aves, como superfícies horizontais, frontões, aberturas e janelas. Devem ser colocadas de forma segura e

ancoradas através de ilhoses de ferro inoxidável e estes devem ser colocados a distâncias adequadas para não prejudicar a estética do edifício. Quando devidamente executado este dispositivo é eficiente, no entanto, sob o ponto de vista estético, não é a melhor opção;

- Gel: A aplicação de gel realiza-se em tiras ao longo dos locais onde as aves podem permanecer. A irregularidade da superfície desencoraja a ave a pisar a mesma. Apesar de ser um sistema muito usado, tem o problema de reaplicações necessárias para a sua eficácia, o que nem sempre acontece e quando o gel seca, torna-se difícil a sua remoção, tornando-se já um problema de limpeza;
- Espigões: Os espigões normalmente usados são de alumínio ou aço inoxidável e estão ligados à pedra através de parafusos de aço inoxidável. No entanto a sua utilização não é muito eficiente, uma vez que para a sua eficiência ser maior, tem de se colocar um grande número ao longo da fachada para evitar que os pombos poísem e devem ter altura e rigidez suficientes, mas são muito agressivos esteticamente. Uma das poucas vantagens que apresenta é a pouca manutenção que obriga;
- Fios de baixa tensão: O princípio básico desta opção reside em pequenas descargas elétricas através dos fios dispostos ao longo dos bordos dos locais preferenciais de permanência dos pombos. A descarga ocorre quando os pombos entram em contacto com os fios. Esta é uma boa opção uma vez que incomoda os pombos e as descargas não são prejudiciais aos humanos, mas é muito suscetível a avarias e a sua manutenção pode ser dispendiosa;
- Dispositivos metálicos: A colocação de arames pretende impedir a aterragem de aves nas superfícies horizontais das fachadas. Fixam-se à parede por meio de ilhoses de ferro inoxidável e devem permitir a oscilação dos arames que incomoda as aves. São soluções acessíveis e esteticamente pouco agressivas mas são facilmente deformados e destruídos pelas aves, permitindo assim a sua permanência.

Na Igreja do Carmo e depois da análise das opções possíveis, uma boa solução passará pela colocação de espigões nas duas janelas, por baixo das torres sineiras, uma vez que é uma extensão reduzida e de fácil poiso para as aves. Nas torres sineira uma solução para este problema passa pela colocação de uma rede protetora pelo interior de cor clara, para não ser evidente do exterior, nas suas aberturas para o exterior caso os sinos das torres não sejam utilizados.

7.5.4 Tratamentos de consolidação

Os tratamentos de consolidação têm como objetivo aumentar a resistência mecânica dos constituintes da pedra, aumentar a aderência entre zonas degradadas e introduzir modificações na estrutura interna da pedra. Com estas modificações pretende-se dificultar o acesso e

migração interna da água e soluções salinas deletérias, de modo a obter um material mais resistente aos agentes de meteorização (Barros, L., 2001).

Este tratamento deve ser realizado quando a redução do material pétreo conduz à diminuição do valor histórico e artístico do edifício, ou quando a erosão e deterioração da pedra colocam em causa a estabilidade estrutural do material ou dos objetos que estão nas proximidades. O objetivo é alcançado pelo preenchimento dos vazios da pedra através do uso de um produto consolidante. Este produto é uma substância que no seu estado fluído vai penetrar no interior da pedra e reconstituir a adesão da estrutura pétreo através do processo de presa ou polimerização. O produto a aplicar deve ter um carácter reversível, como é adequado a qualquer tipo de tratamento de conservação, principalmente quando se trata de um edifício de importância cultural. Os produtos consolidantes devem ter uma boa profundidade de penetração, uma boa capacidade de transferência de humidade, compatibilidade química com a pedra a tratar, não impedir a retratabilidade do material, e não alterar a estética da pedra nem produzir substâncias agressivas a esta. A consolidação é uma atividade que gera bastante controvérsia devido ao seu risco e à dificuldade de remoção de produtos consolidantes do interior da estrutura porosa, onde estes tiveram um papel de coesão. Na prática, poucos têm sido os casos de sucesso da sua aplicação, uma vez que o poder de impregnação da maioria dos consolidantes é reduzido e raramente é uma ação reversível cujo desempenho a longo prazo nem sempre consegue ser garantido e com frequentes efeitos colaterais negativos são frequentes (Dionísio, A., 2006; Tavares et al, 2002).

A preferência deve recair sobre técnicas que reduzam a porosidade e a capacidade de penetração da água, mantendo uma boa permeabilidade ao vapor de água. Esta redução deve ser parcial para evitar fenómenos de desagregação de material e fraturas, uma vez que a diminuição de permeabilidade pelo uso do consolidante, aliado à evaporação da água no interior da pedra, poderá levar à acumulação de tensões e levar ao aparecimento dessas patologias. O produto consolidante, em função da composição química, terá características hidrorrepelentes e assim terá simultaneamente um efeito de proteção. No entanto há que salientar que o objetivo da consolidação não é a proteção, e este é um aspeto fundamental na escolha dos produtos mais adequados. A diferença consiste que o uso de protetores visa a preservação da pedra em qualquer estado de deterioração pela aplicação de uma camada protetora à superfície da pedra e o uso de consolidantes visa a estabilização de material friável, não impedindo a ação dos agentes de meteorização. O sucesso de um tratamento de consolidação depende do tipo de consolidante usado, do modo como este é aplicado, da profundidade de penetração e ainda do estado de degradação em que o material se encontra. Outros aspetos importantes para o sucesso da consolidação referentes às características das pedras são: a resistência, a porosidade, a permeabilidade, a dilatação térmica e a cor (construironline @ 2014; 5cidade.wordpress.com@ 2014 a).

A consolidação pode ser feita por impregnação ou por preenchimento. A impregnação consiste na penetração do produto consolidante através do uso de pincéis, escovas, pulverizadores ou pela imersão completa. Esta não se adequa a tratamentos *in situ* mas sim em ensaios laboratoriais. O preenchimento consiste na introdução de colas através do uso de seringas nos locais da pedra que estão a soltar-se, de modo a proteger as camadas mais internas da pedra, funcionando quase como uma camada sacrificial, sem alterar a estética da mesma. Deve-se ter atenção na escolha do solvente, na sua concentração, viscosidade, tensão superficial da solução, tempo de contacto com a solução bem como com as condições ambientais de aplicação.

Existem dois tipos de consolidantes: os orgânicos e os inorgânicos. No caso dos consolidantes inorgânicos, a consolidação ocorre imediatamente por meio da precipitação do produto da reação da pedra com anidrido carbónico ou aerossóis. Os consolidantes inorgânicos podem ser à base de compostos silício-orgânicos ou à base de outros compostos minerais. Os consolidantes orgânicos são polímeros e monómeros que ao polimerizarem no interior da pedra formam uma camada hidrorrepelente que adere fortemente, revestindo as paredes dos capilares da pedra. Estes podem ser ceras ou sistemas poliédricos sintéticos como polímeros acrílicos, copolímeros acrílicos, polímeros vinílicos, resinas epoxídicas e outros polímeros. Os consolidantes inorgânicos têm uma maior afinidade com os componentes minerais da pedra mas são pouco penetrantes, permitindo apenas o preenchimento de vazios de dimensões inferior a 50-100 μm . Muitos consolidantes orgânicos não são reversíveis e alteram-se quimicamente em condições de exposição exterior. As principais vantagens e desvantagens dos consolidantes orgânicos e inorgânicos são apresentadas nos Quadro 7.2 e Quadro 7.3e (Dionísio, A.,2006;Tavares et al, 2002;5cidade.wordpress.com @ 2014a).

CONSOLIDANTES ORGÂNICOS	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Maior capacidade adesiva	Menor capacidade de penetração
Maior flexibilidade	Instabilidade química, degradando-se em contacto com o oxigénio, o ozono, a luz do dia e os raios UV e com soluções ácidas ou alcalinas
Reversibilidade superficial (mas irreversibilidade profunda)	Maior suscetibilidade ao ataque microbiológico
Facilidade de aplicação	Durabilidade desconhecida, mas presumivelmente inferior à dos produtos minerais
	Efeitos desconhecidos no comportamento geral da fachada

Quadro 7.2: Vantagens e desvantagens de consolidantes orgânicos. (retirado e adaptado de Tavares et al,2002).

CONSOLIDANTES INORGÂNICOS	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Maior afinidade química e física com os materiais originais das paredes	Desadequação para o preenchimento e consolidação de juntas de separação superiores a 0.05-0.10 milímetros (dependendo do tipo de produto);
Boa capacidade de penetração devido ao baixo peso molecular	Aplicação mais complexa
Capacidade de não alterarem propriedades hidrófilas dos materiais	Irreversibilidade
Maior estabilidade química e maior resistência aos raios UV	

Quadro 7.3: Vantagens e desvantagens de consolidantes inorgânicos. (retirado e adaptado de Tavares et al,2002).

Os produtos mais usados na consolidação de pedras calcárias e que têm sido mais estudados são o silicato de etilo, compostos acrílicos e resinas epóxis. Os silicatos de etilo são provavelmente os produtos mais utilizados. Estes silicatos, depois de sofrerem um processo de hidrólise e condensação, originam sílica coloidal, que se deposita no interior da estrutura porosa. As moléculas de sílica apresentam afinidade química com os minerais silicatados mas não com os carbonatados, o que revela a sua inadequação em pedras carbonatadas como a pedra calcária. No entanto este produto por vezes tem sido usado na consolidação de calcário devido à ausência de melhor, e a sua ação passa apenas pela ação de compactação, preenchendo os vazios da pedra. Esta limitação tem vindo a ser alvo de estudo e questiona-se o sucesso deste produto (Rodrigues, J.,2001). Exemplo de um produto comercial composto por silicato de etilo é o ESTEL1000, normalmente dissolvido em *white spirit*. O *white spirit* é uma mistura de hidrogenocarbonetos que serve como solvente em várias atividades.

O uso de resinas acrílicas também é largamente usado em consolidações, como é o caso da Paraloid B72, uma resina termoplástica. A Paraloid B72 é um polímero bastante usado no tratamento com consolidantes. É um material reversível, resistente aos raios U.V, não amarelece e é adequado a pequenos objetos mas é insuficiente para colagens estruturais. No entanto, para pedras carbonatadas muito porosas, o seu poder de penetração restringe-se a 2 mm de profundidade e atua mais como uma cola ou adesivo. As resinas epoxídicas também são um produto consolidante amplamente usado. Estas são apropriadas para pedras fissuradas e fraturadas, onde atuam como adesivos, mas são menos apropriadas em pedras muito porosas. Um exemplo comercial de uma resina epoxídica é a EP 2101. Esta apresenta melhor capacidade de impregnação em pedras carbonatadas porosas mas o seu poder consolidante

restringe-se mais à camada exterior da pedra. Estes dois produtos anteriormente abordados em termos gerais atuam de formas bastante semelhantes (Rodrigues, J.,2001).

Uma opção simples e económica da consolidação passa pelo uso de consolidantes à base de cal como o caso do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), ou água de cal. Este juntamente com compostos como o hidróxido de bário, silicato de potássio e sódio, fluorossilicatos e aluminatos formam os grupos de consolidantes inorgânicos que promovem a coesão da pedra. O hidróxido de cálcio ao reagir com o ácido carbónico presente na atmosfera produz carbonato de cálcio. Esta opção tem a vantagem de a água de cal apresentar compatibilidade química com o substrato, permitindo a ligação entre os grãos, tornando a pedra mais resistente. No entanto o uso de consolidantes à base de cal reduz a capacidade de impregnação na pedra e a taxa de conversão do hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio é baixa (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988) (Rodrigues, J.,2001).

Apesar de alguns progressos na prática da conservação de monumentos e consolidação, nem sempre os estudos são conclusivos, o que leva a pouca inovação na área e a investigação pouco apetecível. O número de produtos consolidantes especialmente concebidos para a atividade de conservação e restauro é mínimo, e os investigadores vêm a sua tarefa dificultada, tendo de adaptar os seus objetivos aos produtos desenvolvidos pelas indústrias químicas para outras áreas de ação. A experiência em consolidação de pedra em Portugal não é muito significativa, apesar do interesse por este tema se ter iniciado nos anos 70 do século passado. O primeiro estudo mais aprofundado sobre a necessidade de consolidação de monumentos foi feito pelo LNEC em 1990 na obra de reabilitação da fachada da Igreja de Santa Cruz, em Coimbra, onde a sua fachada é maioritariamente composta por calcário de Ançã. Concluíram que o uso de consolidantes à base de acrílico criava uma camada superficial na pedra excessivamente rígida, contrastando com a pedra calcária não tratada subjacente, e por isso esta hipótese foi posta de lado. Outra hipótese que também se colocou foi o uso de silicato de etilo, que se demonstrou capaz de atrasar o processo de degradação da pedra e por isso este o foi o produto aplicado (Rodrigues, J.,2001).

Vários testes foram feitos sobre qual o melhor consolidante a aplicar num calcário de Ançã. Delgado Rodrigues comparou os resultados dados por dois consolidantes inorgânicos: o hidróxido de bário ($\text{Ba}(\text{OH})_2$), e oxalato de amónio ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), tendo como referência o tratamento com silicato de etil (TEOS) e comparando os resultados finais. Foram testados simultaneamente dois modos de procedimento: por imersão das amostras em solução e pela aplicação de compressas. No caso da aplicação do hidróxido de bário por imersão foram avaliados diferentes tempos de imersão. Para cada produto aplicado por compressas foram avaliadas diferentes concentrações de solução e diferentes tempos de contato. O produto TEOS foi aplicado por escovagem e, antes de qualquer conclusão, foram avaliadas a

capacidade de absorção de água, a variação da cor da pedra e a resistência à impregnação oferecida pela pedra a cada produto. Verificou-se que a quantidade de produto absorvida foi maior nos tratamentos feitos por imersão e para maiores tempos de contacto, enquanto no uso de compressas não se observa grande variação da quantidade de produto absorvido ao longo do tempo. Apenas na aplicação do hidróxido de bário existiu uma exceção, uma vez que a quantidade de produto absorvida foi quase a mesma por imersão e por uso de compressas. A consolidação pelo uso de oxalato de amónio foi independente do modo de aplicação, ao contrário do uso de hidróxido de bário que depende do modo de aplicação e da quantidade de produto absorvido. O melhor resultado na consolidação do calcário de Ançã foi obtido pelo uso de hidróxido de bário através de compressas (Bracci, S., 2008)

No contexto da presente dissertação a fachada em estudo não apresenta casos marcantes de necessidade de consolidação, verificando-se apenas em locais de pequena dimensão na fachada. Na Igreja do Carmo, a pedra em estudo apresenta os poros muito fechados, o que torna o processo de consolidação difícil devido à dificuldade do consolidante alcançar o interior dos poros da pedra. A consolidação na Igreja restringiu-se a locais onde existia delaminação e o perigo de entrada de água, como no caso da Figura 7.29.



Figura 7.29: Delaminação localizada na fachada com necessidade de consolidação.

Nestes casos criámos pontos de colagem, utilizando uma resina epoxídica, de forma a “colar” as placas que se encontravam mais desagregadas, impedido a entrada de água através delas. A resina epoxídica utilizada foi a EP 2101. Este material é um adesivo epoxídico de ação rápida, com excelentes propriedades mecânicas e de fácil aplicação. À resina EP-2101 foi adicionado o endurecedor K-122 que, como o nome indica, vai endurecer a resina. O suporte onde a resina vai ser aplicada deve estar limpo. No caso em estudo o suporte onde se aplicou a resina EP-2101 foi limpo e removida toda a sujidade como se verifica na Figura 7.30.



Figura 7.30: Execução de consolidação por colagem.

No local onde a placa estava demasiado solta, removemos a placa de pedra, limpámos a pedra que estava atrás desta, uma vez que apresentava sujidade e, colocando resina epoxídica na face interior da placa, esta foi colada à pedra e pressionada contra esta. Este processo pode ser exemplificado Figura 7.30. O resultado final encontra-se na Figura 7.31. Caso posteriormente seja necessário pode-se realizar uma micro-estucagem, onde se coloca uma massa muito fina para fechar qualquer abertura que tenha ficado exposta e que, no futuro, seja um possível local de entrada de água futura.



Figura 7.31: Resultado final da colagem com resina epóxi.

7.5.5 Refechamento de juntas de argamassa

No caso de deterioração de juntas de argamassa, o refechamento de juntas consiste na remoção parcial e na substituição da argamassa por outra com melhores propriedades mecânicas e com maior durabilidade, tendo em vista o restabelecimento das condições de integridade da fachada e a sua proteção (Gonçalves, A., 2010). Esta degradação pode ser

originada por diversos motivos tais como: fraca carbonatação da argamassa; saturação e congelamento da argamassa; cristalização de sais devido à existência de humidade ascensional, de ambiente marítimo ou de agregados contaminados; retração e fissuração devido ao uso de produtos cimentícios; falta de manutenção; erros técnicos; materiais de baixa qualidade e métodos e materiais inadequados a reparações. As juntas de argamassa têm um efeito importante no movimento da humidade ao longo da parede e na forma como esta se degrada. No caso de uma fachada de alvenaria de pedra, uma argamassa de boa qualidade além de ligar os elementos pétreos também evita a passagem de água através das juntas e acomoda os movimentos aos quais a pedra está sujeita. Esta abertura de juntas tem o problema da possibilidade de entrada de água para o interior do edifício e a acumulação de sementes que originam plantas. As raízes destas plantas penetram nos interstícios da pedra e das juntas, podendo levar a fissuras ou até mesmo fraturas (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988). Um refechamento de juntas feito de forma adequada pode durar entre 25 a 30 anos. Já quando executado de forma inadequada este não contribuirá para a longevidade da junta, podendo levar a danos irreversíveis na alvenaria de pedra. Assim é necessário uma boa execução do refechamento de juntas e certificar que esta operação é necessária (ASTM @ 2014).

O refechamento de juntas só deve ser realizado quando existe a ausência ou falha da argamassa que afeta negativamente a fachada. Uma má prática de conservação, e bastante comum, é a remoção de argamassas antigas em juntas que não apresentam quaisquer problemas. Aqui continua a ser válido o princípio da intervenção mínima. Muitas argamassas antigas encontram-se inevitavelmente fragilizadas podendo pulverizar-se ou despedaçar-se. Não é o facto de uma argamassa ser mais rígida que é mais durável, antes pelo contrário. Quando a argamassa é demasiado rígida, as tensões introduzidas na parede pelas cargas estruturais aplicadas e pelas variações de temperatura, concentram-se ao longo da superfície de contacto entre a pedra e a argamassa de refechamento. Esta concentração de tensões poderá levar à fratura da face do elemento de alvenaria. Se a argamassa é mais rígida que a pedra, a face da pedra irá eventualmente fragmentar-se sob pressões atmosféricas normais. No entanto continua a existir o erro de pensar que uma argamassa mais rígida é a melhor opção (buildingconservation@2014b). As argamassas cimentícias alteram drasticamente o comportamento da parede face à transmissão de água e de vapor de água uma vez que apresentam uma estrutura porosa bastante consistente e fechada, não permitindo a passagem de água e vapor de água através das juntas, impedindo a fachada de “respirar”. Assim qualquer humidade retida irá expandir caso se encontre em condições de congelamento, e em último caso pode ocorrer a falha da argamassa, provocando estragos na alvenaria envolvente (buildingconservation@ 2014c).

A nível mecânico a proteção de paredes de alvenarias antigas pode ser avaliada pela obtenção de soluções compatíveis com o suporte. Assim é recomendável o uso de argamassas com

resistências baixas e elevada deformabilidade, ou seja, baixo módulo de elasticidade para não introduzir tensões no suporte. Ela deve ter uma tensão de aderência baixa de modo a permitir a reversibilidade da solução, evitando a degradação do suporte no caso de eventual remoção e ainda apresentar um coeficiente de capilaridade adequado, uma vez que valores demasiado altos deste parâmetro facilitam a penetração de água até ao suporte. A argamassa deve ser mais suave e mais permeável que a pedra com a qual contacta e ter alguma flexibilidade e suavidade, de maneira a acomodar os movimentos aos quais é exposta, continuando a manter-se ligada à pedra. A resistência da argamassa depende primeiro na quantidade de vazios entre os agregados que foram preenchidos com um ligante e em segundo depende no tipo de ligante usado. Estudos demonstram que argamassas menos rígidas têm maiores taxas de permeabilidade ao vapor, sendo esta um requisito essencial para que o conjunto pedra-junta permaneça seco e funcional. A escolha da composição da argamassa a utilizar no refechamento das juntas é uma das decisões mais importantes para o sucesso da intervenção. Geralmente consiste numa mistura de areia, cal, uma pequena quantidade de cimento e água nas proporções indicadas no projeto de execução (nas suas execuções ou cláusulas técnicas). A estes constituintes podem-se adicionar adjuvantes de forma a conferir propriedades hidrófugas à argamassa. Em alguns casos podem-se juntar pigmentos ou areias que lhe confirmam a coloração adequada à construção e ao local. A nova argamassa deve integrar-se da melhor forma na obra existente quer a nível estético, quer funcional (buildingconservation@2014c; Gonçalves, A., 2010). Assim terá de cumprir dois tipos de requisitos: de comportamento e de compatibilidade. O Quadro 7.4 identifica quais requisitos de comportamento e de compatibilidade a argamassa deve preencher (Cóias, V., 2007).

REQUISITOS DE COMPORTAMENTO	REQUISITOS DE COMPATIBILIDADE
Não contribuir para acelerar a degradação do suporte e das argamassas preexistentes	Reversibilidade
Capacidade de proteção e conservação dos elementos	Reparabilidade
Não interferir com a estética da fachada	Identidade funcional
Durabilidade	Identidade material e tecnológica

Quadro 7.4: Requisitos de comportamento e de compatibilidade de argamassas

No relatório final do projeto “*Old Renders*”, projeto de investigação realizado entre 2000 e 2001, com vista a estudar as metodologias para a caracterização e a conservação das argamassas de revestimento de edifícios antigos, numa colaboração ente a STAP e o LNEC, quantificaram-se os requisitos mínimos das argamassas para reboco e para refechamento de juntas de edifícios antigos, representados pelo Quadro 7.5, Quadro 7.6 e Quadro 7.7

Argamassa	Características mecânicas aos 90 dias (MPa)			Aderência aos 90 dias (MPa)
	Rt	Rc	E	
Reboco exterior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000 – 5000	0,1 – 0,3
Refechamento de juntas	0,4 – 0,8	0,6 – 3	3000 – 6000	0,1 – 0,5

Rt– Resistência à tração; Rc- Resistência à compressão; E- Módulo de elasticidade

Quadro 7.5: Requisitos mínimos de argamassas para edifícios antigos -características mecânicas(retirado e adaptado de Córias, V. 2007).

Argamassa	Comportamento às forças desenvolvidas por retração restringida aos 90 dias			
	Fmáx (N)	G (N.mm)	CSAF	CREf (mm)
Reboco exterior ou refechamento de juntas	<70	>40	> 1,5	>0,7

F máx. Deverá ser inferior à resistência à tração do suporte; CSAF- Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda; CREf- Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação.

Quadro 7.6: Requisitos mínimos de argamassas para edifícios antigos- comportamento às forças desenvolvidas por retração aos 90 dias (retirado e adaptado de Córias, V., 2007).

Argamassa	Comportamento à água				
	Ensaio clássico		Ensaio com humidímetro		
	S _D (m)	C (Kg/m ² .h ^{1/2})	M (h)	S (h)	H (mv.h)
Reboco exterior	<0,08	<12;> 8	> 0,1	<120	<16000
Refechamento de juntas	<0,10	<12;> 8	> 0,1	<120	<16000

S_D- Espessura da camada de ar de difusão equivalente; C- Coeficiente de capilaridade; M- Atraso na molhagem; S- período de humedecimento, H- intensidade de molhagem

Quadro 7.7: Requisitos mínimos para argamassas de edifícios antigos – comportamento à água (retirado e adaptado de Cóias, V., 2007).

A nova argamassa deve condizer com a antiga em cor, textura e acabamento, ter menor resistência à compressão que a pedra, ser hidrófuga mas permeável ao vapor. A nível de trabalhadade, a argamassa quando fresca deve ter características adequadas, de modo a que o trabalho de refechamento seja realizado da melhor forma, devendo-se assegurar que a argamassa permanece trabalhável ao longo do período de tempo necessário para a conclusão do trabalho. A argamassa endurecida, quando comparada com o material com o qual estará em contacto, neste caso a pedra, deve ter uma permeabilidade ao vapor semelhante à este, deve ser visualmente compatível com as argamassas pré-existentes e refletir a integridade histórica dos materiais existente e dos métodos de construção originais (buildingconservation@ 2014c; 5cidade.wordpress.com@ 2014b).

As operações de refechamento das juntas devem ser feitas numa só passagem. O primeiro passo consiste na remoção parcial da argamassa deteriorada da junta que se pretende reparar, a uma profundidade mínima de 25 mm, como exemplifica a Figura 7.32. No caso em que a junta tenha uma exposição extrema, a sua argamassa deve ser removida a uma profundidade, no mínimo, duas ou três vezes superior à largura da junta, por forma a fornecer uma boa superfície de ligação (38mm ou até mesmo 50mm). A argamassa deve ser removida em profundidade de maneira uniforme em todo a sua largura com o auxílio de um martelo (manual ou elétrico) ou formão. Neste processo é essencial a qualidade da mão-de-obra, uma vez que nem todos os técnicos são especializados em obras de restauro, ou têm conhecimentos sobre qual a melhor maneira de remover a argamassa sem danificar a pedra. Além disso a é

essencial o seu conhecimento na escolha da nova argamassa a colocar (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988;ASTM @ 2014).

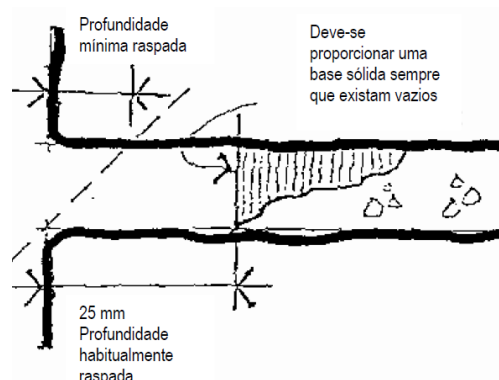


Figura 7.32: Pormenor de refeitamento de argamassa adequado (retirado e adaptado de 5cidade.wordpress.com@2014b).

Na remoção de argamassas cimentícias, é quase impossível deixar a pedra completamente intacta após a remoção da argamassa e por isso estes casos devem ser especialmente analisados. Ferramentas elétricas potentes facilitam a remoção da argamassa mas facilmente danificam a pedra, e por isso devem ser evitadas. As argamassas podem ser removidas com o auxílio de uma maçeta e de um escopro. Uma vez realizada a remoção da argamassa a junta aberta deve ser limpa sem riscos para o material. Primeiro, deve-se retirar alguma sujidade, que tenha permanecido no local onde a junta foi removida, com o auxílio de uma escova de cerdas macias. Depois deve-se lavar a junta aberta com água a baixa pressão, mas de forma evitar a saturação desnecessária, e para que as superfícies que ficarão em contacto com a nova argamassa apresentem-se uniformemente humedecidas. No caso das juntas se encontrarem colonizadas com algas ou líquenes, deve-se aplicar previamente o biocida. No caso da existência de plantas nas juntas, deve ser aplicado um herbicida e as plantas devem ser removidas cuidadosamente de modo a não danificar a pedra e não alargar a junta existente. Todos os trabalhos de remoção das argamassas devem deixar uma superfície limpa, com uma superfície de contacto quadrada no interior das juntas de forma a proporcionar o maior contacto possível com a nova argamassa (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988;ASTM @ 2014).

A colocação de uma nova argamassa deve ser realizada quando a temperatura ambiente se encontra entre os 6°C e os 30°C. O limite inferior é estabelecido de modo a evitar o congelamento da argamassa durante pelo menos as 48 horas iniciais do processo de cura que

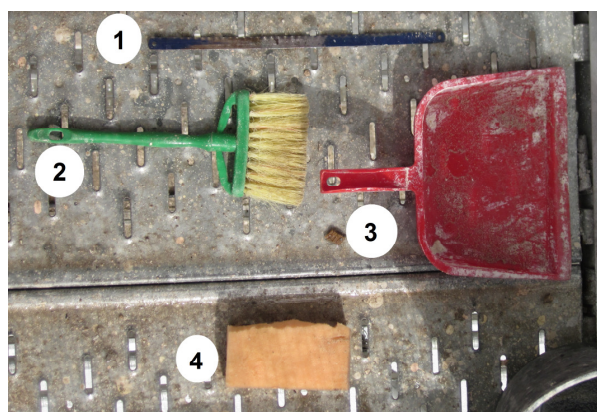
acontece depois da colocação da nova argamassa. O congelamento da argamassa, durante a sua cura, leva a uma menor durabilidade e menor resistência térmica. Já o limite superior é estabelecido para que não ocorra evaporação da água e que esta seja mantida na argamassa de modo a realizar-se um processo de cura adequado, e para que não ocorra fissuração por retração da argamassa. No caso de temperaturas elevadas, este processo deverá ser feito em lugares o mais sombreado possível de maneira a atenuar a possível evaporação. A argamassa deve ser molhada antes da sua colocação na juntas, por forma a evitar a situação de fissuração, devendo-se adicionar água s até a argamassa adquirir uma consistência trabalhável. O tempo de cura dependerá das condições ambientais, do tipo de argamassa usada, no seu acabamento e na quantidade de argamassa aplicada (ASTM@2014; buildingconservation@ 2014c).

A argamassa ao ser colocada numa junta aberta deve ter uma consistência pegajosa, mas não completamente molhada, devendo ficar agarrada à superfície de uma espátula de pedreiro, quando virada para o chão. Deve-se primeiro preencher as juntas verticais e depois as horizontais, utilizando uma colher mais estreita que a juntas. Se a junta se apresentar seca antes da colocação da argamassa, ela deve ser molhada por forma a evitar previamente a absorção da água da argamassa por parte da pedra. Ao ser aplicada na junta, a argamassa deve ser pressionada contra esta com o auxílio de ferramentas próprias e quando endurece a argamassa deve ser firmemente compactada na junta batendo com uma escova de cerdas duras. Isto vai ajudar na eliminação de qualquer retração ou fissuração inicial e garantir que a argamassa está completamente compactada na junta. A superfície que fica exposta deve ser levemente raspada com um apontador de forma a adquirir uma superfície dura e com uma textura aberta, ideal ao processo de carbonatação e de cura da argamassa através do qual adquire resistência. A face exposta da argamassa deve ser ajustada à face ou ligeiramente recuada, de modo a evitar que a argamassa se espalhe pela face da pedra. Se for pretendido que a argamassa nova fique com um aspeto erodível, como aparentam as juntas que não foram abertas, esta deve ser pulverizada e ponteada com uma escova de cerdas duras, existindo um período ideal para o fazer. Se for feito demasiado cedo, a argamassa será removida facilmente e a sua ligação com a pedra será desfeita. Se for feita demasiado tarde, será difícil de fazer qualquer acabamento. Algumas ferramentas usadas neste tipo de trabalho são apresentadas na Figura 7.33 e Figura 7.34 (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988;buildingconservation@ 2014c).



(1)Serra; (2) Serra; (3) Maçeta; (4) Escopro.

Figura 7.33: Ferramentas de refechamento de juntas.



(1)Apontador metálico; (2)Escova; (3) Pá; (4)Esponja

Figura 7.34: Ferramentas de refechamento e limpeza de juntas.

Alguns erros normalmente cometidos no acabamento das juntas encontram-se representados na Figura 7.35, Figura 7.36, Figura 7.37 e Figura 7.38. As juntas não devem ser preenchidas até à face da pedra uma vez que isso altera a estética desta, aumentando o tamanho aparente das juntas (Figura 7.35). Alguma falta de material que possa existir em torno da junta, e que não justifique colocação de pedra, deve ser preenchida com cuidado, tendo atenção à argamassa a colocar e devendo esta ter cor semelhante, tamanho do grão e permeabilidade próxima da pedra que a confina (Figura 7.36). No caso de existir alguma pedra que não esteja alinhada com as restantes e que representa pontos de entrada ou deposição de água, deve ser dada uma ligeira inclinação e curvatura ao topo da pedra saliente /projetada de modo a que a água não se

acumule no local (Figura 7.37). A largura da junta nunca deve ser aumentada por mais difícil que seja colocar a argamassa. Nesta situação os discos devem ser evitados (Figura 7.38.) (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

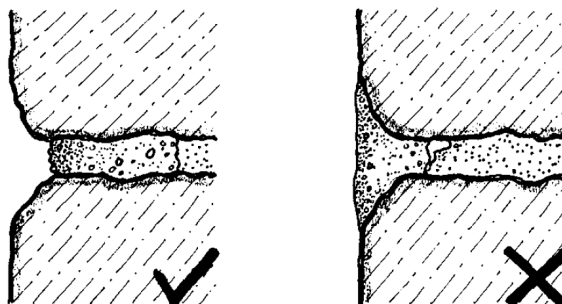


Figura 7.35: Procedimento adequado de refechamento de juntas (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

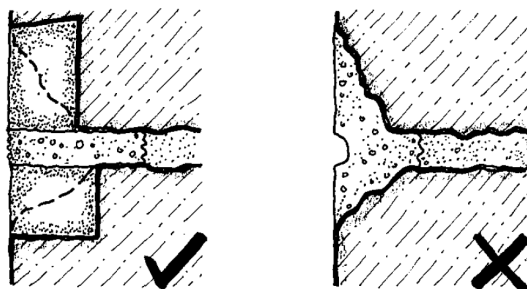


Figura 7.36: Procedimento adequado de refechamento de juntas (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

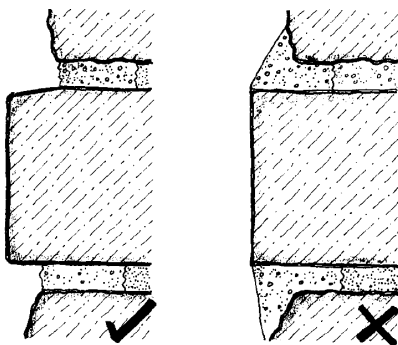


Figura 7.37: Procedimento adequado de refechamento de juntas (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

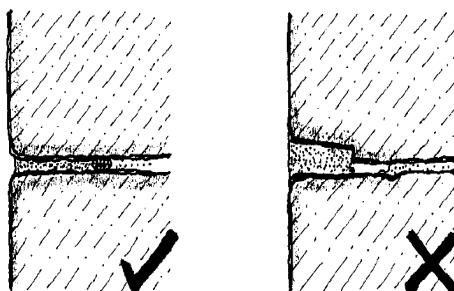


Figura 7.38: Procedimento adequado de refechamento de juntas (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Na fachada da Igreja do Carmo, em Coimbra, existem várias juntas completamente abertas como se demonstra na Figura 7.39.



Figura 7.39: Junta aberta com grande expressão localizada no frontão da Igreja.

A origem mais provável de juntas abertas com esta expressão pode dever-se ao sismo de 1969, de acordo com testemunhos. Esta patologia está associada à diferença relativa de massa entre a fachada e as torres sineiras. A situação é agravada pela inexistência de contraventamento (Júlio, E. e Maranhã, P., 2006). O possível movimento que a fachada sofreu pode ser exemplificado pela Figura 7.40.

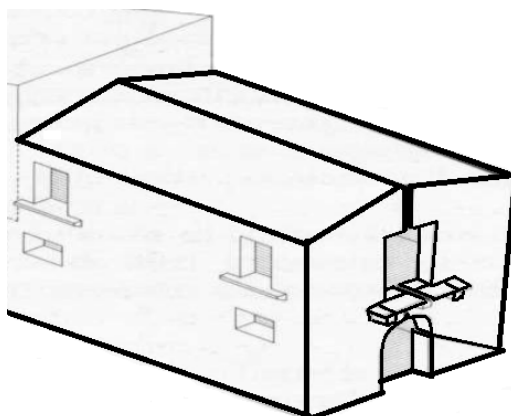


Figura 7.40: Representação do possível movimento da fachada da Igreja e abertura de fendas (retirado e adaptado de Gonçalves, A. J. C., 2010)

Na Igreja do Carmo procedeu-se inicialmente à abertura de todas as juntas a serem reparadas de acordo com os cuidados e procedimentos referidos anteriormente.. Primeiro abrimos as juntas da zona superior da Igreja e procedemos ao seu refechamento, só depois as juntas nas zonas abaixo destas foram abertas e preenchidas. Na zona superior um dos problemas que ocorreu foi a chuva que estragou muitos trabalhos de refechamento, como se demonstra na Figura 7.41, que posteriormente foram reparados.



Figura 7.41: Estrago causado pela entrada de água nas novas juntas de argamassa.

Nas juntas onde existia o problema de entrada de sujidade e água enquanto não era colocada a nova argamassa, aplicámos um cordão de polietileno para proteger a junta, como de demonstra na Figura 7.42.



Figura 7.42: Proteção provisória de juntas abertas.

Antes de qualquer trabalho foi necessário a realização de testes preliminares de forma a garantir que a argamassa proposta garanta a compatibilidade estética e física com a fachada. O estudo aprofundado da argamassa original não deteriorada existente na fachada, pode sugerir misturas apropriadas para o refechamento das juntas sem danificar a pedra. Duas características fundamentais na escolha da argamassa são: a resistência da argamassa e a sua permeabilidade ao vapor. Não sendo imperativo no sucesso de um trabalho que envolve o património monumental, o recurso a um laboratório especializado pode ser útil no estudo dos ingredientes originais. No entanto este tipo de análise apresenta limitações e a escolha do tipo de argamassa a utilizar não deve ser baseada apenas em ensaios laboratoriais, uma vez que existem condições e desempenhos da argamassa que não podem ser reproduzidos em laboratório. É o caso do teor original de água, o tempo de cura, condições meteorológicas durante a construção original e os trabalhos de mistura e colocação de argamassa. O parâmetro mais importante que pode ser obtido de uma análise laboratorial será a identificação da areia pela granulometria e pela cor. O objetivo dos estudos laboratoriais é encontrar uma argamassa que seja o mais compatível possível com a original, tendo por base as propriedades referidas. No entanto não é crucial que a argamassa nova tenha as mesmas características físicas e químicas da original desde que sejam mantidas as seguintes diretrizes (oldhouseweb @ 2014):

- A nova argamassa deve combinar com a original em cor, textura e trabalhadade;
- A areia deve ser compatível com a areia original;
- A nova argamassa deve ter maior permeabilidade ao vapor e ser mais suave que a pedra original;
- A nova argamassa deve ser tão permeável ao vapor e tão ou mais suave que a argamassa original.

No presente caso de estudo as argamassas que usámos para o fecho das juntas foram: uma argamassa de acabamento que contém areia e cal hidráulica da Lafarge de traço 1:3 e uma argamassa de enchimento com areia e cal hidráulica Lafarge de traço 1:2. A primeira a ser colocada na junta foi a argamassa de enchimento e apresenta uma maior resistência que a argamassa de acabamento. A argamassa de acabamento foi a última a ser colocada e tem um papel sacrificial servindo apenas para proteger a argamassa de enchimento e dar acabamento. A areia usada para a argamassa de acabamento foi a APAS 60 (do fabricante Areipor-areias de Portugal), areia portuguesa amarela de sílica, e a areia usada para a argamassa de enchimento foi a APAS 20 (do fabricante Areipor-areias de Portugal), areia portuguesa amarela de sílica, mais grossa que aquela usada para a argamassa de acabamento.

A cal hidráulica Lafarge é uma cal de cor branca e recomendada para reabilitação antiga. Esta apresenta características hidráulicas e aéreas. As características aéreas devem-se ao teor de hidróxido de cálcio e as características hidráulicas devem-se ao teor de silicatos de cálcio. Esta cal hidráulica natural (NHL: *natural hydraulic lime*) pode ser do tipo NHL 2, NHL 3.5 ou NHL 5, onde 2; 3,5 ou 5 representam a resistência à compressão aos 28 dias em MPa. No presente caso a cal hidráulica usada foi do tipo NHL3,5 (Lafrage @ 2014).

Apesar de se ter constatado que a argamassa original da Igreja do Carmo era uma argamassa de cal aérea e que se desfaz facilmente, optou-se por uma argamassa de cal hidráulica. Preferiu-se não adicionar qualquer quantidade de cimento, apenas cal, areia calibrada isenta de sais e pigmento. A adição de cimento à argamassa tem as suas vantagens e desvantagens. O cimento proporciona uma presa hidráulica antes que ocorra retração, o que reduz os riscos de fissuração e, pelo seu endurecimento rápido, proporciona proteção contra a chuva antes do fim da carbonatação. Uma vez que se trata de uma substância artificial, a sua utilização é fiável e previsível. No entanto a adição de cimento também apresenta desvantagens como: o rápido tempo de presa que limita o tempo de trabalho para o utilizador trabalhar a argamassa; a existência de sais solúveis no cimento que podem degradar a alvenaria e o risco de segregação, uma vez que o cimento se separa da cal conforme a argamassa seca e endurece (buildingconservation@2014 d).

Foram realizados ensaios de argamassas. Os resultados são demonstrados na Figura 7.43, Figura 7.44, Figura 7.45 e Figura 7.46, tendo-se usado as seguintes combinações:

Teste 1

- 6 dL Areia Portuguesa Amarela de Sílica 50;
- 3 dL Areia Portuguesa Amarela de Sílica 20;
- 0,5 Pote Cal Hidráulica Lafarge;
- 10 gr Pigmento Tierra Siena Natural;
- 5 gr Pigmento Tierra Sombra Natural.

Teste 2

- 6 dL Areia Portuguesa Amarela de Sílica 60;
- 1dL Cal Hidráulica Lafarge;
- 12 gr Pigmento Tierra Siena Natural;
- 5 gr Pigmento Tierra Sombra Natural.

Teste 3

- 9 dL Areia Portuguesa Amarela de Sílica 60;
- 3 dL Cal Hidráulica Lafarge;
- 10 gr Pigmento Tierra Siena Natural;
- 5 gr Pigmento Tierra Sombra Natural.

Teste 4

- 6 dL Areia Portuguesa Amarela de Sílica 60;
- 3 dL Areia Portuguesa Amarela de Sílica 30;
- 3 dL Cal Hidráulica Lafarge;
- 12 gr Pigmento Tierra Siena Natural;
- 5 gr Pigmento Tierra Sombra Natural.



Figura 7.43: Ensaio teste nº1



Figura 7.44: Ensaio teste nº2.



Figura 7.45: Ensaio teste nº3.



Figura 7.46: Ensaio teste nº4.

A argamassa do teste nº1 foi aquela que pareceu mais adequada a nível estético e por isso foi a escolhida para o refechamento de juntas da Igreja.

O refechamento de juntas não tem um objetivo estrutural direto, sendo inútil aplicar argamassas de elevada resistência pensando nesse efeito, podendo até ter efeitos adversos. No entanto neste campo existe o chamado *refechamento estrutural*. Neste tipo de refechamento procede-se à aplicação de argamassa com a adição de varões/espigões de aço inoxidável ou de fibra de vidro, de modo a aumentar a resistência da alvenaria à flexão ou à torção. O aço inoxidável apesar de ser o material mais usado não tem uma longevidade tão extensa quanto pretendida, já a fibra de vidro é um material mais fácil de trabalhar (Cóias, V., 2007)

No caso de estudo além da abertura e refechamento de juntas, em certos casos recorreu-se ao uso de espigões, que são usados para os casos que já entram no campo estrutural, onde existe risco de queda de pedra. A técnica de aplicação dos espigões pode ser representada pela Figura 7.47. Devem ser colocados sempre de forma enviesada atravessando a fratura transversalmente. A inserção de espigões oferece estabilidade adicional e pode ser apropriado em situações onde existem deslocamentos ao longo da linha de fratura. Nas perfurações que onde se colocam os varões deve ser colocada resina epóxi que irá fixar o varão à pedra. No caso de Igreja este trabalho foi realizado em certas peças como aquela que se encontra sobre a moldura da escultura de Nossa Senhora do Carmo, e o lintel existente por cima de uma das aberturas laterais da entrada.

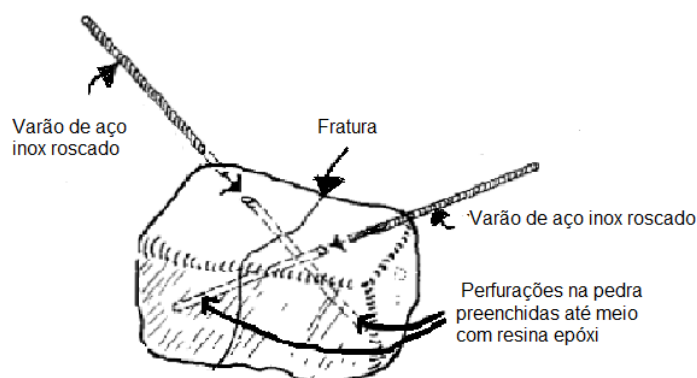


Figura 7.47: Pormenor de refecimento estrutural (retirado e adaptado de Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

7.5.6 Aplicação de produtos de proteção

Desde os tempos mais antigos que se aplicam produtos de proteção nas alvenarias dos monumentos históricos. Os produtos mais utilizados nessa altura eram os óleos, como o óleo de linhaça, sebos de animais, cera de abelha e parafina. Os materiais rochosos estão expostos às adversidades naturais do meio ambiente e aos efeitos prejudiciais da poluição e a sua proteção tem por objetivo evitar ou atrasar o processo de degradação destes causado pela meteorização e pela poluição atmosférica. As características principais que um material protetor devem ser (Barros, L., 2001):

- Influenciar o menos possível as propriedades óticas do material que se pretende proteger;
- Apresentar estabilidade quando exposto aos agentes químicos, principalmente aos poluentes ácidos atmosféricos;
- Apresentar estabilidade às radiações UV;
- Apresentar impermeabilidade à água líquida mas permeabilidade ao vapor de água, permitindo que a pedra “ respire”;
- Ser um produto reversível ou, ao menos, ser possível a sua remoção quando a sua função protetora cessar;
- Não produzir subprodutos que possam trazer perigo ao material;
- Ser de fácil aplicação.

No entanto, é difícil que um único produto apresente todas estas características e, posteriormente à aplicação de um produto protetor, raramente é possível evitar a variação de

cor na pedra ou o desenvolvimento de algum brilho e aspeto polido desta. O desenvolvimento de materiais para a proteção das pedras e de novas metodologias de proteção das ações químicas, físicas e biológicas do meio onde estas se encontram, são tarefas de estudo contínuo por parte dos investigadores na área da conservação e do restauro. Os maiores contributos da ciência nesta área passam pela polimerização *in situ*; precipitação de calcite no interior da pedra através da aplicação de bactérias calciogénicas; desenvolvimento de consolidantes modificados, criação de novos polímeros perfluorurato e de poliuretanos organossilicones modificados (Barros, L., 2001) (Cardiano, P. et al, 2005).

A proteção das pedras presentes nos monumentos históricos engloba processos de consolidação, já abordados anteriormente, e processos de tratamentos de superfície. Estes processos obrigam ainda a duas condutas fundamentais para o seu sucesso. A primeira passa pelo controlo e melhoria das condições ambientais onde o património se insere, através da minimização das condições ambientais deletérias por forma a atingir as condições ideais para a preservação do património e o seu posterior controlo. A segunda conduta passa pela instalação adequada de um sistema de inspeções periódicas aos trabalhos de conservação realizados e pelos trabalhos de manutenção necessários para evitar o desenvolvimento das patologias tratadas e o aparecimento de novas patologias (Barros, L., 2001).

No entanto há que ter em atenção que a rocha tratada constitui um material compósito, com propriedades diferentes da rocha original. Isto pode trazer o inconveniente que a zona tratada se comporte como uma crosta e por isso possa ocorrer uma diminuição da permeabilidade ao vapor de água e a gases, que poderá levar à acumulação de água e sais e ao destacamento da zona tratada devido a fenómenos de cristalização de sais. Certos produtos hidrófobos são recomendados uma vez que impedem a água de alcançar o interior da pedra, mas ao mesmo tempo impedem a saída da água líquida, levando à acumulação de água no interior da rocha. Além disso pode existir a acumulação de água no interior de pedra proveniente do exterior sob a forma de vapor de água que condensa no interior, uma vez que os produtos hidrofugantes são impermeáveis à água líquida mas não ao vapor de água (Barros, L., 2001).

Os produtos hidrofugantes podem ser analisados como produtos protetores. Sendo a água um fator de elevada importância na degradação de elementos de alvenaria, a aplicação de hidrofugantes nestes elementos vai impedir a entrada de água e assim atrasar o processo de deterioração dos mesmos. A probabilidade de ocorrerem certos mecanismos de deterioração, como a gelividade, o número de ciclos de cristalização e dissolução dos minerais de sais solúveis e o desenvolvimento de seres vivos, torna-se menor. Os tratamentos de proteção por hidrofugação têm o objetivo de diminuir ou impedir a entrada de água no interior da estrutura porosa do material, sem preencher totalmente os espaços vazios acessíveis à água. Estes produtos podem ser aplicados com uma brocha ou trincha, pistola aspersora ou *spray*. Quando

polimerizados e secos, estes repelam a água pelo aumento do ângulo de contacto entre a gota e a superfície tratada, produzindo o efeito pérola (Begonha, A. et al, 2012). Os produtos são aplicados através do uso de um solvente orgânicos de baixa viscosidade ou se possível de água.

A água da chuva por vezes penetra no interior das paredes das fachadas e pode levar ao aparecimento de manchas e/ou deterioração por cristalização de sais no interior da alvenaria de pedra. Como referido anteriormente, um dos produtos usados desde os tempos antigos é a cera, mas é aquela que apresenta mais problemas associados, não se refletindo a máxima onde se devem usar técnicas antigas para os tratamentos de conservação. No caso de a cera apresentar uma elevada concentração pode haver problemas de penetração desta no interior da pedra mas, se ela se encontrar demasiado diluída, a sua utilização pode ser ineficaz. Mesmo que a concentração ideal seja encontrada e posteriormente a penetração e o efeito sejam os adequados, a cera tende a manchar as paredes uma vez que pela ação da luz solar ela é quimicamente alterada e adquire uma tonalidade amarela. Estes efeitos são evitados usando produtos à base de silicone dissolvidos em solventes orgânicos, apesar destes não estarem imunes a problemas e resultados não pretendidos (Ashurst, J. e Dimes, F., 1988).

Na formulação de produtos para a proteção de monumentos históricos são muito usados materiais como polímeros acrílicos e siloxanos devido à sua boa aderência e às propriedades do filme protetor que se forma, a baixa viscosidade, um elevado grau de penetração no interior da pedra, a capacidade de ligação *in situ* após o tratamento, assim como a sua elevada resistência ao ambiente. Eles apresentam estabilidade quando expostos ao meio ambiente, e têm sido amplamente usado nos tratamentos de proteção e consolidação em ações de conservação. Estes materiais atuam como modificadores de superfície, alterando as propriedades físico-estruturais do material poroso e alterando o comportamento físico-químico da interface entre o material da peça a conservar e o ambiente ao qual este está exposto (Olaru, M. et al, 2010). O problema principal que advém do uso de produtos à base de polímeros deve-se à sua natureza macromolecular, que leva a uma difícil penetração e ligação à estrutura porosa. Para ultrapassar este problema foi proposta a polimerização *in situ* de monómeros adequados uma vez que quanto menor tamanho tiver o monómero e menor a viscosidade da solução, melhor será a penetração no interior da pedra do produto. A polimerização *in situ* é iniciada pelo uso de um iniciador (Esposito, C. et al, 2014)

Investigações foram feitas sobre alguns tipos de hidrorrepelentes como polímeros acrílicos, alquil poli-siloxano oligomérico, uma solução de resina de silicone e alquil-alcoxi siloxano em solução aquosa, aplicados a sete tipos de calcário, observando-se que não existe nenhum tratamento protetor universalmente compatível para todos os casos estudados (Doehne, E. e Price, C., 2010)

Inúmeros estudos têm sido feitos no desenvolvimento de produtos hidrofugantes. A eficácia dos tratamentos protetores à avaliada através da determinação de várias características que são analisadas em laboratório. Para cada característica a analisar, existem várias técnicas para sua medição, como se pode constatar pelo Quadro D.1, presente no Anexo D (Tabasso, M. e Simon, S., 2006). Em muitos casos a eficiência de um determinado tipo de tratamento é avaliada pela medição do ângulo de contacto entre a água e a pedra, e pela alteração da permeabilidade ao vapor, depois de aplicado o produto hidrorrepelente. A compatibilidade entre o produto e a pedra a tratar está relacionada com a alteração de cor da pedra. Uma menor relevância tem sido dada aos efeitos produzidos nos produtos protetores quando expostos à chuva ou ao ataque de ácidos. Normalmente, como termo de comparação, tem-se dois tipos de amostras: aquelas tratadas com os produtos hidrofugantes e aquelas que não foram tratadas com quaisquer produtos.

Apenas a título de exemplo vamos abordar quais os métodos mais usados para determinar determinados parâmetros.

Geralmente uma das normas mais utilizadas para a medição da cor é a NORMAL 43/39. A cor pode ser medida no espectro visível através do espectrofotómetro MINOLTA CM-2500d, que faz leituras através de diferentes fontes de luzes e de diferentes ângulos de observação. Regista-se os parâmetros L^* , a^* e b^* . L^* , o eixo vertical, é uma medida da luminosidade da cor; a^* , um dos dois eixos horizontais, mede o teor vermelho/verde e b^* , o outro eixo horizontal, para os quais os valores positivos indicam um teor amarelo e valores negativos indicam a presença de azul (Carmona-Quiroga, P. et al, 2010).

Para a medição da absorção de água por capilaridade uma norma muito usada é a UNI/NORMAL 10589:2000. Segundo esta norma antes de qualquer aplicação de produto protetor, a superfície de cada amostra é desgastada com um papel de carboneto de sílica. As amostras são lavadas com água corrente e imersas em água destilada por minutos. Posteriormente são secas a 60°C durante sete dias e mantidas num exsiccador durante três horas. Depois deste procedimento às amostras são adicionados os produtos a estudar e mantidas em laboratório durante sete dias. A superfície tratada de cada amostra é colocada sobre um papel de filtro molhado com água destilada. A massa da amostra molhada, m_i , é determinada por pesagens de cada amostra depois de 10, 20 e 30 minutos e 1,4,6,24,48,96h até 8 dias (Esposito, C. et al, 2014). Segundo a norma UNI 10859:2000 a quantidade de água absorvida por unidade de área, Q_i (mg/cm²), em função do tempo, t_i (s), é dado por :

$$Q_i = \frac{m_i - m_0}{A} \times 1000 \quad (3)$$

Sendo m_i a massa da amostra (g), m_0 a massa da amostra seca (g) e A a área de contacto com o papel de filtro (cm^2).

Os valores de Q_i foram representados em função da raiz quadrada do tempo ($s^{1/2}$) e são dados por:

$$Q = k \cdot t^{1/2} \quad (4)$$

sendo Q , a quantidade de água absorvida, K a constante de proporcionalidade e t o tempo (s).

Os perfis de ascensão capilar são obtidos através de um diagrama, onde a quantidade de água absorvida pela superfície é dada em função do tempo. A inclinação inicial do perfil de capilaridade é o coeficiente de absorção capilar (CA) e fornece informação sobre a taxa de absorção ($\text{mg}/\text{cm}^2 \text{s}^{1/2}$) da amostra em causa (Pinna, D. et al, 2011).

Para a medição do ângulo de contacto normalmente é usado o método da norma NORMAL33/89. A medição pode ser feita com um aparelho próprio para a medição onde se colocam trinta microgotículas de água destilada na superfície da amostra e se mede a sua altura e o diâmetro da base. O ângulo de contacto, em graus, pode ser calculado através da fórmula seguinte* (Vicini, S. et al, 2003):

$$\alpha = 2 \cdot \arctan\left(\frac{2h}{d}\right) \quad (5)$$

sendo h é a altura da gotícula e d é o diâmetro da base.

Um estudo realizado por Elda Castro (Castro, E., 1981) centrou-se no estudo da eficácia e durabilidade de produtos protetores aplicados em calcário de Ançã. A investigação passou pela aplicação de dois produtos, um à base de um polímero acrílico termoplástico e o outro produto à base de uma resina de silicone, ambos aplicados com um pincel. O objetivo passou por determinar o poder hidrofugante dos tratamentos em estudo. Depois da aplicação do produto e de um mês de secagem ao ar, determinou-se o ângulo de contacto entre a água e a pedra por fotografia de uma gota de $0,004\text{cm}^3$, a absorção das gotas e a profundidade de impregnação por métodos próprios. Para se avaliar as alterações higroscópicas das pedras determinou-se o teor de água dos provetes tratados e não tratados depois de se atingir o equilíbrio a uma atmosfera com 98% de humidade relativa (HR). Com os resultados obtidos na aplicação do produto acrílico observou-se a formação de uma película superficial e o produto não penetrou no interior da pedra, oferecendo uma proteção eficaz e durável contra a absorção de água líquida e permitindo simultaneamente que a pedra respirasse. Com a aplicação deste tipo de produto obteve-se uma boa resistência à ação da luz e à água. O amarelecimento observado ocorre tanto para calcários tratados como não tratados, e a

cristalização de sais produziu uma menor corrosão nos calcários tratados mas a escamação da película de tratamento, após um determinado espaço de tempo, apresentou um aspeto desagradável, sendo necessário reaplicações do produto. No caso do produto à base de silicone observou-se que não ocorreram alteração do aspeto do calcário e que o produto penetrou na pedra entre 2 a 3 mm de profundidade, aplicando-se com um pincel, podendo ter uma maior penetração quando aplicado por outros meios. Apresentou uma boa repelência à água, não impedindo a pedra de respirar mas a sua durabilidade é menor quando comparada com o produto acrílico, sendo aconselhadas renovações periódicas.

Num estudo mais recente feito por especialistas da Universidade de Granada , onde foi estudada uma pedra calcária típica da região bastante porosa, foram aplicados produtos comerciais como o Tegosivin HL100, o Silo 111, o Estel 1000 e o Tegovakon V. A rocha em estudo é uma rocha sedimentar formada por fósseis calcários numa matriz carbonatada e apresenta porosidade entre 12 e 24%. Os dois primeiros são produtos hidrorrepelentes, o terceiro tem propriedades hidrorrepelentes e consolidantes e o último apenas apresenta propriedades consolidantes. Depois de aplicados estes produtos individualmente em amostras do calcário, estas foram submetidas a processos de envelhecimento e a testes de determinação das características hídricas. Constatou-se que as amostras onde foi aplicado Tegosivin HL100 e Silo 111 apresentavam uma maior resistência ao ataque por sais, não apresentando danos apreciáveis. No entanto o Tegosivin HL100 apresentou um tempo de secagem maior, sendo um fator relevante pois é importante que a secagem ocorra o mais rápido possível para reduzir o tempo de contacto com a água e com os sais que esta possa conter. Concluiu-se que o Tegosivin HL100 foi aquele que penetrou mais profundamente nas amostras envelhecidas. Dos dois hidrorrepelentes estudados o Tegosivin HL100 teve um melhor desempenho e um melhor efeito a longo tempo que o Silo 111. No que a consolidantes se refere, o Tegovakon V apresentou resultados que indicaram ser o mais indicado para o caso em estudo.

Os (poli) siloxanos, também chamados de silicones, são polímeros de silício e têm uma cadeia formada por átomos de silício ligados a átomos de oxigénio. Apresentam propriedades hidrofóbicas e elevada resistência ao calor e a ataques químicos. Um produto bastante usado em tratamentos de hidrofugação, é o TEGOSIVIN HL100, retirado recentemente do mercado e substituído pelo TEGOSIVIN HL101 e TEGOSIVIN HL102. Estes são produtos hidrofugantes à base siloxanos oligómeros, diluídos a 8% em Aguasil 100. Têm excelentes propriedades de hidrofilização; excelente repelência à água, reduzindo a absorção de água em 70%; alta penetração sem redução da permeabilidade ao vapor de água e é recomendado para uso sobre pedras. Podem ser assim uma opção para a aplicação no caso de estudo da presente dissertação (restaurarconservar@2014b)

No caso presente de estudo não foi possível acompanhar os trabalhos de aplicação do produto hidrofugante na fachada, uma vez que estes só devem ser realizados no final do mês de

Outubro. No entanto as soluções discutidas nas reuniões de obra foram o Silo 111, Tegovakon HL 101 e Tegovakon HL 102.

8. CONCLUSÕES

Creemos que os objetivos a que nos propusemos no início da presente dissertação foram alcançados, sendo possível obter algumas conclusões

A revisão do estado da arte foi realizada de maneira a concretizar uma abordagem geral dos temas mais importantes, partindo das teorias da intervenção e do restauro desenvolvidas ao longo da História moderna, passando pela caracterização da pedra calcária, pelos agentes e mecanismos que estão na origem da sua deterioração e por fim a caracterização das patologias que esta pode apresentar.

Ficou para nós evidente que a abordagem para a intervenção no edificado histórico tem um carácter subjetivo, dependendo sempre de várias condicionantes e permitindo diferentes resultados. Não se trata somente de diferenças próprias das idiossincrasias humanas mas também de diferenças na consecução de um qualquer destino (para a construção) que tenha sido previamente traçado, nos objetivos a atingir com a intervenção, nas verbas disponíveis para o efeito, etc.

As várias formas possíveis de intervenção não devem ser vistas como as únicas soluções existentes mas sim como exemplo de diversas soluções possíveis segundo os princípios vigentes numa dada época. No âmbito dos conceitos saliente-se por exemplo a necessidade de adaptação de princípios como o da reversibilidade de uma solução. Esta, desde sempre defendida por especialistas, tem vindo a ser substituída pelos princípios da compatibilidade e a retratabilidade. Observamos assim que os próprios conceitos básicos da abordagem de uma intervenção são afetados pela mudança de mentalidades e realidades. Noutra domínio, com a evolução da ciência e tecnologia, ocorrerá também certamente o desenvolvimento de novos produtos e soluções que no futuro poderão tornar as propostas atuais pouco eficazes ou até mesmo desadequadas. Cabe às autoridades competentes acompanhar essa evolução assim como os trabalhos que vão sendo realizados no património, mantendo-se a par das necessidades da comunidade e do desenvolvimento de soluções mais eficientes tendo em vista a sua proteção, garantindo a perpetuação da história e da construção existente.

Um ponto a reter como conclusão consistiu na verificação de que, apesar do que acima referimos, qualquer tratamento de reabilitação deverá ter por base os princípios estabelecidos na Carta de Veneza de 1964, sendo esta um ponto de partida para uma boa conduta de atuação.

Fases ulteriores do nosso trabalho foram mais dedicadas ao caso de estudo. A Igreja do Carmo, recentemente classificada como Monumento Nacional e integrada numa área recentemente promovida a Património Mundial pela UNESCO, adquiriu importância acrescida e uma maior necessidade de preservação.

Verificámos que é escassa a informação relativa a intervenções anteriormente efetuadas neste monumento.

Levámos a efeito uma caracterização da pedra calcária que nos permitiu conhecer melhor aquela que é a pedra mais utilizada no caso de estudo e no património monumental da região. Concluímos que, em casos específicos, poderão realizar-se estudos tendo em vista a caracterização do material pétreo com o recurso a ensaios laboratoriais que possam aferir, com maior detalhe, os aspetos mais relevantes tendo em vista a determinação do seu comportamento como material de construção em património monumental.

Estudámos igualmente o comportamento da pedra face a determinados agentes de deterioração. À semelhança da caracterização da pedra da região, cada um dos agentes e mecanismos de deterioração da pedra calcária será um vasto domínio a explorar em trabalhos futuros.

Efetuámos o levantamento das patologias existentes em toda a fachada e o seu mapeamento. Concluímos que tal procedimento terá uma grande importância na programação da futura intervenção, na escolha dos métodos, procedimentos e equipamento a utilizar em obra e até na escolha do executante, através da avaliação da sua competência pela sua experiência anterior em lidar com patologias semelhantes.

Concluímos também que em certos casos se justificará a existência de estudos complementares durante o estudo prévio, como análises laboratoriais para caracterização das propriedades físicas, química e mecânicas da pedra incluindo a simulação das condições de exposição, por exposição exterior ou em câmaras de teste. Estes procedimentos terão como objetivo melhorar a análise, quantificação e interpretação do estado de deterioração a partir do conhecimento das suas características e os fatores aos quais a pedra está sujeita. Os desenvolvimentos do trabalho desta tese, e especialmente o trabalho *in loco*, permitiram-nos concluir que, apesar de contribuir para a otimização do diagnóstico, mesmo estes estudos poderão não ser conclusivos quando existam diversos mecanismos de deterioração associados, tornando difícil a identificação clara das causas de degradação da pedra. Em estudos que se possam realizar neste domínio surgirão certamente dificuldades na simulação de ambientes artificiais. A escolha criteriosa da pedra objeto da análise, que deverá ser igual à existente na edificação, bem como dos ensaios a realizar também serão aspetos críticos.

Posteriormente à avaliação do estado de deterioração da Igreja procedeu-se à escolha de soluções a adotar durante a intervenção. O que acima escrevemos relativamente às patologias e mecanismos de deterioração da pedra é igualmente válido para o estudo da adequabilidade dos materiais a utilizar na intervenção (biocidas, argamassas, etc.).

Em termos da realização do projeto para a intervenção, nomeadamente na produção de peças escritas e desenhadas e em particular das medições e especificações técnicas, concluímos que este não deve ser encarado da mesma forma que um projeto para uma construção nova. De facto, numa intervenção deste tipo existe sempre uma quantidade de situações e problemas que não são facilmente detetados na elaboração do projeto de execução mas apenas na fase de intervenção. Durante esta última, com um acesso físico em melhores condições, será possível fazer o levantamento real e permanente dos trabalhos a serem executados. Um projeto de execução adequado conterà especificações técnicas para a totalidade dos diversos tipos de patologias e soluções contudo, *a priori*, definirá as quantidades a executar como sendo “aproximadas”. É importante o acompanhamento e levantamento contínuo das situações que vão surgindo durante a realização dos trabalhos de intervenção.

Durante o levantamento inicial, assim como posteriormente durante a fase de intervenção, concluímos que, tal como tínhamos recorrentemente verificado na bibliografia consultada, grande parte das patologias têm importância em termos estéticos e muitas resultam de problemas de estanqueidade originada por juntas completamente abertas e locais preferenciais de deposição de água. A presença de organismos vivos como líquenes, bactérias e plantas superiores também era evidente principalmente nos locais propícios ao seu desenvolvimento, como superfícies horizontais e juntas abertas. O conhecimento obtido neste caso de estudo e a análise (mesmo sucinta) de outro património congénere permitiu-nos concluir que a presença destas patologias será recorrente a curto prazo quando não existam ações de limpeza e manutenção.

Um fator muito importante para a decisão das soluções a executar foi o baixo investimento financeiro devido à crise existente, ainda que uma parte do financiamento venha de fundos comunitários. Assim toda a intervenção teve sempre em conta a pouca flexibilidade no orçamento, o que não permitiu que recorrêssemos a soluções caras ou ao eventual uso de materiais e técnicas avançadas que implicariam um maior investimento.

A primeira ação realizada na Igreja do Carmo foi a remoção de líquenes e a utilização de herbicidas e biocidas. Concluímos que os cuidados necessários ao seu manuseamento e aplicação são fundamentais para uma boa intervenção, colocando-se também questões no domínio da segurança e saúde dos trabalhadores. O herbicida utilizado foi o Roundup Ultra que tem por base o glifosato, um herbicida sistémico de largo espectro de absorção. O biocida

utilizado foi o Preventol RI80 que tem por base o quaternário de amónio e um espectro de atividade alargado. Na remoção de plantas de maior porte, o Roundup Ultra foi aplicado por pulverização nas suas folhas e por injeção de seringas nas suas raízes de forma a uma atuação mais eficaz. Não se realizou um estudo mais aprofundado sobre quais as espécies de plantas existentes na fachada, tendo-se optado por um herbicida com um espectro alargado de ação que incluía todo o tipo de plantas presentes. O mesmo também aconteceu no caso das bactérias presentes em que a avaliação de cada espécie presente poderia ser um contributo para a aplicação de um herbicida ou biocida mais específico para cada uma delas. Contudo, depois da aplicação do biocida e lavagem, a permanência de cianobactérias em alguns locais foi evidente e por isso foi aplicado um segundo ciclo de biocida por forma a eliminar estes organismos que, para além de uma ameaça à pedra, também lhe conferem uma estética pouco adequada.

As ações de limpeza devem ter por objetivos a remoção de material exógeno e da sujidade proveniente da alteração mineralógica da pedra, devendo evitar sempre que possível a remoção de pedra, que é uma tarefa bastante difícil. No caso em estudo efetuou-se a limpeza com água e escovas de cerdas macias para não danificar a pedra calcária. Preferimos assumir as crostas negras sem recorrer e nenhum método específico para a sua remoção, como poderia ser o caso do uso de cataplasmas que em contrapartida poderiam danificar a pedra calcária por se apresentar fragilizada. As únicas crostas que foram removidas através de técnicas especializadas foram as crostas presentes no nicho do frontão onde se encontra a escultura de Nossa Senhora da Conceição. Esta remoção foi restringida a este local pelo valor artístico da escultura.

Os tratamentos de consolidação restringiram-se apenas pontos localizados de colagem. A aplicação de consolidantes tem como objetivo a reconstituição da adesão da estrutura pétre. No caso presente a fachada não apresentava grandes problemas de desagregação da estrutura pétre e apenas se recorreu à aplicação de resina epoxídica em pequenos locais que apresentavam delaminação e existia a possibilidade de entrada de água. A resina aplicada foi a EPO-121. Geralmente, a aplicação de produtos consolidantes na prática não é uma tarefa bem sucedida pelo seu caráter pouco reversível e cujos efeitos negativos são frequentes. Por isso o uso de consolidantes neste caso foi muito restrito.

O refechamento de juntas de argamassa apenas se restringiu a juntas que se apresentavam degradadas. Optou-se por uma argamassa de cal hidráulica em que a cal aplicada foi a cal hidráulica Lafarge. A atenção principal recaiu nas juntas abertas de maior expressão, como aquelas onde se desenvolveram plantas e aquelas que atravessam a parede de alvenaria de um lado a outro. Nestes casos as soluções apresentadas apenas passaram pelo refechamento de junta por forma a permitir a estanquidade da fachada. Neste caso por estarem relacionadas

com anomalias estruturais, que estão fora do interesse da intervenção apresentada, e devido aos poucos recursos disponíveis para o seu tratamento, estas juntas foram tratadas do mesmo modo que aquelas de menor dimensão. No entanto não deixam de ser um ponto de grande preocupação e que poderá ser objeto de estudo para outros trabalhos e investigações no desenvolvimento de soluções para o seu tratamento. A aplicação de produtos hidrorrepelentes não foi acompanhada de perto por esta se realizar posteriormente ao final da presente dissertação. Estes produtos vão-se degradando com a exposição aos agentes de deterioração uma vez que constituem uma camada sacrificial e por isso é necessário a sua reaplicação.

Parece ainda conveniente que, em casos como este, ocorra uma inventariação permanente das anomalias observadas e das intervenções realizadas, complementando-se com inspeções periódicas e intervenções eficazes e rápidas de forma a evitar situações graves. Estas inspeções passam pela implementação de planos de inspeção e manutenção regulares que contribuem para a atualização da informação sobre o edifício e das intervenções que vão sendo realizadas. Posteriormente podem servir de complemento ao estudo e à elaboração de projetos de intervenção futuros. Esta informação pode ser compilada numa base de dados e aplicada a outros edifícios públicos, comparar casos distintos e avaliar os pressupostos que lhe serviram de base.

Apesar de alguma consciência por parte da comunidade sobre necessidade de manutenção e monitorização do estado de um edifício, muito dificilmente estes procedimentos são realizados, restringindo-se apenas a edifícios de elevado valor patrimonial e onde existem verbas para se proceder à sua manutenção. Na nossa sociedade não existe ainda uma noção fortemente enraizada acerca da conveniência de trabalhos de manutenção periódicos nos edifícios que podem evitar o agravamento de certos problemas e intervenções mais drásticas e mais caras. Mesmo em casos onde existe essa noção e há a disponibilidade de verbas, a manutenção do edificado é colocada para um segundo plano em detrimento de outras ações que se consideram mais importantes. Por causa deste desinteresse e negligência, quer por parte dos proprietários quer por autoridades competentes, o número de investigadores que apostam no desenvolvimento de técnicas e produtos de reabilitação ainda é pequeno quando comparado com outros temas e simultaneamente existe um reduzido investimento neste campo por parte de indústrias ou universidades. Apesar da inexistência de manutenção e de intervenções periódicas, é inevitável que um edifício, caso queira que este permaneça habitável e funcional, tenha de vir a sofrer intervenções de reabilitação. Hoje em dia isso é cada vez mais notório uma vez que a construção nova diminuiu devido à crise financeira e a ideia atual passa pela preservação e conservação do edificado existente, apesar das verbas serem geralmente reduzidas e de situações de restauro urgente serem constantes.

No caso da Igreja do Carmo seria pertinente a organização de toda a informação que esta intervenção disponibilizou nomeadamente o seu estado de conservação inicial, descrição de patologias observadas, por registos fotográficos ou escritos, de todos os seus elementos (desde os elementos de pedra passando pelas caixilharias e elementos metálicos); a descrição detalhada dos trabalhos realizados em cada um destes elementos, imprevistos que possam ter decorrido na intervenção, os seus custos detalhados, os produtos usados e o estado no final da intervenção. Esta informação poderá servir de base a outros estudos que venham a ser feitos futuramente na Igreja e que auxiliará a avaliação do seu estado e a necessidade de intervenção. Este registo poderá estar disponível a investigadores de diversas áreas que se queiram debruçar sobre a Igreja do Carmo e servir de base a futuras intervenções.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[A]

(Aguilar, J. et al, 2001). Aguilar, J. et al. (2001). “Caracterización y Restauración de Rocas, Ladrillos y Morteros”. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

(ANTT@2014). ANTT @ (acedido em Abril 2014). digitalq.arquivos.pt/details?id=1375558. Arquivo Nacional Torre do Tombo, Lisboa.

(Ashurst, J. e Dimes, F., 1988). Ashurst, J., Dimes, F. (1988). “Conservation of Building and Decorative Stone”. Butterworth Heinemann, Oxford.

(Ashurst, N., 1994). Ashurst, N. (1994). “Cleaning Historic Buildings – Substrates, Soiling and Investigations”. Donhead, London.

(ASTM@2014). ASTM @ (acedido em Julho 2014). http://www.astm.org/SNEWS/AUGUST_2003/gerweg_aug03.html. American Society for Testing Materials, Conshohocken.

(Azeredo, S.R. et al,2008). Azeredo, S., Bobrovnitchii, G., Guimarães, R., Filgueiras, M. (2008). “Desenvolvimento de um Novo Compósito Abrasivo de Desbaste de Rochas Ornamentais”. Revista Matéria, v.13, n.1, pp.203-208.

[B]

(BayerCropScience@2014). BayerCropScience @ (acedido em Junho 2014). http://www.bayercropscience.pt/internet/produtos/produto.asp?id_produto=193. Bayer Crop Science Portugal, Oeiras.

(Barros, L., 2001). Barros, L. (2001). “As Rochas dos Monumentos Portugueses: Tipologias e Patologias”, vol.1. Instituto Português do Património Arquitectónico, Lisboa.

(Begonha, A. et al, 2012). Begonha, A., Guimarães, A., Costa, A., Arêde, A. (2012). “Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos”. Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto.

(Bracci, S., 2008). Bracci, S., Sacchi, B., Pinto, A., Rodrigues, J., (2008). “Inorganic consolidants on stone artifacts: optimization of application procedures for marble and limestones”. Proceedings of International Symposium “Stone consolidation in cultural heritage: research and practice” LNEC, Lisbon, pp.81-90

(Brandi, C, 2006) Brandi, C. (2006). “Teoria de Restauro. Cesari Brandi”, traduzido por C. Prats. Edições Orion, Amadora.

(buildingconservation@2014a). buildingconservation @ (acedido em Maio2014). <http://www.buildingconservation.com/articles/poultices/poultice.htm>. buildingconservation.com, Wiltshire.

(buildingconservation@2014b). buildingconservation @ (acedido em Junho 2014). <http://www.buildingconservation.com/articles/toolsoftrade/toolsoftrade.htm>. buildingconservation, Wiltshire.

(buildingconservation@2014c). buildingconservation @ (acedido em Junho 2014). <http://www.buildingconservation.com/articles/pointing/lime-pointing.htm>. buildingconservation, Wiltshire.

(buildingconservation@2014d). buildingconservation @ (acedido em Agosto 2014). <http://www.buildingconservation.com/articles/cement/cement.htm> buildingconservation, Wiltshire.

[C]

(Cappitelli, F. et al, 2010). Cappitelli, F., Polo, A., Brusetti, L., Principi, P., Villa, F., Giacomucci, L., Ranalli, G., Sorlini, C. (2010). “Feasibility of Removing Surface Deposits on Stone Using Biological and Chemical Remediation Methods”. *Microbial Ecology*, Vol.60, pp.1-14.

(Cardiano, P. et al, 2005). Cardiano, P., Ponterio, R., Sergi, S., Lo Schiavo, S., Piraino, P. (2005). “Epoxy-Silica Polymers as Stone Conservation Materials”. *Polymer*, 46, pp 1857 – 1864.

(Carmona-Quiroga, P. et al, 2010). Carmona-Quiroga, P.M., Martínez-Ramírez, S., Rojas, M.I., Blanco-Varela, M.T. (2010). “Surface Water Repellent-Mediated Change in Lime Mortar Color and Gloss”. *Construction and Building Materials*, 24, pp. 2188-2193.

(Carrió et al, 1991). Carrió, J., Ramos, L., Liniers, A., Domínguez, L., López, M., Mecha, C., Alemany, R., Miguel, M., Díaz, F., Ayuso, A., Marino, F. (1991). “Curso de Patología _ Conservación y Restauración de Edificios”, vol.1., Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

(Castro, E., 1981). Castro, E de (1981). “Quelques Études sur L’efficacité et la Durabilité de Deux Traitements Appliqués à un Calcaire”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

(Castro, E., 1984 a). Castro, E (1984). “A Conservação de Monumentos em Pedra: Estado Atual dos Conhecimentos”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

(Castro, E., 1984 b). Castro, E (1984). “Tratamentos de Conservação de Pedras em Monumentos”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

(Castro, E., 1987). Castro, E (1987). “A Civilização e a Deterioração dos Monumentos de Pedra”, Memória nº689. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

(Castro, E. e Rodrigues, J., 1989). Castro, E.; Rodrigues, J. (1989). “Some Remarks on the Efficacy and Harmfulness of Stone Cleaning”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

(Cóias, V.,2007). Cóias, V. (2007). “ Refechamento de juntas. Uma operação essencial à boa manutenção das alvenarias não rebocadas”. Pedra&Cal- Conservação e Reabilitação, nº35,pp.8-13.

(Cóias, V.,2009). Cóias, V. (2009). “Inspeções e Ensaio de Edifícios”. IST Press, Lisboa.

(construironline@2014). construironline @ (acedido em Julho2014). <http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=1843>.

(Correia, V. e Gonçalves, N., 1947). Correia, V. e Gonçalves, N. (1947). “Inventário Artístico de Portugal – Cidade de Coimbra”. Academia Nacional de Belas Artes, Lisboa.

(CSTC, 1995) CSTC (1995). “ Le Nettoyage des Façades. NIT 197”. Centre Scientifique et Technique de la Construction, Limelette.

[D]

(DGPC@2014a). DGPC @ (acedido em Fevereiro 2014). <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/3744022/>. Direção Geral do Património Cultural, Lisboa.

(DGPC@2014b). DGPC @ (acedido em Março 2014). <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/quem-somos/missao/>. Direção Geral do Património Cultural, Lisboa.

(DGPC@2014c). DGPC @ (acedido em Março2014). <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/quem-somos/enquadramento-legal> . Direção Geral do Património Cultural, Lisboa.

(DGPC@2014d) DGPC @ (acedido em Março 2014). http://www.patrimoniocultural.pt/static/data/dgpc_enquadramento_legal/115_2012_dgpc.pdf . Direção Geral do Património Cultural, Lisboa.

(DGPC@2014e). DGPC @ (acedido em Abril 2014). <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/3744022/>. Direção-Geral do Património Cultural, Lisboa.

(Dias, P.,1995). Dias, P. (1995). “Coimbra Arte e História”. Edições Minerva Coimbra, Coimbra.

(Dionísio, A.,2006). Dionísio, A. (2006). “Edifícios Históricos. A Conservação da Construção em Pedra”. Pedra&Cal – Conservação e Reabilitação, nº32, pp.12 – 15.

(Doehne, E. e Price, C., 2010). Doehne, E., Price, C. (2010). “Stone Conservation. An Overview of Current Research”. The Getty Conservation Institute, Los Angeles.

[E]

(Esposito, C. et al, 2014). Esposito, C., Striani, M. e Friogione, M. (2014). “Novel Hydrophobic Free-Solvent UV-Cured Hybrid Organic-Inorganic Metgacrylic-Based Coatings for Porous Stones”. Progress in Organic Coatings, Vol. 77, Issue 4, pp. 803-812.

[F]

(Feilden, B., 2003). Feilden, Bernard M. (2003). “Conservation of Historic Buildings”. Architectural Press, Oxford.

(Fialho, J. et al, 2010). Fialho, J., Ganho, N., Gomes, C. (2010). “Poluição por Partículas e Clima Urbano. Um Estudo do Magnetismo Ambiental em Coimbra, Portugal Central”. Revista e-Terra, vol. 9-nº19.

(Fitzner, B., 2004). Fitzner, B. (2004). “Documentation and Evaluation of Stone Damage on Monuments”. Proceedings of 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Stockholm, Vol. II. pp. 670-690.

(Fitzner, B. e Heinrichs, K., 2012). Fitzner, B. e Heinrichs, K. (2001). “Damage Diagnosis on Stone Monuments - Weathering Forms, Damage Categories and Damage Indices”. Proceedings of the International Conference’s Stones Weathering and Atmospheric Pollution Network. Prague, Czech Republic, pp. 11-56.

(Fitzner, B. et al, 2002). Fitzner, B., Heinrichs, K., La Bouchardiere, D., (2002). “Damage index for stone monuments”. Proceedings of the 5th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Sevilla, Spain. pp 315-326.

[G]

(Gómez-Heras et al, 2003). Gómez-Heras, M., Buergo, M., Rebollar, E., Oujja, M., Castillejo, M., Fort, R. (2003). “Laser Removal of Water Repellent Treatments on Limestone”. Applied Surface Science, Vol. 219, Issue 3-4, pp. 290-299.

(Gonçalves, A., 2010) Gonçalves, A. (2010). “Manutenção de Alvenarias e Cantarias – Ensaio sobre Argamassas de Refechamento de Juntas das Alvenarias Secas de Xisto da 1ª

Casa dos Vasconcelos em Macedo de Cavaleiro”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharias, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

[H]

(Henriques, F., 1991).Henriques, F. (1991). “ A Conservação do Património Histórico Edificado”, Memória nº775. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

(Henriques, F. 2005).Henriques, F. (2005). “Materiais Pétreos e Similares: Terminologia das Formas de Alteração e Degradação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

[I]

(ICOMOS@ 2014). ICOMOS@ (acedido em Fevereiro 2014). <http://www.icomos.org/fr/a-propos-de-licomos/mission-et-vision/historique>. International Council on Monuments and Sites,Paris.

(ICOMOS,2008) ICOMOS (2008). “Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns”. International Council on Monuments and Sites, Paris.

(IPMA@Abril2014) IPMA @ (acedido em Abril 2014). <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/006/>. Instituto Português do Mar e Atmosfera, Lisboa.

(IST@2014). IST @ (acedido em Março 2014). <http://geomuseu.ist.utl.pt/GSP2012/Rochas%20carbonatadas/Rochas%20carbonatadas.pdf> . Instituto Superior Técnico, Lisboa.

[J]

(Júlio, E. e Maranha, P., 2006). Júlio, E., Maranha, P. (2006). “ Inspeção, Diagnóstico e Proposta de Reabilitação Estrutural da Igreja do Carmo em Coimbra”: Relatório 2006/23, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.

[L]

(Lafarge@2014). Lafarge @ (acedido em Agosto2014). <http://www.lafarge.com.es/wps/portal/es/cal-hidraulica-restauracion>, Madrid.

(Luque, A. et al, 2008). Luque, A., Cultrone, G., Sebastian, E., Cazalla, O.(2008). “Effectiveness of Stone Treatments in Enhancing the Durability of Bioclastic Calcarenite in (Granada, Spain)”. *Materiales de Construcción*, Vol.58, 292, pp.115-128.

[M]

(MARCIABRAGA@2014). MARCIABRAGA @ (acedido em Março2014). http://www.marciabraga.arq.br/vo/images/stories/pdf/livro_pedra-pintura_mural-pintura_sobre_tela.pdf . Márcia Braga Arquiteta Restauradora, Rio de Janeiro.

(Marques, M. et al, 2004). Marques, M., Rodrigues, J., Marques, B. (2004). “Degradação e Conservação da Pedra em Estruturas de Alvenaria: Terminologia e Conceitos Petrográficos”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

(May, E. e Jones, M., 2006). May, E., Jones, M. (2006). “Conservation Science- Heritage Materials”. Royal Society of Chemistry Publishing, London.

(Mishra, A. et al, 1995). Mishra, A., Jain, K. e Garg, K. (1995). “Role of Higher Plants in the Deterioration of Historic Buildings”. *The Science of the Total Environment*, 167, pp. 375-392.

(MIT@2014). MIT @ (acedido em Março2014). <http://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-110-sedimentary-geology-spring-2007/lecture-notes/ch7.pdf>. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts

(Moncrieff, A e Weaver, G., 2005). Moncrieff, A. e Weaver, G. (2005). “Science for Conservators – Cleaning”. Routledge. Oxfordshire.

(Mouga, T. e Almeida, M., 1997). Mouga, T. e Almeida, M., (1997). “Neutralization of Herbicides. Effects on Wall Vegetation”. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 40, No 24, pp.141-149.

(Mouga, T. e Proença, N., 2002). Mouga, T. e Proença, N. (2002). “ Metodologias de Controlo da Flora Infestante de Monumentos – O caso da Porta Especiosa da Sé Velha de Coimbra”. IPPAR - Revista Património, nº2, pp.63-69.

(Moura, A et al, 2007). Moura, A., Carvalho, C., Almeida, I., Saúde, J., Ramos, J., Augustos, J., Rodrigues, J., Carvalho, J. (2007). “ Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal”. Instituto Nacional de Energia, Tecnologia e Inovação, Lisboa.

[N]

(Neiva, J., 1990). Neiva, J. (1990). “Geologia da Região de Entre Cordinhã, Ançã e Zambujeiro (Cantanhede) e os Calcários de Ançã”. 1ª Jornadas “Cantanhede- Concelho da Pedra de Ançã: Pedra de Ançã - O meio - O Homem - A arte”. GAAC, Coimbra.

(NORMAL 1/88, 1990). Normal 1/88 (1990). “Alterazioni Macroscopiche dei Material Lapidari: Lessico”. Comas Graphica, Rome.

(NPS@2014). NPS @ (acedido em Maio 2014). <http://www.nps.gov/tps/how-to-preserve/briefs/1-cleaning-water-repellent.htm>. National Park Service – Technical Preservation Services, Washington.

(NSW@2014). NSW @ (acedido em Junho 2014). <http://www.environment.nsw.gov.au/resources/heritagebranch/heritage/tagbiologicalgrowths.pdf>. New South Wales Government – Environment and Heritage, Sydney.

[O]

(Olaru, M. et al, 2010).Olaru, M., Aflori, M., Simionescu, B., Doroftei, F. e Stratulat, L., (2010). “Effect of SO₂ Dry Deposition on Porous Dolomitic Limestones”. *Materials*, Vol.3, Issue 1, pp.216.

(oldhouseweb@2014). oldhouseweb @ (acedido em Agosto2014). <http://www.oldhouseweb.com/how-to-advice/repointing-mortar-joints-in-historic-masonry-buildings-part-i.shtml>.

(Oslon, V., 2011). Oslon, V. (2011). “Working with Limestone: the Science, Technology and Art of Medieval Limestone Monuments”. Ashgate, Sureey.

[P]

(Pinna, D. et al, 2011). Pinna, D., Salcadori B. e Porcinai, S. (2011). “Evaluation of the Application of Artificial Protection Treatments on Salt-laden Limestone and Marble”. *Construction and Building Materials*, 24, pp. 2723-2732.

(Puim, P., 2010). Puim, P. (2010). “Controlo e Reparação de Anomalias Devidas à Presença de Sais Solúveis em Edifícios Antigos”. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

[Q]

(QUB@2014). QUB @ (acedido em Março 2014). <http://www.qub.ac.uk/geomaterials/weathering/usd.html>. Queen’s University Belfast, Belfast.

[R]

(Rato, V., 2002). Rato, V. (2002). “Conservação do Património Histórico Edificado - Princípios de Intervenção”. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

(restaurarconservar@2014a). restaurarconservar @ (acedido em Maio 2014). <http://www.restaurarconservar.com/PREVENTOL-RI80-da-LANXESS-11>. restaurarconservar, Lisboa.

(restaurarconservar@2014b). restaurarconservar @ (acedido em Setembro 2014). http://www.restaurarconservar.com/epages/298256.sf/pt_PT/?ObjectPath=/Shops/298256/Products/%22Tegosivin%20HL102%22/SubProducts/%22Tegosivin%20HL102-5L%408%25%20actives%22&ViewAction=ViewProduct. restaurarconservar, Lisboa.

(Rodrigues, J., 1989). Rodrigues, J. (1989). “Causes, Mechanisms and Measurement of Damage in Stone Monuments”, Memória nº 744. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

(Rodrigues, J.,2001). Rodrigues, J. (2001). “Consolidation of decayed stones. A delicate problem with few practical solutions”. *Proceedings of International Seminar on Historical Construction*, pp. 3-14, Guimarães.

(Rosa, W., 2006). Rosa, W. (2006). “ A Sofia – Primeiro Episódio de Reinstalação Moderna da Universidade Portuguesa”. Revista Monumentos- Conservação e Reabilitação. Nº25, pp.16 – 23.

[S]

(Sousa, V., 2003). Sousa, V. (2003). “O Palácio Nacional de Sintra – Anomalias Não Estruturais”. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

(Salvador, M., 2002). Salvador, M. (2002). “Contemporary Theory of Conservation”. Reviews in Conservation, Vol.3, pp.25-34.

(Silva, N., 1998). Silva, N. (1998). “ O clima urbano de Coimbra: Estudo de Climatologia Local Aplicada ao Ordenamento Urbano”. Tese de Doutoramento, Departamento de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra.

[T]

(Tabasso, M. e Simon, S., 2006). Tabasso, M.e Simon, S. (2006). “Testing Methods and Criteria for selection/evaluation of products for the conservation of porous building materials”. Reviews in Conservation, Vol.4,pp. 67-81.

(Tavares et al, 2002). Tavares, M., Aguiar, J. e Veiga, R. (2002).“ Uma Metodologia de Estudo para a Conservação de Rebocos Antigos.- O Restauro Através da Técnica de Consolidação”. Trabalho apresentado no VI Seminário Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, VI SBTA. Seminário Brasileiro das Argamassas, Florianópolis.

(Torres, M., 1988). Torres, M. (1998). “Humidade Ascensional em Paredes”. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.

(Torres, M., 2004). Torres, M. (2004). “ Humidade Ascensional em Paredes de Construções Históricas”. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.

[U]

(UM@Março2014). UM @ (acedido em Março2014). http://www.civil.uminho.pt/lftc/Textos_files/construcoes/cp2/Cap.%20V%20-%20Impermeabiliza%C3%A7%C3%B5es.pdf. Universidade do Minho, Braga.

(UNESCO@2014a). UNESCO @ (acedido em Fevereiro 2014). <http://whc.unesco.org/en/list/1387>. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

(UNESCO@2014b). UNESCO @ (acedido em Março 2014). <http://whc.unesco.org/en/convention/>. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

(UNESCO@2014c). UNESCO @ (acedido em Março 2014). <http://whc.unesco.org/en/conventiontext/>. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

(UNESCO@2014d). UNESCO @ (acedido em Março 2014). <http://whc.unesco.org/archive/convention-pt.pdf>. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

[V]

(Vicini, S. et al, 2003). Vicini, S., Princi, E., Pedemonte, E., Lazzari, M., Chiantore, O. (2003). “In Situ Polymerization of Unfluorinated and Fluorinated Acrylic Copolymers for the Conservation of Stone”. *Journal of Applied Polymer Science*, vol.91, Issue 5, pp.3202-3213.

[W]

(WGNSW @ Abril 2014). WGNSW @ (acedido em Abril 2014). http://www.stone.rwth-aachen.de/wgn_pg3e.htm. Working group Natural Stones and Weathering of Aachen University, Aachen.

[5]

(5cidadewordpress.com@2014a). 5cidade.files@ (acedido em Junho 2014). <http://5cidade.files.wordpress.com/2008/03/os-materiais-petreos-no-restauro.pdf>.

(5cidade.wordpress.com@2014b) 5cidade.files@ (acedido em Junho 2014) <http://5cidade.files.wordpress.com/2008/12/refechamento-de-juntas-nas-alvenarias-de-granito.pdf>

10. ANEXOS

Anexo A



Figura A-1: Fachada da Igreja do Carmo antes de intervenção.



Figura A-2: Líquenes.



Figura A-3: Utilização de argamassas cimentícias.



Figura A-4: Fissura.



Figura A.5: Pátina e rutura pontual.



Figura A.6: Crostas negras e pátina.



Figura A.7: Colonização biológica.



Figura A.8: Delaminação.



Figura A.9: Crosta negra e pátina.

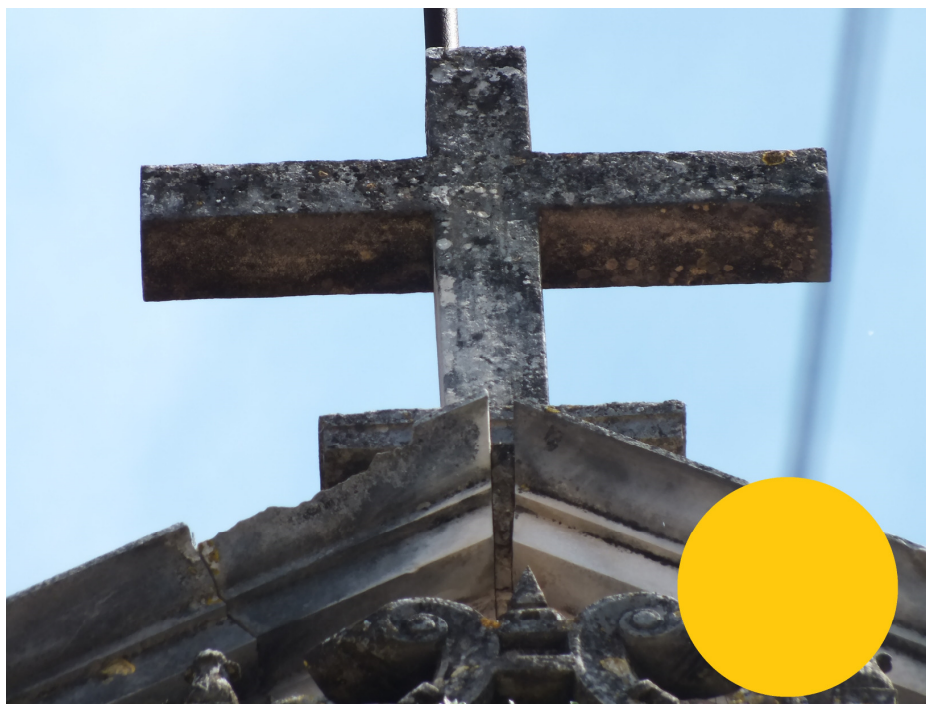


Figura A.10: Colonização biológica e junta aberta.



Figura A.11: Líquenes e perda de material.



Figura A.12: Líquenes e plantas superiores.

Anexo B



Figura B.1: Crosta negra.



Figura B.2: Destacamento



Figura B.3: Líquenes



Figura B.4: Pitting/ picamento.



Figura B.5: Desintegração granular/ pulverização.



Figura B.6: Fratura.

Anexo C



Figura C-1: Aplicação do biocida.(fornecida por equipa de restauro).



Figura C-2: Aplicação do herbicida. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-3: Limpeza após aplicação de biocida. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-4: Proteção de plantas tratadas com herbicida.



Figura C-5: Perfuração das raízes de plantas superiores. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-6: Aplicação de herbicida através de injeção de seringas. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-7: Limpeza de sujidade depositada nas superfícies horizontais. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-8: Limpeza da fachada. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-9: Limpeza manual. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-10: Limpeza por micro-abrasão. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-11: Limpeza do suporte para a consolidação. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-12: Resultado final da consolidação. (fornecida por equipa de restauro).



Figura C-13: Refechamento de juntas com argamassa.



Figura C.14: Humedecimento de juntas após colocação de argamassa.

Anexo D

PROPRIEDADE	MÉTODO NORMALMENTE ADOTADO	CRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO POSITIVA
Cor	DIN 5033; NORAML 43/93	Nenhum ou ligeira alteração dos parâmetros cromáticos
Porosidade acessível à água	RILEM 25-PEM 1.1; GOST 2409-80; EN-13755(2002); EN-1925(1999)	Diminuição da absorção da água
Coeficiente de capilaridade	DIN 52617(1987); EN-ISSO 15148(2002); UNI 10859(2000); EN-1925(2000); RILEM 25-PEM II.6	Diminuição da absorção de água; diminuição do coeficiente de capilaridade
Grau de penetração do produto	Através da ascensão capilar após 5 minutos	Mais profunda que a extensão que a zona de teor médio máximo
Resistência difusão do vapor de água	EN-ISSO 12572(2001); DIN 52615 (1987)	Apenas um determinado aumento da resistência é aceitável
Permeabilidade ao vapor de água	NORMAL 21/85; ASTM-E96-92(1992)	Apenas um determinado abaixamento de permeabilidade é aceitável
Tempo secagem	RILEM 25-PEM II.5	Sem aumento
Ângulo de contacto	NORMAL 33/89	Ângulo contato > 90°

Quadro D.1: Métodos de medição de características de produtos hidrofugantes (retirado e adaptado de Tabasso, M.L e Simon, S., 2006).

Anexo E